

УДК 556.551

Химический состав и гидроминеральные ресурсы соленых озер Северо-Западной Монголии

В. П. ИСУПОВ¹, А. Г. ВЛАДИМИРОВ², С. Л. ШВАРЦЕВ³, Н. З. ЛЯХОВ¹, С. С. ШАЦКАЯ¹, Л. Э. ЧУПАХИНА¹, Л. В. КУЙБИДА⁴, М. Н. КОЛПАКОВА³, АРИУНБИЛЭГ СОДОВ⁵, С. К. КРИВОНОГОВ²

¹Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск 630128 (Россия)

E-mail: isupov@solid.nsc.ru

²Институт геологии и минералогии Сибирского отделения РАН, проспект Академика Коптюга, 3, Новосибирск 630090 (Россия)

³Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения РАН, ул. Академическая, 3, Томск 634055 (Россия)

⁴Институт химической кинетики и горения Сибирского отделения РАН, ул. Институтская, 3, Новосибирск 630090 (Россия)

⁵Institute of Geology and Mineral Resources, Mongolian Academy of Sciences, Peace Avenue 63, Ulaanbaatar 210357 (Mongolia)

(Поступила 15.04.10; после доработки 30.06.10)

Аннотация

Приведены данные по макро- и микрокомпонентному составу соленых озер Северо-Западной Монголии. Выполнена оценка содержания Li, U-238, B, Br, Sr, Rb в ряде озер Северо-Западной Монголии. Показано, что концентрация U-238 в озерных водах может достигать 1 мг/л, Li – 50 мг/л, Br – 460 мг/л, B – 100 мг/л. На примере озера Шаазгай нуур оценено суточное поступление макро- и микрокомпонентов за счет вод впадающей в него реки Харгайн Гол. Показано, что комплексная переработка гидроминерального сырья озер Северо-Западной Монголии требует их очистки от урана.

Ключевые слова: химический состав, минерализованные воды, озера Монголии, литий, уран

ВВЕДЕНИЕ

Химический состав и гидроминеральные ресурсы соленых озер Северо-Западной Монголии в течение достаточно длительного времени изучались российскими и монгольскими исследователями, систематизированы и подробно освещены в литературе [1–3]. Основное внимание при этом уделялось макрокомпонентному составу (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄ и др.) озерных вод. Микрокомпонентный состав изучен слабо [2]. В то же время исследование микрокомпонентного состава озер необходимо для

создания более полной картины гидроминеральных ресурсов соленых озер, а также оценки экологических рисков при эксплуатации водных ресурсов этого региона Монголии, что и стало основной целью настоящей работы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследование озер осуществлено в ходе российско-монгольских гидрохимических экспедиций в 2008–2009 гг. Точки отбора проб и их координаты приведены на рис. 1 и в табл. 1. Отбор проб озерной воды произ-

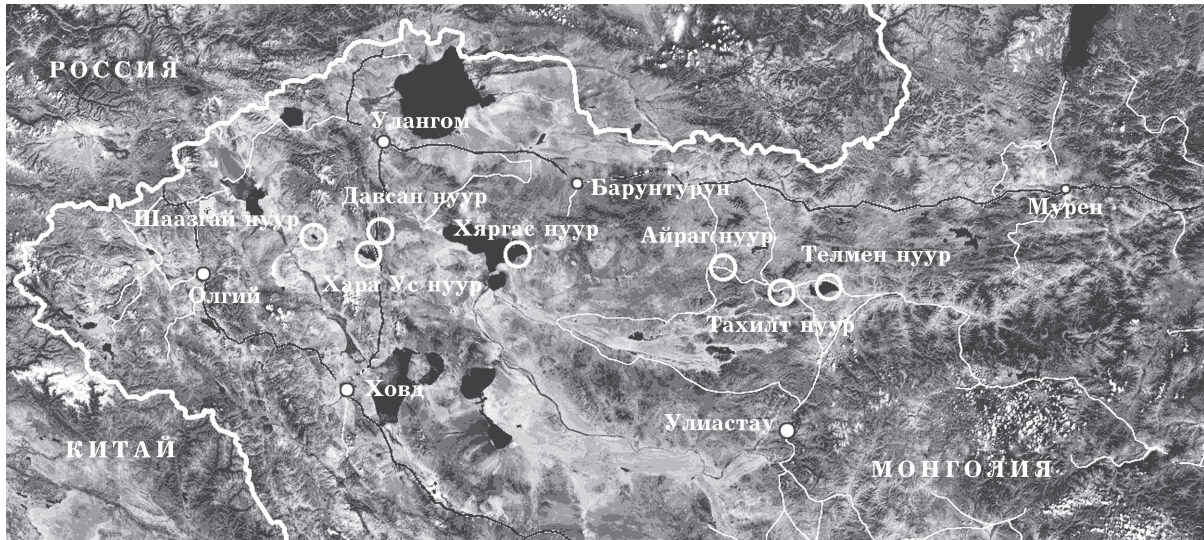


Рис. 1. Обзорная карта точек опробования экспедиции на территории Северо-Западной Монголии, 2009 г.

ТАБЛИЦА 1

Краткие сведения по водопунктам Северо-Западной Монголии

Номер точки	Объекты исследования	Координаты	Высота, м	Площадь водного зеркала, км ²	Средняя глубина, м
1	р. Харгайн Гол, 2009 г.	N 49°21'17.4" E 91°16'39.3"	1830	Н/о	Н/о
2	То же	N 49°17'28.5" E 91°16'24.4"	1737	Н/о	Н/о
3	оз. Шаазгай нуур, 2009 г.	N 49°14'43.4" E 91°17'17.9"	1703	8.3 [1]	1.6 [1]
4	То же	N 49°13'30.7" E 91°19'02.2"	1701	8.3 [1]	1.6 [1]
5	«	100 м от точки № 4	1699	8.3 [1]	1.6 [1]
6	«	То же	1699	8.3 [1]	1.6 [1]
7	«	«	1699	8.3 [1]	1.6 [1]
8	«	N 49°14'34.6" E 91°14'27.6"	1699	8.3 [1]	1.6 [1]
9	«	N 49°13'09.7" E 91°16'46.5"	1699	8.3 [1]	1.6 [1]
10	оз. Шаазгай нуур, 2008 г.	N 49°14'35.7" E 91°14'26.2"	1699	8.3 [1]	1.6 [1]
11	оз. Давсан нуур, 2009 г.	N 49°13'44.8" E 92°03'07.0"	1515	13	Н/о
12	То же, 2008 г.	N 49°13'38.2" E 92°03'01.5"	1515	13	Н/о
13	оз. Хара Ус нуур, 2009 г.	N 49°04'13.8" E 91°53'42.0"	1577	62.7 [1]	5 [1]
14	оз. Сууж нуур, 2009 г.	N 49°10'18.9" E 92°06'11.7"	1553	0.5	Н/о
15	оз. Хяргас нуур, 2009 г.	N 49°06'02.9" E 93°45'07.2"	1027	1407 [1]	19 [1]
16	оз. Айраг нуур, 2009 г.	N 49°00'13.2" E 96°05'44.2"	1770	1.9 [1]	0.6 [1]
17	оз. Тахилт нуур, 2009 г.	N 48°49'13.8" E 96°48'39.9"	1833	5.1 [1]	1.8 [1]
18	оз. Телмен нуур, 2009 г.	N 48°53'10.1" E 97°17'54.5"	1796	194 [1]	12 [1]
19	оз. Урег нуур, 2008 г.	N 50°05'13.0" E 91°04'27.6"	1425	238 [1]	12 [1]
20	оз. Бага нуур, 2008 г.	N 49°30'22.4" E 90°48'02.5"	1547	0.5	Н/о
21	оз. Бор Хаг нуур, 2008 г.	N 49°07'42.5" E 91°24'27.8"	1603	0.5	Н/о

Примечания. 1. Точка № 5 расположена на глубине 6 м, точка № 6 – на глубине 3 м, точка № 7 – на поверхности.
2. Здесь и в табл. 2, 4, 5: Н/о – не определялось.

водился, как правило, с глубины 30–40 см. Отобранные пробы воды фильтровались через мембранные фильтры с размером пор 0.45 мкм и собирались в пластиковые бутылки вместимостью 0.5 л для анализа макрокомпонентов; для анализа микрокомпонентов пробы отбирались в полипропиленовые бутылки вместимостью 250 мл. Все бутылки были предварительно подготовлены в соответствии с правилами подготовки емкостей перед отбором проб для предотвращения загрязнения. Пробы для анализа микрокомпонентов подкисляли азотной кислотой квалификации “ос. ч.” до pH 1–2. Измерение величины pH в полевых условиях проводилось с помощью pH-метра типа pHер. Одновременно с помощью GPS-навигатора производилось определение места отбора проб (точность определения координаты отбора составляла 6–10 м). Данные по площади водно-

го зеркала и средней глубине для большинства озер заимствованы из работы [1], для остальных озер оценка площади водного зеркала осуществлялась на основе натуральных съемок. Химический анализ отобранных проб производился в лабораторных условиях в ИХТТМ СО РАН и в научно-учебно-производственном центре “Вода” (ТПУ).

Анализ содержания кремния, карбонат-, гидрокарбонат-, хлорид- и сульфат-ионов определяли по стандартным методикам для соленых вод [4]. Содержание карбонат- и гидрокарбонат-ионов определялось в полевых условиях методом кислотно-основного титрования. Содержание кремния определялось колориметрическим методом, хлорид-ионов – аргентометрическим, сульфат-ионов – весовым методом по осаждению сульфата бария. Содержание Li, Na, K, Ca, Mg, Sr

ТАБЛИЦА 2

Содержание макрокомпонентов и минерализация (M^*) в минерализованных водах озер Северо-Западной Монголии и р. Харгайн Гол, мг/л

Номер пробы	Объекты исследования	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	M^*
1	р. Харгайн Гол	8.6	37.0	1.2	16	24	25	96	–	10.0	188
2	То же	8.2	36.0	1.2	20	49	30	116	–	7.36	215
3	оз. Шаазгай нуур, 2009 г.	9.3	4300	55	8.0	17.1	4900	2200	280	280	12 500
4	То же	9.4	4100	41	8.0	17.1	4500	2070	490	485	11 900
5	«	9.4	4800	25	8.0	14.6	5300	2500	260	260	13 500
6	«	9.4	4800	25	4.0	17.1	5300	2300	597	597	13 600
7	«	9.4	4990	25	12	13.4	5680	2270	550	550	14 200
8	«	9.4	6100	23	6.0	11.0	7380	2530	480	475	17 100
9	«	9.4	4200	59	8.0	14.6	4510	2190	574	627	12 200
	<i>Среднее</i>	9.4	4800	36	7.7	15.0	5380	2290	460	470	13 560
10	оз. Шаазгай нуур, 2008 г.	9.3	4200	40	16	9.8	4260	2300	540	580	11 950
11	оз. Давсан нуур, 2009 г.	8.5	3000	58	20	590	5430	290	120	1120	10 660
12	То же, 2008 г.	7.4	53 100	945	130	15 800	10 000	Н/о	Н/о	39 000	>209 500
13	оз. Хара Ус нуур, 2009 г.	9.0	1600	31	15	61	1540	1400	93	380	5080
14	оз. Сууж нуур, 2009 г.	8.6	4300	240	60	1090	4970	960	36	6140	17 740
15	оз. Хяргас нуур, 2009 г.	9.1	1900	190	9.0	170	1880	1800	400	1030	7480
16	оз. Айраг нуур, 2009 г.	9.1	8500	87	16	240	7530	1670	340	6880	25 200
17	оз. Тахилт нуур, 2009 г.	8.9	960	28	37	190	1300	660	24	560	3780
18	оз. Телмен нуур, 2009 г.	8.9	1900	60	10	370	2310	1100	160	1470	7390
19	оз. Урег нуур, 2008 г.	8.8	810	50	8.8	422	640	Н/о	Н/о	1290	>3220
20	оз. Бага нуур, 2008 г.	8.0	1300	75	4.8	90	1400	Н/о	Н/о	390	>3300
21	оз. Бор Хаг нуур, 2008 г.	7.7	7600	307	100	626	6300	Н/о	Н/о	4800	>19 740

Примечание. Н/о – не определялось.

определяли на спектрометре “Сатурн-2 М” и Varian AA 280 FS в режиме эмиссии и абсорбции в зависимости от определяемого элемента. Микроэлементный состав определен на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП) Agilent 7500a, а также методом атомно-эмиссионной спектроскопии с ИСП (iCAP 6300 Duo, Thermo Scientific). Для анализа использовалась деионизованная вода из установки Direct-Q 3 UV Millipore с удельным сопротивлением 18.2 МОм · см при 25 °С. В качестве эталонного раствора и раствора для настройки масс-спектрометра использовался 2 % р-р HNO₃, содержащий 10 млрд⁻¹ Li, Co, Ce, Y, Tl (Tuning Solution), фирмы Agilent.

В ряде случаев наряду с отбором проб воды проведен отбор донных осадков.

Рентгенофазовый анализ твердых фаз осуществлялся с использованием дифрактометра ДРОН-4, CuK_α-излучение, скорость съемки 2°/мин, интервал углов съемки 2θ = 5–70°. Анализ фазового состава осуществлялся на основе программы Search Match. Расчет коэффициента корреляции проводился с помощью программы Origin 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По химическому составу на территории Северо-Западной Монголии преобладают слабощелочные и щелочные, слабо- и среднеминерализованные воды (табл. 2). Минерализация озерных вод колеблется в основном от 1 до

25 г/л при pH 7.8–9.4. Исключение составляет оз. Давсан нуур, соленость вод которого в 2008 г. превышала 200 г/л. Содержание карбонат-ионов колеблется в пределах 23–600 мг/л, а гидрокарбонатов – 580–2500 мг/л. Доминирующим катионом является натрий, в ряде случаев наблюдается повышенное содержание магния.

В лимнологическом аспекте обычно выделяется четыре типа озер: карбонатные (содовые), сульфатно-натриевые, сульфатно-магниевые, хлоридные [5]. Среди отечественных исследователей в области озерных вод общепризнанна гидрохимическая классификация Курнакова – Валяшко, в основу которой положено сочетание главных катионов природных вод с главными анионами. Для этого применяются специальные коэффициенты метаморфизации воды K_n^* :

$$K_1^* = \frac{\partial_{\text{CO}_3^{2-}} + \partial_{\text{HCO}_3^-}}{\partial_{\text{Ca}^{2+}} + \partial_{\text{Mg}^{2+}}}$$

$$K_2^* = \frac{\partial_{\text{CO}_3^{2-}} + \partial_{\text{HCO}_3^-} + \partial_{\text{SO}_4^{2-}}}{\partial_{\text{Ca}^{2+}} + \partial_{\text{Mg}^{2+}}}$$

$$K_3^* = \frac{\partial_{\text{CO}_3^{2-}} + \partial_{\text{HCO}_3^-} + \partial_{\text{SO}_4^{2-}}}{\partial_{\text{Ca}^{2+}}}$$

$$K_4^* = \frac{\partial_{\text{CO}_3^{2-}} + \partial_{\text{HCO}_3^-}}{\partial_{\text{Ca}^{2+}}}$$

где ∂_i – число г-экв i -го иона.

Рассчитанные нами значения этих коэффициентов для некоторых озер приведены в табл. 3. Как видно, исследованные озера в основном относятся к карбонатному (содовому) типу.

В большинстве озер наблюдается следующий диапазон содержания элементов, мг/л: Li 0.9–3.5, Sr 0.4–5.0, Si 0–6.5, B 0.6–12, Br 1–28, U-238 0.01–1.1, Rb 0.001–0.015

ТАБЛИЦА 3

Гидрохимические типы озерных вод Северо-Западной Монголии

Номер пробы	Озера	K_1	K_2	K_3	K_4	Гидрохимический тип
3	Шаазгай нуур	25.8	29.0	132.2	117.5	Карбонатный (содовый)
11	Давсан нуур	0.2	0.7	15.8	5.0	Сульфатно-магниевый
13	Хара Ус нуур	4.2	5.5	44.1	33.3	Карбонатный (содовый)
14	Сууж нуур	0.2	1.5	48.1	5.5	Сульфатно-натриевый
15	Хяргас нуур	1.5	2.4	128.5	80.9	Карбонатный (содовый)
16	Айраг нуур	2.0	10.7	225.1	42.1	Карбонатный (содовый)
17	Тахилт нуур	0.6	1.3	12.4	6.1	Сульфатно-натриевый
32	Телмен нуур	0.7	1.7	102.4	41.1	Сульфатно-натриевый

ТАБЛИЦА 4

Содержание микрокомпонентов в водах минерализованных озер Северо-Западной Монголии и р. Харгайн Гол, мг/л

Номер точки	Объекты исследования	B	Br	Li	Rb	Si	Sr	U-238
1	р. Харгайн Гол, 2009 г.	0.092	0.16	0.11	0.015	7.0	0.047	0.01
2	То же	0.15	0.16	0.10	0.0012	7.5	0.19	0.03
3	оз. Шаазгай нуур, 2009 г.	10.0	12.0	0.86	0.0059	5.3	0.49	1.00
4	То же	11.0	12.0	0.91	0.0061	5.1	0.32	1.10
5	«	10.0	12.0	0.88	0.0081	6.3	0.40	1.10
6	«	10.0	12.0	0.90	0.0100	6.8	0.51	1.10
7	«	10.0	12.0	0.85	0.0066	5.9	0.34	1.0
8	«	9.9	11.0	0.85	0.0077	5.2	0.460	1.0
9	«	9.9	12.0	0.85	0.007	4.3	0.53	1.0
	<i>Среднее</i>	10.0	11.9	0.87	0.0073	5.6	0.4	1.04
10	оз. Шаазгай нуур, 2008 г.	7.5	12	0.75	0.0028	8.3	0.4	0.67
11	оз. Давсан нуур, 2009 г.	12.0	28	29	0.004	3.3	1.7	0.013
12	То же, 2008 г.	100	460	52.7±4.0	He обн.	He обн.	3.7	He обн.
13	оз. Хара Ус нуур, 2009 г.	3.6	2.9	1.2	0.001	3.6	1.7	0.07
14	оз. Сууж нуур, 2009 г.	13.0	21	1.8	0.022	4.9	3.5	0.05
15	оз. Хяргас нуур, 2009 г.	3.7	3.6	0.36	0.021	0.2	1.2	0.09
16	оз. Айраг нуур, 2009 г.	5.4	27.0	2.0	0.02	0.9	1.2	0.095
17	оз. Тахилт нуур, 2009 г.	0.66	2.6	0.47	0.006	4.1	2.0	0.02
18	оз. Телмен нуур, 2009 г.	1.6	Н/о	0.43	Н/о	0.15	1.8	0.02
19	оз. Урег нуур, 2008 г.	0.61	1.1	0.066	0.0047	0.006	1.0	0.026
20	оз. Бага нуур, 2008 г.	5.6	3.2	3.50	0.0014	6.5	5.0	0.13
21	оз. Бор Хаг нуур, 2008 г.	4.0	31	1.47	He обн.	<0.009	8.0	0.42

Примечание. Не обн. – не обнаружено.

(табл. 4). Содержание других элементов изменяется в следующих пределах, мкг/л: Ba $n100-n10$, Fe $n100-n$, Mo $n10$, Al, Zn, V $n10-n$, Mn $n10-n0.1$, Se, Ag, Pb n , Ti $n-n0.1$. Остальные проанализированные элементы (Cr, Cu и др.) присутствуют в количествах, не превышающих $n0.1$ мкг/л (табл. 5). Необходимо отметить повышенное содержание мышьяка, которое в водах оз. Шаазгай нуур достигает 250 мкг/л.

Результаты сравнительного анализа минерализации озерных вод и содержания в них макро- и микрокомпонентов указывают на существование корреляции между этими величинами. С увеличением минерализации во всех озерах наблюдается пропорциональный рост содержания натрия, хлорид- и сульфат-ионов (рис. 2). Коэффициент корреляции Пирсона составляет для них 0.966, 0.919 и 0.857 соответственно. Хуже коррелирует с минерализацией содержание магния (0.339) и бикарбонат-ионов (0.224). Еще более низкая корреляция

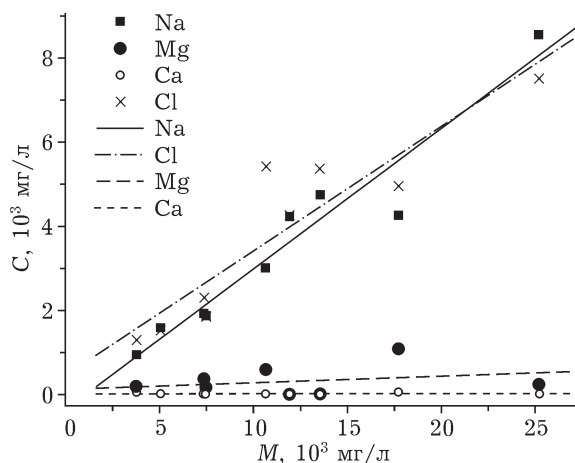
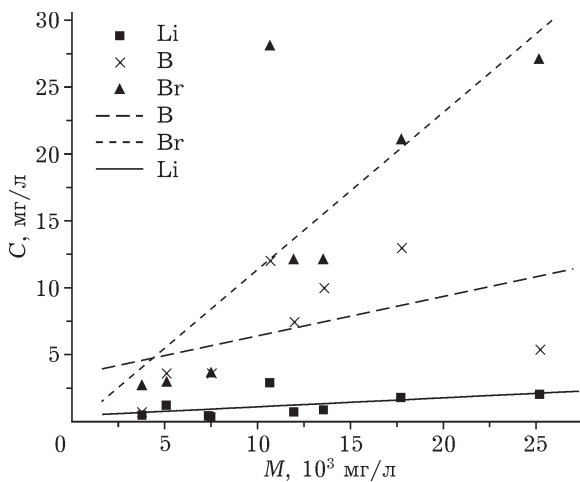


Рис. 2. Корреляция между минерализацией M и концентрацией макрокомпонентов (Na, Mg, Ca, Cl) в водах озер Северо-Западной Монголии.

ТАБЛИЦА 5

Содержание микрокомпонентов в водах минерализованных озер Северо-Западной Монголии и р. Харгайн Гол, мкг/л

Номер точки	Объекты исследования	Ag	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Se	Ti	V	Zn
1	р. Харгайн Гол, 2009 г.	0.8	7	2.0	7.0	0.5	0.4	20	0.6	7.0	6.0	1.0	1.0	2.0	8.0
2	То же	2	7	0.0	8.0	0.5	0.4	9	0.5	9.0	4.0	5.0	0.3	2.5	7.0
3	оз. Шаазгай нуур, 2009 г.	1	14	245	16	0.8	0.6	27	2.0	61.0	2.0	5.0	3.0	6.0	7.5
4	То же	5	14	246	20	0.4	0.5	146	3.0	74.0	2.0	5.0	3.0	4.0	12
5	«	2	12	245	17	0.7	0.5	22	5.0	65.0	3.0	6.0	2.0	5.0	7.0
6	«	3	10	243	17	0.5	2	36	2.0	60.0	4.0	4.0	2.5	4.0	9.0
7	«	1	11	246	13	0.5	0.4	13	6.0	65.0	2.5	6.0	2.0	4.0	8.0
8	«	2	12	245	18	0.7	0.5	28	15.0	61.0	3.0	7.0	3.0	5.0	16
9	«	6.5	11.0	246	12	0.7	0.5	17	5.0	64.0	1.0	6.5	2.0	5.0	5.0
	<i>Среднее</i>	2.9	12.0	245	16.1	0.7	0.71	41	5.4	64.2	2.5	5.6	2.5	4.7	9.2
10	оз. Шаазгай нуур, 2008 г.	Н/о	Н/о	240	20	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
11	оз. Давсан нуур, 2009 г.	1.0	15.0	32	44	0.5	0.3	8.0	17.0	30.0	1.5	5.0	0.3	8.0	7.0
12	То же, 2008 г.	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
13	оз. Хара Ус нуур, 2009 г.	2.0	36.0	93	190	0.5	0.6	57	2.0	39.0	3.0	6.0	0.8	7.0	6.0
14	оз. Сууж нуур, 2009 г.	3.0	18.0	10	27	0.7	1	10	5.0	96	3.0	7.5	0.3	3.0	17
15	оз. Хяргас нуур, 2009 г.	2.0	11.0	34	36	0.3	0.4	9	0.4	75.0	0.0	7.0	0.4	14	10
16	оз. Айраг нуур, 2009 г.	2.0	14.0	9.0	15.0	0.3	0.4	15.0	0.8	88.0	1.0	6.0	0.6	0.9	12
17	оз. Тахилт нуур, 2009 г.	4.0	20.0	7.0	62	0.4	0.3	136	4.0	30.0	2.0	4.0	0.8	6.5	7.0
18	оз. Телмен нуур, 2009 г.	2.0	1.4	7.0	18	0	0	7	0.4	27.0	0	6.0	0.6	3.0	10
19	оз. Урег нуур, 2008 г.	Н/о	Н/о	20	17	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	19	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
20	оз. Бага нуур, 2008 г.	Н/о	Н/о	70	43.5	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
21	оз. Бор Хаг нуур, 2008 г.	Н/о	Н/о	54	150	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о

Рис. 3. Корреляция между минерализацией M и концентрацией микрокомпонентов (Li, B, Br) в воде озер Северо-Западной Монголии.

ляция (0.191) наблюдается для кальция, что обусловлено образованием малорастворимого карбоната кальция (кальцита) и, возможно, доломита в карбонатно-бикарбонатных озерных водах. О наличии этих минералов свидетельствуют данные рентгенофазового анализа донных осадков озер.

Среди микрокомпонентов наибольший коэффициент корреляции наблюдается для брома (0.784) (рис. 3). Для лития и бора корреляция оказалась меньше (0.523 и 0.469 соответственно). Содержание урана слабо коррелирует с общей минерализацией озерных вод (0.158); более высокая корреляция наблюдается между содержанием урана и гидрокарбонатов в озерных водах (0.738) (рис. 4). Повышенное содержание урана в озерной воде, содержащей значительное количество гидрокарбонат-/карбонат-ионов, связано с образованием в этих условиях различных комплексов уранила $UO_2(CO_3)_2^{2-}$, $UO_2(CO_3)_3^{4-}$,

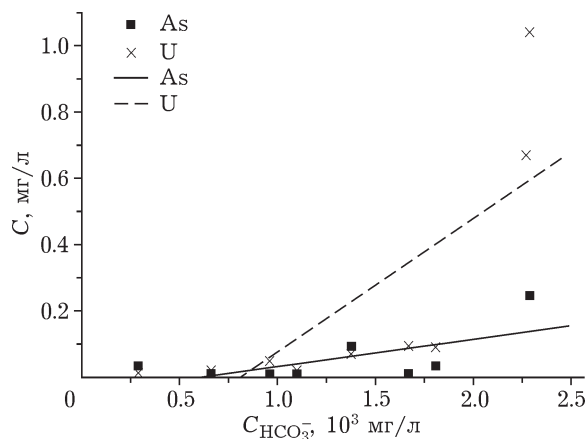


Рис. 4. Корреляция между концентрацией гидрокарбонат-ионов и содержанием U-238 и As в озерных водах Северо-Западной Монголии.

$UO_2(CO_3)_0$ и др. [6]. Эти комплексные анионы с большинством катионов озерных вод образуют хорошо растворимые соединения, что и обеспечивает возможность накопления высоких концентраций урана. Поведение мышьяка аналогично поведению урана: его концентрация в озерной воде слабо коррелирует с минерализацией (-0.026), однако выявлена существенно более высокая корреляция с концентрацией гидрокарбонат-ионов (0.647) (см. рис. 4). Наконец, имеется высокая корреляция между концентрациями урана и мышьяка в озерной воде (0.942).

Анализ химического состава озерных вод, имеющих речное питание (Шаазгай нуур, Хара Ус нуур, Хяргас нуур), свидетельствует о том, что годовые изменения концентрации макро- и микрокомпонентов (измерения проводились в одно и то же время года) относительно невелики и составляют несколько десятков процентов (табл. 6). В то же время для озер, не имеющих постоянного речного питания, изменения в химическом составе могут быть гораздо значительней. Так, концентрация макро- (K, Na, Mg, Cl, SO_4^{2-}) и микрокомпонентов (Li, Br, B), входящих в состав хорошо растворимых солей (хлоридов, сульфатов, бромидов, боратов), в воде озера Давсан нуур в 2008 г. существенно превышала концентрацию этих компонентов в воде озера в 2009 г. (см. табл. 6).

Большинство крупных и средних озер Северо-Западной Монголии (Ачит нуур, Урег нуур, Хяргас нуур, Хара Ус нуур, Шаазгай нуур и др.) имеют речное питание, поэтому нами было измерено поступление макро- и микрокомпонентов с речной водой. Для этих целей выбрано оз. Шаазгай нуур, расположенное в межгорной котловине. С северной части в озеро впадает р. Харгайн Гол, которая формируется в горном массиве Хархира, расположенном к северу от озера (рис. 5).

ТАБЛИЦА 6

Годовые изменения состава некоторых озер Северо-Западной Монголии, мг/л

Годы	Li	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO_4^{2-}	B	Br
<i>оз. Хяргас нуур</i>									
2009 (июль)	0.36	1880	190	8.4	280				
2008 (июль)	0.20	1930	219	32	226				
2007 (август)	0.30	1940	200	37	300				
<i>оз. Шаазгай нуур</i>									
2009 (июль)	0.87	4170	59	8.0	14				
2008 (июль)	0.75	4240	40	16.0	10				
2007 (август)	0.79	4110	60	6.0	13				
<i>оз. Хара Ус нуур</i>									
2009 (июль)	1.256	1585	31	15	61				
2008 (июль)	1.00	1115	24	7	44				
2007 (август)	1.00	1190	40	19	76				
<i>оз. Давсан нуур</i>									
2009 (июль)	2.9	3020	58	20	510	5430	1120	12.0	28
2008 (июль)	53	53 100	945	130	15 800	100 000	39 000	100	460



Рис. 5. Карта точек опробования на оз. Шаазгай нуур.

Площадь водного зеркала составляет 8.3 км^2 , объем – 0.01 км^3 [1]. Выбор оз. Шаазгай нуур в качестве объекта исследования обусловлен рядом факторов: высоким содержанием в его водах ряда микрокомпонентов (Li, B, Br, U-238); хорошей доступностью береговой линии озера и реки, позволяющей отбирать пробы практически в любой точке озера. На рис. 5 приведены точки отбора проб на оз. Шаазгай нуур и р. Харгайн Гол.

Полученные данные (см. табл. 2, 4) свидетельствуют о том, что содержание макро- (Na, K, Mg, HCO_3 , CO_3) и микрокомпонентов (Li, U-238, B, Si, Sr) варьирует в различных точках на поверхности озера. Это может быть связано с особенностями перемешивания речных и озерных вод: более высокие концентрации компонентов наблюдаются вдали от устья р. Харгайн Гол. Анализ вод по глубине озера показывает, что минерализация с глубиной отбора проб уменьшается, что, по-видимому, связано с эвапоритизацией поверхностных слоев воды.

Как видно из данных табл. 2, несмотря на достаточно низкую минерализацию речной воды (0.2 г/л), в ней отмечается повышенное

содержание лития и урана, источники которых, по-видимому, приурочены к горным породам территории водосбора. Средний коэффициент концентрирования элементов в озерной воде по сравнению с речной составляет: для Na – 130, K – 30, Cl – 160, Li – 9, B – 80, Br – 75, U – 50. Существенное различие в значениях этого коэффициента для исследуемых элементов свидетельствует о том, что их накопление – результат не только испарения воды в озере. Для ряда элементов имеются дополнительные источники, обусловленные их привнесом подземными водами, для других элементов таким фактором служит взаимодействие озерной воды с горными породами. Часть элементов, наоборот, высаживается на дне озера в виде разнообразных минералов [6, 7]. Все эти явления будут объектом наших исследований в ближайшее время. Это поможет точнее определить рудогенерирующий потенциал озер Монголии. В данной статье мы приводим предварительные результаты такой оценки, используя только поверхностные воды.

Оценка суточного поступления лития, урана и других компонентов в воды озера, исходя из концентрации этих элементов и объемной скорости в точке № 2 ($\omega = 0.15 \text{ м}^3/\text{с}$), составляет, кг: Li 1.3, Na 300, K 8, Mg 63, B 2, Br 2, U-238 0.65, Sr 2.6, Rb 0.016. Для более точной оценки поступления элементов в озерные воды с речными водами необходимы данные по скорости течения реки и составу ее вод в течение всего гидрологического периода.

На основании полученных данных по химическому составу озерных вод и имеющихся в литературе сведений по объему озер [1] проведена предварительная оценка запасов Li, B, Br, Rb, Sr, U-238 и As в ряде озер Северо-Западной Монголии, имеющих речное питание (табл. 7). Видно, что наибольшие объемы гидроминеральных ресурсов сосредоточены в оз. Хяргас нуур.

Существующие промышленные методы переработки минерализованных озерных вод, расположенных в аридной зоне, основаны на гелиоконцентрировании гидроминерального сырья с выделением на первом этапе солей, в качестве которых часто выступают NaCl, Na_2SO_4 , Na_2CO_3 и др. [8]. Выбор методов для последующего извлечения микрокомпонентов

ТАБЛИЦА 7

Рудогенерирующий потенциал озер Северо-Западной Монголии, 2009 г.

Озера	Объем, км ³	Содержание, мг/л/Запасы, т						
		Li	Rb	B	Sr	Br	U-238	As
Урег нуур	6.4	0.066/450	0.0047/30	0.61/3900	1.0/6390	1.1/7000	0.026/166	Н. д./Н. д.
Хяргас нуур	66	0.3/19 800	0.0155/1023	3.7/24 · 10 ⁵	1.2/79 200	3.6/2.4 · 10 ⁵	0.09/5940	0.034/2240
Хара Ус нуур	0.3	1.00/300	0.0010/0.3	1.6/480	1.7/510	2.900/870	0.07/21	0.093/28
Шаазгай нуур	0.01	0.8/8	0.0028/0.03	7.5/75	0.4/4	12.0/120	1.0/10	0.25/2.5
Телмен нуур	2.7	0.43/1160	Н. д./-	1.6/4320	1.8/4860	Н. д./Н. д.	0.02/54	0.007/19
Давсан нуур*	0.0002	50/10	Не обн./-	100/20	3.7/0.74	460/92	Не обн./Не обн.	Н. д./Н. д.

Примечание. Н. д. – нет данных; не обн. – не обнаружено.

* Исследования проводились в 2008 г.

(Li, B, Br, Sr), концентрация которых после садки солей существенно возрастает, зависит от природы конкретного элемента, его концентрации, а также солевого фона. При невысоком содержании в сконцентрированных озерных водах магния и щелочно-земельных металлов (Ca, Sr, Ba) эти компоненты озерных вод удаляются в виде малорастворимых соединений (гидроксида магния, карбонатов кальция, бария и стронция). Литий выделяется в виде карбоната при обработке очищенных озерных вод карбонатом натрия. При высокой концентрации катионов щелочно-земельных металлов выделение лития в виде карбоната нецелесообразно, и для его извлечения в ряде случаев можно применять селективные сорбционные методы [9, 10]. Необходимо отметить, что минерализованные озерные воды Северо-Западной Монголии отличаются повышенной концентрацией U-238. В этой связи для извлечения элементов из вод этого типа существующие галургические схемы должны быть модифицированы с учетом необходимости очистки гидроминерального сырья от урана. Известно большое число методов выделения урана из водных растворов (питьевой воды, морской воды, воды соленых озер). Так, можно отметить работы по применению сильноосновных анионообменных смол, таких как Ionac A-651, Purolite A-520 E, Amberlite IRA 910 [11, 12]. Выделение урана можно осуществлять его сорбцией на высокодисперсном гидроксиде алюминия [12] и железа [13], оксиде церия. Выбор метода для извлечения урана из минерализо-

ванных озерных вод Северо-Западной Монголии будет определяться макро- и микрокомпонентным составом воды и концентрацией урана, что потребует отдельного исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования микрокомпонентного состава вод соленых озер Северо-Западной Монголии свидетельствуют о повышенном содержании в них лития, брома, урана, бора и в ряде случаев мышьяка. Выявлено, что содержание макро- (Na, Cl, SO_4^{2-}) и микрокомпонентов (Li, B, Br) коррелирует с минерализацией озерных вод, а содержание U-238 и As – с концентрацией гидрокарбонат-ионов. Оценено содержание микрокомпонентов (Li, B, Br, Rb, Sr, U-238, As) в воде ряда соленых озер Северо-Западной Монголии. Показано, что наибольшие ресурсы микрокомпонентов сосредоточены в водах оз. Хяргас нуур. На примере оз. Шаазгай нуур проведена предварительная оценка величины суточного поступления микро- и макрокомпонентов в озерные воды с речной водой. Извлечение микрокомпонентов из озерных вод Северо-Западной Монголии может быть основано на существующих схемах переработки гидроминерального сырья, однако ввиду повышенного содержания урана в озерных водах требуется модификация этих схем.

Впервые обнаруженное в ходе работы повышенное содержание мышьяка и урана в водах ряда соленых озер Северо-Западной Монголии имеет важное значение для оцен-

ки экологических рисков при использовании водных ресурсов этих озер, особенно для животноводства, и требует отдельного исследования.

Авторы выражают глубокую признательность сотруднику ИГМ СО РАН О. П. Герасимову за помощь в проведении экспедиционных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ-Монг_а №09-05-90210, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 99 и 38, проектов СО РАН по поддержке экспедиционных работ 2008–2009 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Церэнсодом Ж. Монгол орны нуурын каталог. Улаанбаатар: Шуувун Сараал, 2000. 141 с.
- 2 Рассказов А. А., Севастьянов Д. В., Егоров А. Н., Цэрэнсодном Ж. Озера МНР и их минеральные ресурсы. М.: Наука, 1991. 136 с.
- 3 Лувсандорж Ш. Минеральные озера Монголии и возможности использования их солей. Улан-Батор: Изд-во АН МНР, 1973. 147 с.
- 4 Унифицированные методы анализа вод / отв. ред. Ю. Ю. Лурье. М.: Химия, 1971. 243 с.
- 5 Валяшко М. Г. Закономерности формирования месторождений солей. М.: Изд-во МГУ, 1962. 398 с.
- 6 Drever J. I. (Ed.). Surface and groundwater, weathering, and soils // Treatise on Geochemistry. Vol. 5. Elsevier, Pergamon, 2005. 605 p.
- 7 Spalding R. F., Druliner A.D., Whiteside L.S., Struemler W. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. Vol. 48, No. 12. P. 2679–2692.
- 8 Garrett D. Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride. Their Deposits, Processing, Uses and Properties. Elsevier, 2004. 457 p.
- 9 Исупов В. П. Интеркаляционные соединения гидроксида алюминия: дис. ... д-ра хим. наук. Новосибирск, 1998. 328 с.
- 10 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.
- 11 Phillips D., Gu B., Watson D. B., Parmele C. S. // Water Res. 2008. Vol. 42. P. 260–268.
- 12 Pat. 4241026 USA, 1980.
- 13 Duff M. Uranium Sorption on Sodium Aluminosilicates and Gibbsite. U. S. Department of Energy Under Contract Number DE-AC09-96SR18500. Rep. 2002. P.31.
- 14 Morrison S., Spangler R., Tripathi V. // J. Contam. Hydrol. 1995. Vol. 17. P. 333–346.