

Ч.К. ОЙДУП

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)

ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛЁНЫХ ОЗЁР УБСУНУРСКОЙ КОТЛОВИНЫ (Юго-Восточная Тува)

В настоящей работе представлены первые результаты исследования распространённости химических элементов в донных отложениях солёных озёр на территории бессточной Убсунурской котловины. Новые аналитические возможности дают благоприятные условия для детального изучения не только вещественного состава воды, но и донных отложений озёр. В этой связи изучение многокомпонентного состава солёных озёр, солончаков на данной территории представляет интерес, особенно для изучения распространённости в природных средах элементов редкометальной и редкоземельной минерализаций.

Ключевые слова: солёное озеро, солончак, гидрогеохимия, редкоземельные элементы, минерализация воды, Убсунурская котловина, геохимический состав.

Рис. 3. Табл. 1. Библ. 8 назв. С. 12–20.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта № 110: «Гидроминеральные ресурсы Сибири и сопредельных территорий: рудогенерирующий потенциал, новые технологии комплексной переработки, экологическая безопасность»

Ch.K. OYDYP

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia) **GEOCHEMICAL COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS FOR THE UBSUNUR BASIN SALT LAKES (SOUTH-EASTERN TUVA)**

The paper presents the first study results for the abundance of chemical elements in the bottom sediments of salt lakes on the territory of the endorheic Ubsunur basin. New analytical possibilities provide favorable conditions for a detailed study of not only the material composition of water, but also the bottom sediments of lakes. In this regard, the study of the multicomponent composition of salt lakes and solonchaks in this area is of interest, especially for studying the prevalence of elements of rare metal and rare earth mineralization in natural environments.

Keywords: salt lake, solonchak, hydrogeochemistry, rare earth elements, water mineralization, Ubsunur depression, geochemical composition.

Figures 3. Table 1. References 8. P. 12–20.

ВВЕДЕНИЕ. Солёные озёра и минерализованные подземные воды являются объектом повышенного интереса и интенсивного изучения в качестве источника рентабельного извлечения не только традиционных продуктов, используемых для нужд населения, таких как поваренная соль, сода, сульфат натрия, но и других полезных компонентов: соединений лития, брома, калия, бора, магния. Специализированные работы по изучению гидрохимического состава вод солёных озёр тувинской части Убсунурской котловины проводились в 60-х и 90-х годах прошлого века и попутно при картировании ареалов распространения подземных вод Тувинской геологоразведочной экспедицией. При этом исследовался преимущественно общий химический состав вод, а содержание большинства микрокомпонентов в воде и донных осадках оставалось неизвестным. Озёра Убсунурской котловины также не представляли практического интереса для Республики Тыва с точки зрения санаторно-курортного освоения в связи со своей отдалённостью от центра. Эпизодически велась добыча соли из оз.

Холь, а население близлежащих сёл в летнее время для лечения предпочитало оз. Бай-Холь, реже Шара-Нур. В настоящее время новые аналитические возможности создают благоприятные условия для детального изучения вещественного состава воды и донных отложений озёр. В связи с этим изучение многокомпонентного состава солёных озёр, солончаков на данной территории представляет интерес, особенно для исследования распространённости в природных средах элементов редкометалльной и редкоземельной минерализаций.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. Пробы донных отложений отбирались с глубины 10–20 см массой около 1–1,5 кг с разрушением структуры грунта с помощью штангового дночерпателя ГР-91. Часть пробы, которая соприкасалась с металлическим ковшом инструмента, сразу отбрасывалась. После слива излишков несвязанной воды пробы помещались в полиэтиленовые пакеты и транспортировались в лабораторию. Затем они высушивались при комнатной температуре около недели, средняя проба отбиралась методом квартования до нужной навески. Микрокомпонентный (полный геохимический) состав донных осадков озёр определён в ИХТТМ СО РАН (Новосибирск) на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500-а (США) в режиме спектр полуколичественного анализа. После длительной подготовки пробы к анализу полученный конечный раствор центрифугировался, фильтровался или отстаивался, чтобы осел осадок и раствор был прозрачным. Предварительно проводился анализ раствора методом атомной абсорбции без разбавления для определения содержания кобальта, никеля и методом пламенной фотометрии — лития. Содержание железа и марганца в пробе определялось при разбавлении раствора в 10 раз. Для последующего масс-спектрального анализа пробы разбавлялись ещё в 50 раз, т. е. 0,1 мг пробы + 4,9 мг раствора 1 %-й азотной кислоты. Этот метод даёт информацию о содержании микроэлементов, которые накапливаются на поверхности. Проба полностью не растворяется, вся силикатная часть остаётся в осадке, т. е. метод представляет собой кислотную вытяжку. Калибровочным раствором для настройки спектрометра и анализа служил эталонный раствор 10 ppb Li, Y, Ce, Co, Tl в 2 %-й азотной кислоте (Agilent technology). Пробы разбавлялись высокочистой водой с сопротивлением 18,2 МΩ при 25°C, полученной на установке Direct Q 3 UV Millipore (Россия). Концентрированная азотная кислота марки ОСЧ (особой чистоты) перегонялась в установке по перегонке кислот из фторопласта. Ошибка определения не превышала ± 30 %.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА. Убсунурская котловина представляет собой южный опустыненно-степной район Тувы и охватывает территорию, расположенную к югу от хр. Танну-Ола и юго-западу от хр. Сангилен вплоть до государственной границы с Монголией (рис. 1). В масштабах крупного географического деления район принадлежит к Котловине Больших Озёр Северо-Западной Монголии. Основным элементом территории района являются равнины, лежащие на уровнях 750–1000 м н.ур. моря. Климат района резко-континентальный с сильными контрастами в ходе годовых и суточных колебаний температур и низкой влажностью. В западной низменной части района выпадает немногим более 100 мм осадков в год, в восточной, более приподнятой части — 150–200 мм. Низкая влажность климата связана с высоким испарением и изолированностью котловины от влажных северо-западных ветров, на пути которых, кроме хребтов Западного Саяна, стоят ещё мощные барьеры — хребты Танну-Ола и Сангилен. Климатические условия котловины способствуют интенсивному развитию процессов континентального засоления, с проявлением которых связано формирование химического состава вод озёр. Основное пополнение водных ресурсов озёр происходит благодаря разгрузке подземных вод, что наиболее ярко проявляется на водосборной площади озёр Шара-Нур и Бай-Холь и за счёт атмосферных осадков. Котловина с северо-востока граничит с крупной геологической структурой Тувино-Монгольского массива (ТММ) с рифейским основанием, который является одним из фрагментов каледонского супертеррейна.

Западная часть данной структуры является редкометалльной провинцией. Здесь сосредоточены крупные месторождения лития Сольбельдирское, Тастыгское и редких-редкоземельных элементов (РЗЭ) — Улуг-Танзекское. С севера и северо-запада котловина граничит с Таннуольской, Агардагской офиолит-островодужной структурными зонами, сформированными на этапах зарождения, существования и закрытия Палеоазиатского океана (Сугорокова, Ойдуп, 2010).



Рисунок 1. Район исследования солёных озёр Убсунурской котловины

Изучаемые озёра Дус-Холь, Шара-Нур, Бай-Холь и солончак Кок-Холь располагаются на абсолютных отметках 916–1012 м в северной части бессточной Убсунурской котловины мезо-кайнозойского возраста. Подробная характеристика химического и геохимического состава вод исследуемых озёр даётся в работе (Ойдуп и др., 2014), здесь мы ограничимся краткой информацией.

Озеро Шара-Нур (географические координаты: 50°14.602' с. ш.; 94°36.415' в. д.) расположено в междуречье Нарин-Гол и Тес-Хем на абсолютной отметке 916 м н. ур. моря (рис. 2). Площадь водного зеркала составляет около 4,12 км², форма озера овальная, вытянутая с северо-востока на юго-запад. В геолого-структурном плане озеро заполняет пологую впадину, расположенную над геологической границей ТММ и Агардагской офиолитовой зоной. Слабосоленая вода оз. Шара-Нур — щелочная сульфатно-хлоридного натриевого химического состава с минерализацией 19 г/л.



Рисунок 2. Схема расположения солёных озёр и солончака Кок-Холь на топографической основе м-ба 1 : 100 000

В соседнем пресноводном озере (таких озерков три) глубиной около 10 м, в 100–250 м южнее оз. Шара-Нур, вода слабощелочная $\text{Cl-HCO}_3\text{-Mg-Na}$ с минерализацией 0,65 г/л.

Озеро Дус-Холь (оз. Самагалтай (по: Пиннекер, 1968)) (географические координаты: $50^\circ 14.65'$ с. ш.; $94^\circ 35.893'$ в. д.) расположено восточнее оз. Шара-Нур, на отметке 1018 м н. ур. моря. В географическом отношении водоём озера с востока окружён невысокими возвышенностями, где местами отмечаются останцы гранитных выходов, а с запада расположен хр. Кара-Шат (Агардагская офиолитовая зона). На севере водосборной площади озера протекает р. Тес-Хем. На днище оз. Дус-Холь залегают вулканогенно-осадочные образования офиолитового комплекса с возрастом 570 млн л. Большая часть озера представлена солончаком. Площадь только водоёмной части около $0,35 \text{ км}^2$, глубина — 0,3–0,5 м. Дно водоёма выложено слоем самосадочной соли белого цвета. Вода оз. Дус-Холь представляет собой крепкий рассол, по химическому составу слабощелочная хлоридная магниевно-натриевая с минерализацией 318 г/л.

Озеро Бай-Холь (географические координаты: $50^\circ 20.686'$ с. ш.; $95^\circ 01.731'$ в. д.) с абсолютной отметкой 1072 м н. ур. моря расположено в другой ложбинке в 8-ми км к востоку от оз. Дус-Холь (см. рис. 2). Площадь водного зеркала составляет $3,0 \text{ км}^2$ с максимальной глубиной до 15 м. Озеро имеет округлую форму, днище которого преимущественно выполнено гнейсами, гранитами, коренные выходы которых обнажаются в восточном борту озера. Вода оз. Бай-Холь имеет более высокую минерализацию — 28,50 г/л., слабощелочную реакцию среды и сульфатно-хлоридный магниевонатриевый состав.

В 2-х км к востоку от оз. Бай-Холь в логу северо-восточного простирания находится солончак *Кок-Холь* (см. рис. 2) (географические координаты: $50^\circ 19.785'$ с. ш.; $95^\circ 02.101'$ в. д.) площадью около $0,25 \text{ км}^2$. Донные отложения в солончаке представлены илистым, липким материалом тёмно-серого цвета. Озеро Бай-Холь и солончак Кок-Холь находятся на территории Тувино-Монгольского субконтинентального массива Центрально-Азиатского складчатого пояса с редкометалльной, редкоземельной специализацией, гипсометрически выше уровня р. Тес-Хем. Солончак находится непосредственно в логу с чётким наклоном в сторону реки, т. е. была возможность стока в реку, что способствовало истощению водных ресурсов и постепенному усыханию сформировавшего его озера. Благодаря тому, что оз. Бай-Холь пополняет свои ресурсы преимущественно за счёт трещинных и, частично, поверхностных вод, основной источник поступления микроэлементов за счёт выщелачивания вмещающих горных пород (гранитов, гнейсов, кристаллических сланцев). Наличие пересыхающего оз. Дус-Холь и солончака Кок-Холь свидетельствуют о значительной роли процессов испарения в озёрах, расположенных в днище бессточной Убсунурской котловины, определяющих снижение объёмов воды вплоть до усыхания озёр и экстремального повышения минерализации воды.

ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ. Мелководность озёр, сильная гидродинамическая деятельность способствуют перемешиванию всей водной толщи и перераспределению осадочного материала в донных отложениях озера. В прибрежной части озёр Бай-Холь и Шара-Нур до глубины 1–2 м донные осадки представлены обломками разного размера до мелкозернистого песка, которые к центральной части озера переходят в тонкообломочный материал и глинистый ил. На оз. Шара-Нур донные осадки опробованы в трёх точках — на глубине 1, 3 и 5 м. Донные осадки из малых глубин (1–2 м) представлены крупно-мелкообломочным материалом. Донные отложения из глубин 3 и 5 м представлены тонкодисперсным илом, для них характерны повышенные содержания (от кларка осадочных пород) по бромю, йоду, стронцию, урану, причём с резким увеличением с глубиной (Краткий..., 1977). Превышение по бромю составляет от 1,3 до 20 и более раз, по йоду — от 3 до 40 раз (табл. 1), по стронцию — до 5 раз. Есть тенденция увеличения содержания лития с глубиной, хотя в целом его содержание ниже кларка осадочных пород.

В пробе ила, отобранного с глубины 5 м, содержание урана составляет до 20 г/т, на меньших глубинах содержание его ниже или на уровне кларка осадочных пород. На соседнем пресноводном озере также отмечаются превышения по этим же элементам, но с более низкими значениями. Отмечается и наличие редкоземельных элементов в отличие от воды озера. На *рисунке 3* представлены спектры распределения РЗЭ, нормированные к средней осадочной породе (глины, сланцы) (Краткий..., 1977). В целом, содержания РЗЭ в тонкозернистых и пелитовых осадках намного ниже, чем в средней осадочной породе. Конфигурация и положение спектров распределения РЗЭ неравномерное, характеризуется ломаной линией. На пресноводном соседнем озере отмечается относительно равномерное распределение РЗЭ с низким уровнем (*см. рис. 3 а*).

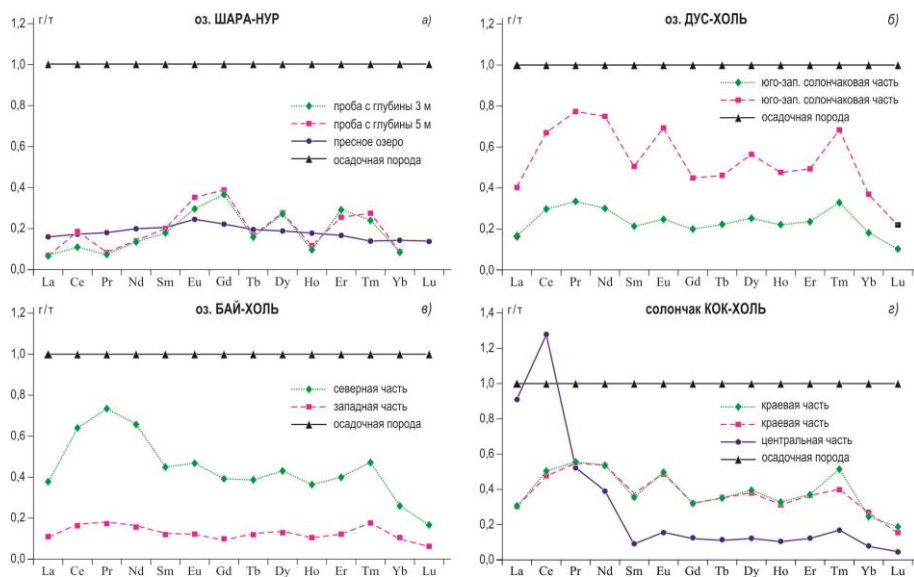


Рисунок 3. Распределение РЗЭ в песчаных и глинистых отложениях солёных озёр Убсунурской котловины (данные нормированы к средней осадочной породе) (Краткий..., 1977)

Содержание лития в осадках оз. Дус-Холь составляет 9,13–16,2 г/т. Для сравнения — в донных осадках солёных озёр Южной Сибири его содержится 4–29 г/т (Владимиров и др., 2011). В оз. Шара-Нур наблюдаются повышенные содержания Рb, Вi, Sr (по одной пробе превышение до 6 раз, в остальных на уровне кларка). Брома в донных осадках больше чем в рассоле почти в 2 раза. Также фиксируется наличие йода от 5 до 10 раз и больше (*см. табл. 1*). Содержание урана колеблется от 1,25 до 10 г/т, что ниже, чем на оз. Шара-Нур и выше по уровню распределения РЗЭ (*см. рис. 3 б*), отмечается слабое обогащение средними элементами, причём с положительной аномалией тербия.

На оз. Бай-Холь пробы отбирались на северной, восточной и западной частях. Повышенные содержания урана отмечаются только на северном и западном участках, где материал донного осадка тонкодисперсный песок с примесью ила. Содержание йода и брома на уровне осадочных пород. Наблюдается присутствие свинца в одной пробе и висмута во всех трёх пробах. Компактное расположение питающих источников на одной оконечности водоёма оз. Бай-Холь сказалось на микрокомпонентном составе донных отложений в пределах озера. Причём эти пресноводные питающие источники обогащены редкоземельными источниками (Ойдуп и др., 2014). Спектры редкоземельных элементов в донных осадках отличаются по уровню распределения. Образец, отобранный с западной части озера, имеет самый низкий, а с северной — высокий уровни распределения РЗЭ, чем у восточной части (*см. рис. 3 в*).

По сравнению с западным участком озера содержание РЗЭ в этом образце повышено в 2 и 4 раза соответственно.

Таблица 1. Химический состав донных отложений солёных озёр Юго-Восточной Тувы (Убсунурская котловина)

Компонент	Содержание компонентов, г / т												Кларк осадочных пород (глины, сланцы)
	оз. Шара-Нур			оз. Бай-Холь			оз. Дус-Холь			солончак Кок-Холь			
	глуб. 5 м	глуб. 3 м	пресн. озеро	сев. часть	вост. часть	зап. часть	юго-западная солонч. часть	осад. порода	краев. часть	центр. часть	осад. порода		
Ti	170	102	310	290	660	183	378	590	731	560	558	182	4500
V	16,5	5,1	16,6	10,8	16,1	7,9	18,7	34,9	46,0	39,0	39,0	12,3	130
Cr	20,0	8,4	14,6	6,5	13,3	3,5	28,1	39,4	46,5	26,8	25,7	9,0	100
Mn	220	110	110	268	105	276	440	453	460	670	670	256	670
Fe	6140	3360	6000	4230	5700	2320	11400	25600	24560	18500	21200	5346	33300
Co	3,2	1,1	2,8	3,0	3,1	1,1	4,9	10,0	12,0	8,3	7,8	2,7	20
Ni	32,1	5,1	11,0	7,0	7,6	1,1	17,3	49,2	51,0	24,2	24,0	10,0	95
Cu	20,00	3,70	36,80	36,20	3,80	0,02	13,0	110,0	37,6	24,0	61,4	19,2	57
Pb	180	51	100	120	н. опр.	н. опр.	18,0	350,0	17,7	16,5	170,0	20,8	20
Bi	0,33	2,70	0,90	1,70	0,50	2,40	0,2	0,8	1,0	0,4	0,2	0,1	0,01
Al	3300	2290	3840	2920	4566	1980	5850	8800	14100	11300	10050	3150	104500
As	4,1	1,4	2,5	1,2	0,07	н. опр.	2,30	8,30	10,40	4,00	2,00	0,08	6,6
I	49,0	3,2	3,4	2,4	0,8	0,9	8,2	5,9	10,0	4,1	4,0	1,1	1
Br	127,0	11,2	11,6	8,0	5,7	5,9	89,0	64,0	88,0	54,0	55,2	112,0	6
Li	14,6	4,2	5,5	4,7	4,7	3,9	9,1	12,8	16,2	25,7	26,7	10,0	60
Ga	5,2	4,4	5,0	4,3	2,7	2,9	4,9	8,4	14,0	10,0	9,4	3,0	30
Rb	6,1	2,5	4,3	2,8	3,9	1,7	10,0	13,7	21,4	23,7	22,3	6,9	200
Sr	2300	2380	650	1,9	90,0	286,0	3000	370	397	2830	2730	748	450
Y	2,1	2,2	3,7	5,2	8,6	2,6	5,8	9,4	14,0	8,2	8,3	2,7	30
Zr	3,4	1,9	3,3	2,8	2,9	1,6	6,0	5,9	5,2	8,7	8,3	2,9	200
Ba	85,0	79,5	80,0	75,3	19,0	59,3	56,0	98,0	140,0	0,1	139,0	45,4	800
Th	н. обн.	0,8	1,0	1,6	3,3	0,8	1,8	3,4	4,2	3,4	3,3	0,9	11
U	20,7	5,6	6,6	18,8	1,6	23,0	10,0	1,3	1,3	82,5	78,1	78,0	3,2
La	3,4	4,2	6,0	7,5	15,2	4,4	7,0	13,3	16,2	11	11,7	36,8	40
Ce	6,4	7,4	13,1	16,4	31,8	8,4	14,7	29,0	33,4	25,2	23,4	64,0	50
Pr	0,71	0,90	1,50	1,90	3,70	0,90	1,7	3,3	3,9	2,8	2,8	2,6	5
Nd	3,5	3,8	6,5	8,0	15,2	3,8	7,0	13,7	17,2	12,0	12,3	9,0	23
Sm	0,7	0,7	1,1	1,4	2,9	0,8	1,4	2,7	3,3	2,2	2,4	0,6	6,5
Eu	0,137	0,154	0,260	0,300	0,470	0,120	0,250	0,590	0,697	0,500	0,500	0,155	1
Gd	0,5	0,5	1,0	1,1	2,5	0,6	1,3	2,6	2,9	2,0	2,1	0,8	6,5
Tb	0,07	0,08	0,146	0,198	0,350	0,110	0,2000	3,5000	0,4200	0,3000	0,3100	0,0962	0,9
Dy	0,470	0,460	0,859	1,030	1,950	0,590	1,170	2,360	2,560	1,750	1,730	0,534	4,5
Ho	0,1000	0,0935	0,1710	0,1900	0,3600	0,1000	0,220	0,380	0,476	0,310	0,300	0,100	1
Er	0,240	0,229	0,460	5,600	0,990	0,290	0,60	1,30	1,25	0,92	0,89	0,31	2,5
Tm	0,0350	0,0378	0,0550	0,0900	0,1200	0,0460	0,0840	0,1470	0,1700	0,1280	0,1000	0,0411	0,25
Yb	0,212	0,210	0,389	0,450	0,760	0,300	0,530	0,985	1,090	0,720	0,780	0,230	3
Lu	0,0298	0,0280	0,0600	0,0600	0,1200	0,0400	0,0726	0,1280	0,1560	0,1280	0,1000	0,0331	0,7

Примечание. Анализы выполнены в ИХТТМ СО РАН на приборе Agilent 7500 а. Метод: ICP-MS в режиме спектр полуколичественного анализа, калибровочный раствор и раствор для настройки прибора 10 ppb Li, Y, Co, Se, Tl в 0,2 % HNO₃. Кларки осадочных пород по: Краткий..., 1977; н. опр. — не определялось; н. обн. — не обнаружено.

На солончаке Кок-Холь пробы отбирались по одному профилю в трёх точках от края к центру. Краевые пробы липкие, тяжёлые, а к центру — более мягкие (сметанообразные). В глинистых осадках солончака наблюдаются аномально высокие

содержания урана во всех трёх точках в отличие от предыдущих озёр. Превышение от кларка осадочных пород наблюдается по стронцию, бром и йоду, но это ниже, чем на озёрах Шара-Нур и Дус-Холь. Содержание лития выше, чем в остальных озёрах (10–26,7 г/т). Накопление брома и йода можно объяснить тонким глинистым материалом донных отложений, обогащённых органическим веществом и ионно-солевым составом озёрных вод. В меньших количествах накопление их происходит испарительным концентрированием. Таким образом, отмечается склонность Li, Sr, I, Pb, Bi, Th, U к накоплению в донных осадках, чем в солёных водах и рассолах, что можно объяснить их сорбцией тонким глинистым материалом донных отложений, обогащённых органическим веществом. В осадках солончака Кок-Холь распределение РЗЭ выглядит следующим образом. Краевые пробы по уровню распределения РЗЭ одинаковы и обогащены средними РЗЭ. В пробе из центральной части солончака резко преобладают лёгкие элементы (см. рис. 3 г). Очевидно, в водной среде лёгкие элементы легко сорбируются в ил.

ОБСУЖДЕНИЕ. Благоприятными факторами для накопления промышленных содержаний лития в водах и донных осадках в минерализованных озёрах являются (Исупов и др., 2011):

- широкое развитие в регионе молодых вулканических пород кислого и щелочного состава;
- проявления позднекайнозойской тектоно-магматической активизации провинции;
- расположение солёных озёр в днищах бессточных впадин, являющихся естественными топографическими и структурными ловушками;
- участие в питании соленосных горизонтов подземных глубинных вод, вулканических экзгаляций и прочих проявлений постмагматической гидротермальной активности и/или поверхностных вод, дренирующих вулканические породы кислого-среднего состава или континентальные соляные осадочные породы;
- высокие значения рН и минерализации озёрных вод;
- аридный или семиаридный климат;
- высокие абсолютные отметки тектонических впадин, в пределах которых располагаются солёные озёра.

Только сочетание всех этих или же большинства факторов может привести к формированию промышленно-значимых гидроминеральных месторождений. В солёных озёрах Новосибирской области и Алтая, несмотря на близость месторождений литиевых пегматитов, концентрация лития не превышает фоновых содержаний и не зависит от рН (от 6 до 11), минерализации (от 10 более 300 г/л) и состава воды. На территории соседней Хакасии в озёрных водах содержание лития (0,01–0,29 мг/л), при благоприятном расположении озёр в днищах впадин и аридного, семиаридного климата. Основная причина в отсутствии молодых вулканических образований кислого состава и позднекайнозойской тектоно-магматической активизации в Южной Сибири в целом (Владимиров и др., 2011). В то же время в Западной Монголии ряд озёр, расположенных в области альпийской тектоно-магматической активизации с развитыми бимодальными вулканическими сериями и питающимися углекислыми, азотнокислыми термальными водами, являются литиеносными (Владимиров и др., 2011).

Восточная Тува является западным флангом Байкальской рифтогенной зоны, где активизация тектоно-магматической деятельности (новейшие вулканы) происходила 1,7–0,05 млн лет назад и в настоящее время и систематически отмечаются сейсмособытия (Сугоракова и др., 2003). Кроме того здесь, вдоль глубинных разломов субмеридионального простирания, циркулируют термальные воды (Уш-Белдир, Тарыс, Чойган и др., температура 20–80°C). Вблизи озёрной зоны расположены крупные литиевые месторождения (Сольбельдирское, Тастыгское). Также расположение озёр и климат способствуют испарительному концентрированию химических элементов в водах и донных осадках т. е. имеются все предпосылки для обнаружения лития в озё-

рах. Вместе с тем концентрация лития в воде (0,17–0,45 мг / л), донных осадках (4,2–26,4 г / т) исследуемых озёр не превышают фоновых содержаний. На наш взгляд причиной отсутствия высоких содержаний лития на данных озёрах объясняет следующее:

- отдалённость и изолированность озёрной зоны от выше названных благоприятных условий, из-за чего подводящие пути и энергии не достигают глубинных источников лития;
- река Тес-Хем, протекающая по северной границе котловины, является огромным барьером: всё что размывается и выщелачивается от коренных месторождений, полностью попадает в эту реку;
- отсутствие соленосного горизонта.

Таким образом, концентрирование микроэлементов в исследуемых озёрах контролируется исключительно извлечением их из горных пород подземными и поверхностными водами при выщелачивании. Далее испарение воды из озера в условиях аридного климата способствует их относительному обогащению микроэлементами озёр. Другие источники вещества отсутствуют. К примеру, уран при благоприятных гидрогеохимических условиях накапливается в подземных водах и вне районов его месторождения. В озёрах Западной Монголии источником урана выступают мезозойские рифтовые дайковые комплексы с сульфосольной минерализацией. Бикарбонат, карбонат ионов в подземных водах при взаимодействии с этой породой приводит к образованию карбонатных комплексов уранила (Исупов и др., 2012). Разгрузка подземных вод непосредственно в озёра приводит к накоплению соединений урана в озёрной воде. Исследованные нами озёра содержат повышенные концентрации урана (1,6–82,5 г / т) и (0,034–0,79 мг / л), превышающие среднюю концентрацию его в морской (океанической) воде (0,003 мг / л). Помимо урана отмечаются аномалии и по другим ценным компонентам, таким как Вг, Sr, I в донных отложениях и бора в воде. Из числа токсичных элементов присутствует мышьяк в донке (0,007–4,1 г / т) и селен, литий (0,007–0,11 мг / л) в воде. Участие их в биологическом процессе и влияние на живые организмы требует дальнейшего исследования .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Следует признать, что в воде и донных отложениях исследуемых озёр содержание лития находится на уровне озёр Южной Сибири.
2. В изученных озёрах наблюдается повышенное содержание Sr, Вг, I, U, В. При возможном извлечении урана из озёр они будут попутным сырьём и повысят рентабельность производства. Помимо того присутствуют и токсичные элементы: мышьяк, селен, литий, их влияние на биоту является предметом дальнейшего изучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта № 110: «Гидроминеральные ресурсы Сибири и сопредельных территорий: рудогенерирующий потенциал, новые технологии комплексной переработки, экологическая безопасность». Автор выражает глубокую признательность С.С. Шацкой за выполненные аналитические работы.

ЛИТЕРАТУРА

- Владимиров А.Г., Исупов В.П., Ариунбилэг С., Мороз Е.Н., Волкова Н.И., Куковский В.С., Белозеров И.М. Сравнительный анализ литиеносности солёных озёр Южной Сибири и Монголии // Литий России: минерально-сырьевые ресурсы, инновационные технологии, экологическая безопасность: Материалы Всерос. науч.-практ. совещ. с междунар. участием (24–26.05.2011, Новосибирск). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – С. 21–27.
- Исупов В.П., Владимиров А.Г., Шварцев С.Л., Ляхов Н.З., Шацкая С.С., Чупахина Л.Э., Куйбыда Л.В., Колтакова М.Н., Ариунбилэг С., Кривоногов С.К. Химический состав и гидроминеральные ресурсы солёных озёр Северо-Западной Монголии // Химия в интересах устойчивого развития. – 2011. – Т. 19. – С. 141–150.

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. Геохимическая модель накопления урана в озере Шаазгай Нуур (Северо-Западная Монголия) // ДАН. – 2012. – Т. 447. – № 6. – С. 658–663.

Краткий справочник по геохимии. Изд. второе. – М.: Недра, 1977. – 184 с.

Ойдуп Ч.К., Донгак Р.Ш., Шацкая С.С., Копылова Ю.Г. Химический состав вод солёных озёр Убсунурской котловины (Юго-Восточная Тува) // География и природные ресурсы. – 2014. – № 3. – С. 83–92.

Пиннекер Е.В. Минеральные воды Тувы. – Кызыл: Тув. кн. изд-во, 1968. – 105 с.

Сугоракова А.М., Ярмолук В.В., Лебедев В.И. Кайнозойский вулканизм Тувы. – Кызыл: ТУВИ-КОПР СО РАН, 2003. – 90 с.

Сугоракова А.М., Ойдуп Ч.К. Краткий очерк геологического строения и металлогении Тувы на основе современных данных // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества: Вып. 10–11 / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев. – Кызыл: ТУВИКОПР СО РАН, 2010. – С. 9–15.

REFERENCES

Isupov V.P., Ariunbileg S., Razvorotneva L.I., Lyakhov N.Z., Shvartsev S.L., Vladimirov A.G., Kolpakova M.N., Shatskaya S.S., Chupakhina L.E., Moroz Ye.N., Kuybida L.V. Geokhimicheskaya model' nakopleniya urana v ozere Shaazgay Nuur (Severo-Zapadnaya Mongoliya) [Geochemical model of uranium accumulation in Lake Shaazgay Nuur (Northwestern Mongolia)]. *Doklady Akademii Nauk = Reports of the Academy of Sciences*, 2012, vol. 447, no. 6, pp. 658–663. (In Russ.)

Isupov V.P., Vladimirov A.G., Shvartsev S.L., Lyakhov N.Z., Shatskaya S.S., Chupakhina L.E., Kuybida L.V., Kolpakova M.N., Ariunbileg S., Krivonogov S.K. Khimicheskiy sostav i gidromineral'nyye resursy solenykh ozer Severo-Zapadnoy Mongolii [Chemical composition and hydromineral resources of salt lakes in Northwestern Mongolia]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya = Chemistry for Sustainable Development*, 2011, vol. 19, pp. 141–150. (In Russ.)

Kratkiy spravochnik po geokhimii [Reference book on geochemistry]: Second edition. Moscow: Nedra Publ., 1977, 184 p. (In Russ.)

Oidup Ch.K., Dongak R.Sh., Shatskaya S.S., Kopylova Yu.G. Khimicheskiy sostav vod solёnykh ozёр Ubsunurskoy kotloviny (Yugo-Vostochnaya Tuva) [Chemical composition of the waters of the salt lakes of the Ubsunur depression (South-East Tuva)]. *Geografiya i prirodnyye resursy = Geography and natural resources*, 2014, no 3, pp. 83–92. (In Russ.)

Pinneker Ye.V. *Mineral'nyye vody Tuvy* [Mineral waters of Tuva]. Kyzyl: Tuva book publ. house, 1968, 105 p. (In Russ.)

Sugorakova A.M., Oidup Ch.K. Kratkiy ocherk geologicheskogo stroyeniya i metallogenii Tuvy na osnove sovremennykh dannyyh [A brief outline of the geological structure and metallogeny of Tuva based on modern data]. *Sostoyaniye i osvoyeniye prirodnykh resursov Tuvy i sopredel'nykh regionov Tsentral'noy Azii. Geoekologiya prirodnoy sredy i obshchestva: is. 10–11* [State and Exploration of Natural Resources of Tuva and Adjacent Regions of Central Asia. Geocology of the natural environment and society: Fascicle 10–11] / ed. by V.I. Lebedev. Kyzyl, TUVIENR SB RAS Publ., 2010, pp. 9–15. (In Russ.)

Sugorakova A.M., Yarmolyuk V.V., Lebedev V.I. *Kaynozoykiy vulkanizm Tuvy* [Cenozoic volcanism of Tuva]. Kyzyl, TUVIENR SB RAS Publ., 2003, 90 p. (In Russ.)

Vladimirov A.G., Isupov V.P., Ariunbileg S., Moroz Ye.N., Volkova N.I., Kuskovskiy V.S., Belozеров I.M. Sravnitel'nyy analiz lityenosnosti solёnykh ozёр Yuzhnoy Sibiri i Mongolii [Comparative analysis of the lithium content of salt lakes in Southern Siberia and Mongolia]. *Litiiy Rossii: mineral'no-syr'yevyye resursy, innovatsionnyye tekhnologii, ekologicheskaya bezopasnost'* [Lithium of Russia: mineral resources, innovative technologies, environmental safety]: *Proceedings of the All-Russian scientific and practical meeting with international participation* (24–26.05.2011, Novosibirsk). Novosibirsk, Publ. House of the SB RAS, 2011, pp. 21–27. (In Russ.)