



УДК 550.461

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.30.130>

## **Геохимическая характеристика рассолов и современных эвапоритов урочища Талое Озеро (Республика Хакасия)**

М. О. Хрущева, П. А. Тишин, А. И. Чернышов

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия*

**Аннотация.** Объектом исследования выступает урочище Талое Озеро (Республика Хакасия), представляющее изолированную котловину, периодически заполняющуюся атмосферными осадками, талыми и грунтовыми водами. Эта котловина включает в себя два временных водоема – западный и восточный размерами 960×3300 и 385×1610 м соответственно. Геохимическая характеристика рассолов и эвапоритов основана на данных титриметрического и масс-спектрометрического анализа с индуктивно связанной плазмой. Анализировались пробы поверхностных и грунтовых вод, а также донные осадки водоемов. Воды западного водоема принадлежат к типу слабощелочных сульфатно-хлоридных, а воды восточного водоема – к типу щелочных сульфатно-хлоридных. Основное отличие в макрокомпонентном составе заключается в обогащении вод восточного водоема гидрокарбонат-ионом. Грунтовые воды характеризуются более высокой минерализацией и, по нашему мнению, являются основным источником полезных макро- и микрокомпонентов в Талом Озере. Микрокомпонентный состав типичен для вод минерализованных озер аридной зоны. Основные микрокомпоненты: литий, стронций, бром, бор и в меньшей степени барий. Главное отличие вод восточного водоема – это обогащение бором. Геохимия донных осадков (солончаков) полностью сопоставима с геохимией вод Талого Озера. Преобладающие макро- и микрокомпоненты солончаков аналогичны компонентам вод Талого Озера, но их содержание гораздо выше.

**Ключевые слова:** Республика Хакасия, минерализованные озера, геохимия рассолов, микрокомпоненты, макрокомпоненты.

**Для цитирования:** Хрущева М. О., Тишин П. А., Чернышов А. И. Геохимическая характеристика рассолов и современных эвапоритов урочища Талое Озеро (Республика Хакасия) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 30. С. 130–140. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.30.130>

### **Введение**

За последние годы многие исследователи обратили свое внимание на изучение минералогии и геохимии высокоминерализованных озер, расположенных в областях с аридным климатом на разных континентах [Кривовичев, Чарыкова 2016; Nacini, Oelkers, Kherici, 2006; Kilic, Kilic, 2010; Lamini, Nacini, 2018; Warren, 2010; Yesilova, Helvacı, 2017]. При этом большой интерес представляют временные степные озера [Sinha, Raymahashay, 2004; Schreiber, Tabakh, 2000], так как они достаточно контрастно отличаются по

геохимическим показателям и характеризуются разнообразием минеральных видов в составе донных осадков [Ivanova, Tishin, Arkhipov, 2016]. Урочище Талое Озеро состоит из двух временных водоемов, расположенных параллельно друг другу, – западного и восточного. Водоемы имеют форму эллипсов, вытянутых в субмеридиональном направлении, их размер составляет 960×3300 и 385×1610 м соответственно. Общая площадь водосбора – около 25 км<sup>2</sup>. Питание озер осуществляется за счет атмосферных осадков, выпадающих на поверхность акватории водоемов, таяния снегов и подземного стока грунтовых вод.

Климат района резко континентальный, криоаридный [Мистрюков, 1991]. Минимальная температура в январе опускается до –48 °С, максимальная в июле доходит до +34 °С. Среднегодовое количество осадков не превышает 400 мм. Основное количество осадков выпадает летом (август) в виде ливневых дождей. Зима малоснежная, снежный покров редко достигает мощности 0,5 м. Глубина зимнего промерзания почвы составляет 2 м. В районе отсутствуют многолетнемерзлые породы. Для всех времен года характерны сильные ветра.

### **Геолого-географические условия района**

Территориально урочище Талое Озеро относится к Уйбатской степи, расположенной в северо-восточной части Южно-Минусинской котловины на территории Республики Хакасия (рис. 1). В непосредственной близости находятся населенные пункты – города Черногорск и Абакан.

Участок расположен на водоразделе в степной зоне и представляет собой безлесную равнину с куэстообразными грядами и холмами, имеющими абсолютные отметки от 400 до 520 м, редко больше [Мистрюков, 1991]. От центральной части в северо-восточном и юго-западном направлении рельеф более спокойный с относительными отметками 430–470 м, реже больше. Относительные превышения рельефа колеблются в пределах 130 м. Обнаженность местности – средняя, мощность рыхлых отложений изменяется от 0,5 до 2,5 м, достигая в пониженных частях рельефа 5–10 м.

Талое Озеро – это озерно-хемогенная субравнина, которая заполняет понижение внутри денудационной равнины, расположенной между останцами куэстового мелкосопочника. Донные осадки исследуемых водоемов представлены озерными глинами, илами и солями. Возраст рыхлых отложений оценивается как эоплейстоцен – нижнее звено неоплейстоцена [Котельников, 2017]. Подстилающие породы выполнены карбонатно-терригенными осадками тубинской свиты верхнего девона. Источником соли, по данным А. В. Русанова [1935], в водоемах является глубинный соляной купол, образующий антиклинальную структуру.

### **Материалы и методы исследования**

Опробование проводилось аналитической группой Томского государственного университета в период с 2014 по 2019 г. в летний (июнь) и зимний (ноябрь) сезоны, в результате чего было отобрано порядка 300 образцов

донных озерных осадков и 10 проб минерализованной воды и рассолов. Поверхностные воды отбирались непосредственно с поверхности водоемов на расстоянии 5–15 м от берега. Грунтовые воды восточного водоема отбирались из родника, дренирующего верхнедевонский водоносный терригенный комплекс, западного водоема – из технического колодца глубиной около 8 м. Перед анализом донные осадки высушивались при комнатной температуре.

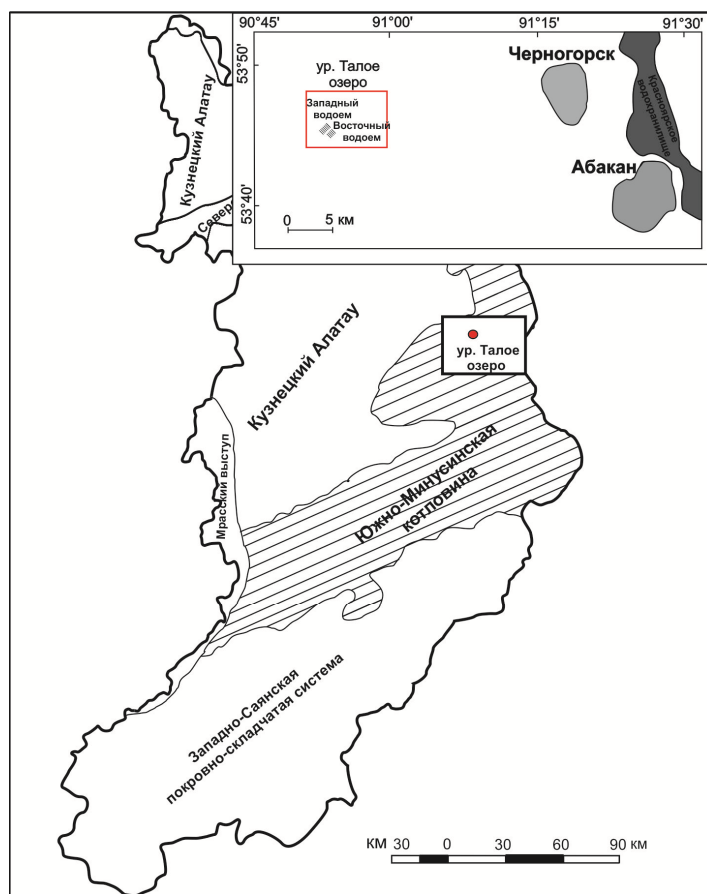


Рис. 1. Карта-схема расположения урочища Талое Озеро на территории Республики Хакасия с фрагментами региональных геологических структур

Водные пробы исследовались с помощью методов титриметрии и масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой. Титриметрический анализ с целью определения содержания макрокомпонентов в составе грунтовых и поверхностных вод проводился в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета. Масс-спектрометрический анализ осуществлялся на аппарате Agilent 7500cx (Agilent Technologies) в аккредитованной лаборатории ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета с целью определения содержания микрокомпонен-

тов в водах и донных осадках. Водные пробы анализировались по методике «СТО ТГУ 151-2016 Природные и питьевые воды», донные осадки по методике «СТО ТГУ 048-2012 Горные породы». Качество полученных результатов оценивалось на основании стандартов ВСР-2, СГХМ-1, СГ-3, ССЛ-1.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты анализа поверхностных и грунтовых вод приведены в табл. 1, которая демонстрирует как сходство, так и различия химического состава минерализованных вод и рассолов в западном и восточном водоемах.

Таблица 1

Макрокомпонентный состав вод урочища Талое Озеро, мг/л

№ пр	Место отбора	Время отбора	М*	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
<b>Западный водоем</b>										
1	П. в.	Лето	86 557	7,60	810	1202	29 204	183	19 060	35 460
2		Лето	75 216	7,58	900	1190	25 009	244	16 230	31 510
4		Зима	36 661	7,37	300	378	12 650	153	7882	15 227
5		Зима	42 309	7,27	460	482	14 214	427	10 502	16 150
3	Г. в.	Лето	106 916	7,47	800	1306	36 937	183	20 784	46 735
<b>Восточный водоем</b>										
6	П. в.	Лето	35 196	8,54	40	116	12 466	1525	9040	11 950
7		Лето	42 921	8,71	40	154	15 355	1423	10 660	15 230
8		Лето	26 447	8,30	40	36	9120	2147	8394	6645
9		Зима	28 212	8,29	40	73	9990	915	8010	9136
10	Г. в.	Лето	117 470	8,50	10	188	41 650	2343	30 000	43 079

*Примечание.* \*М – минерализация расчетная (в таблице приведены основные анионы и катионы, также в расчеты включены ионы K<sup>+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> и микрокомпоненты). П. в. – поверхностные воды, Г. в. – грунтовые воды.

Изученные воды характеризуются повышенной минерализацией, которая меняется в зависимости от сезона и значительно различается для поверхностных и грунтовых вод. Так, поверхностные воды западного водоема согласно классификации минерализаций Приклонского – Лаптева [Приклонский, Лаптев, 1949] можно отнести к минерализованным, с вариацией минерализации (М) от 36 661 до 86 557 мг/л. При этом грунтовые воды соответствуют рассолам с м = 106 917 мг/л. Аналогично, поверхностные воды восточного водоема относятся к минерализованным (М = 26 447–42 921 мг/л), а грунтовые – к крепким рассолам (М = 117 470 мг/л). Из таблицы видно, что в образцах, отобранных в зимнее время, минерализация несколько ниже, чем в образцах, отобранных в летний период. Это обусловлено пробоотбором, осуществлявшимся при отрицательных температурах, когда часть пробы представляла собой лед, при кристаллизации которого происходит очистка воды от примесей.

Поверхностные и грунтовые воды западного водоема характеризуются высокими содержаниями хлорид- и сульфат-ионов, они также обогащены ионами кальция, магния и натрия. Поверхностные и грунтовые воды восточного водоема обогащены гидрокарбонат-, сульфат- и хлорид-ионами, а также ионами магния и натрия.

Согласно классификации Курнакова – Валяшко [Валяшко, 1962] воды западного водоема относятся к типу слабощелочных ( $\text{pH} < 8$ ) хлоридно-сульфатных. Воды восточного водоема – к щелочным ( $\text{pH} > 8$ ) хлоридно-сульфатным.

По сведениям А. В. Русанова [1935], технический колодец западного водоема расположен в зоне повышенной трещиноватости. Исходя из этого и данных табл. 1, можно сделать вывод, что каменная соль, залегающая на глубине и образующая глубинный соляной купол, размывается, давая рассолы, которые поднимаются по трещинам и питают водоем. Это подтверждается более высокой минерализацией в колодце и пробах поверхностных вод, отобранных в непосредственной близости к колодцу, также на это указывает сходный анионно-катионный состав поверхностных и грунтовых вод. Предполагается, что аналогичная ситуация складывается и с водами восточного водоема.

Микрокомпоненты в рассолах не обнаруживают значительных концентраций. Наиболее высокие значения устанавливаются для лития, брома, стронция, бора и в меньшей степени бария (табл. 2).

Таблица 2

Микрокомпонентный состав вод и донных осадков урочища Талое Озеро, мг/л

№ пр	Место отбора	Время отбора	М	pH	Li	Br	Sr	B	Ba
<b>Западный водоем</b>									
1	П. в.	Лето	86557	7,60	1,84	97,98	31,26	8,99	0,06
2		Лето	75216	7,58	1,72	92,25	33,53	8,34	0,06
4		Зима	36661	7,37	0,78	38,73	7,97	3,56	0,02
5		Зима	42309	7,27	0,83	40,96	8,26	3,75	0,03
3	Г. в.	Лето	106916	7,47	2,28	118,00	34,22	11,18	0,05
Донные осадки**					142,93	не опр.	3215,02	60,75	1043,06
<b>Восточный водоем</b>									
6	П. в.	Лето	35196	8,54	0,31	32,28	8,58	13,66	0,08
7		Лето	42921	8,71	0,33	29,71	9,18	13,96	0,09
8		Лето	26447	8,30	0,16	15,14	2,04	4,17	0,14
9		Зима	28212	8,29	0,13	20,91	6,25	5,85	0,08
10	Г. в.	Лето	117470	8,50	3,24	120,00	31,47	29,64	0,05
Донные осадки					76,59	не опр.	2437,72	88,65	849,65

Примечание. М – минерализация, П. в. – поверхностные воды, Г. в. – грунтовые воды. \*\* Указана максимальная концентрация элемента из выборки 300 образцов.

**Литий** – щелочной металл, в аридных условиях в основном участвующий в испарительном концентрировании. Он накапливается в грунтовых водах, которые впоследствии питают соленые озера. Источником лития в Талом Озере, вероятно, выступают терригенные породы. Это объясняется тем, что литий является типичным катионогенным элементом, который очень подвержен сорбции глинистыми частицами терригенных осадков, несущими отрицательный заряд. Особенно легко литий входит в межpacketные пространства глинистых минералов, обладающих высокими адсорбционными свойствами [Крайнов, Рыженко, Швец, 2004]. Содержание глинистых минералов в донных осадках составляет порядка 10–20 % от общего объема

породы. Необходимо отметить, что для лития также прослеживается зависимость его концентрации от общей минерализации вод и рассолов (рис. 2, а).

Эта зависимость подтверждает предположение Н. А. Макаренко и А. Л. Архипова о возможности обнаружения промышленных концентраций лития в подземных водах Южно-Минусинской впадины при общей их минерализации более 150 000–200 000 мг/л [Макаренко, Архипов, 2007; Ivanova, Tishin, Arkhipov, 2016].

**Стронций** концентрируется в озерах в виде комплексных соединений с сульфат-ионом, что подтверждает контроль концентрации стронция в рассолах и минерализованных водах их сульфатностью (рис. 2, б). Стронций также может накапливаться в виде примеси в различных кальциевых минералах [Перельман, 1972]. Тесная парагенетическая связь с кальцием указывает на сходный источник поступления этих элементов в озера. Наиболее распространенным кальциевым минералом в донных осадках выступает кальцит, его содержание достигает 10–30 %. Целестин также встречается редко в осадках в виде акцессорного минерала.

Как известно, литий и стронций характеризуются высокой миграционной способностью. Литий длительное время сохраняется в растворе, стронций стремится входить в состав новообразованных минералов (кальцит, целестин ( $\text{SrSO}_4$ )). В процессе испарительного концентрирования происходит возрастание минерализации озерных вод, при этом содержание лития растет значительно быстрее, чем стронция [Крайнов, Рыженко, Швец, 2004].

Содержание **бария** в водах обуславливается его главным осадителем – сульфат-ионом (рис. 2, в). Между этими компонентами наблюдается прямая зависимость в западном водоеме и обратная – в восточном. При этом воды восточного водоема имеют более высокие концентрации бария на фоне общего обогащения гидрокарбонат-ионом.

**Бром** в геохимическом отношении весьма близок к хлору. По нашим данным, для исследуемых водоемов наблюдается единая закономерность увеличения содержания брома в рассолах по мере роста минерализации и повышения концентрации хлорид-иона (рис. 2, з). В природных водах бром встречается в основном в форме бромид-ионов. Бром, как правило, не образует комплексных соединений, поэтому может концентрироваться в больших масштабах [Крайнов, Рыженко, Швец, 2004].

**Бор** – аниогенный элемент, способный накапливаться в грунтовых водах в достаточно высоких концентрациях. Содержание бора напрямую зависит от минерализации вод и рассолов (рис. 2, д), а также от содержания гидрокарбонат-иона (рис. 2, е). На основании этого можно предполагать, что бор поступает из вмещающих пород посредством привноса его рассолами, обогащенными гидрокарбонат-ионом.

Таким образом, минерализованные воды и рассолы Талого Озера концентрируют в себе такие полезные микрокомпоненты, как литий, стронций, бром и бор. Основное отличие в микрокомпонентном составе заключается в повышенном содержании бора в водах восточного водоема, это объясняется тем, что бор, как правило, привносится в водоем гидрокарбонатсодержащими грунтовыми водами.

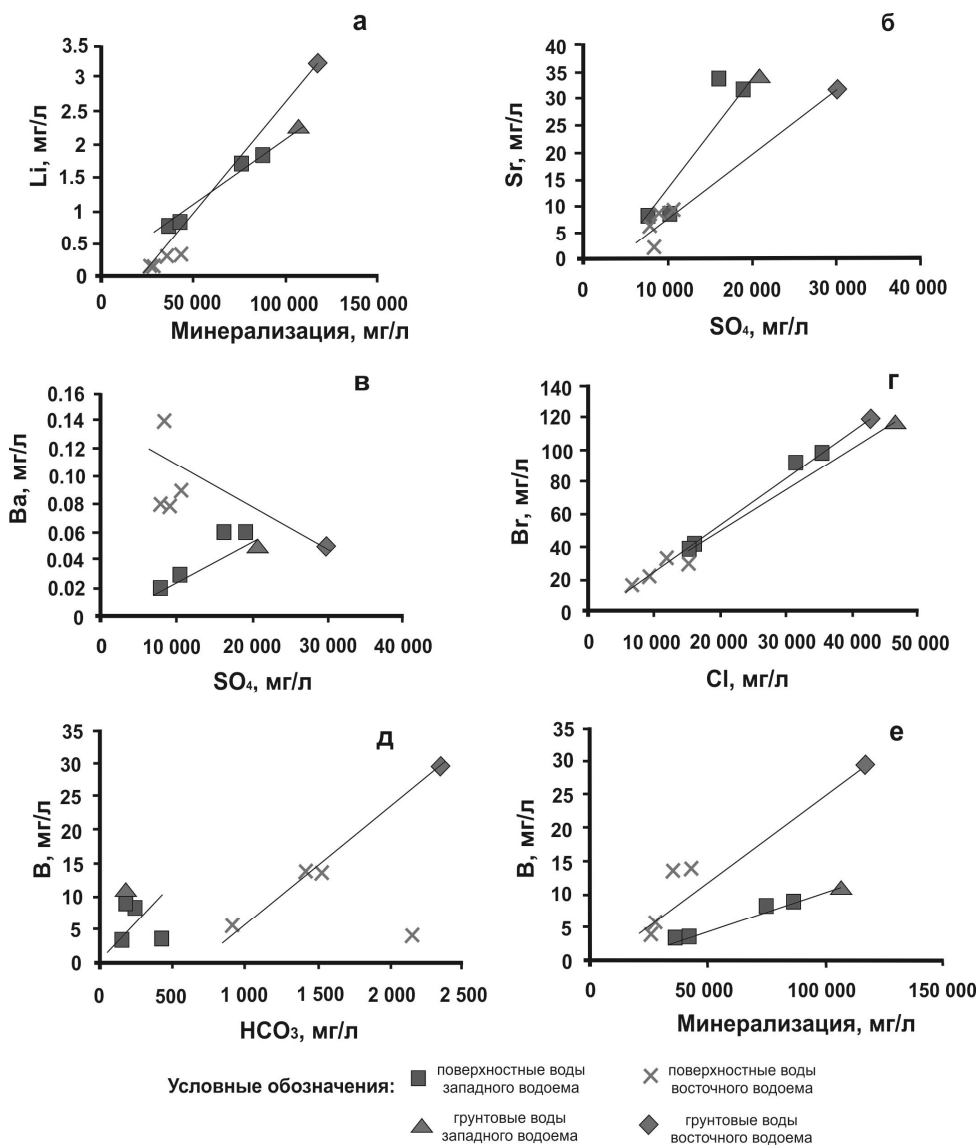


Рис. 2. Диаграммы зависимостей: а) содержания лития от минерализации; б) содержания стронция от сульфат-иона; в) содержания бария от сульфат-иона; г) содержания брома от хлорид-иона; д) содержания бора от минерализации; е) содержания бора от гидрокарбонат-иона в водах западного и восточного водоемов

Также стоит отметить, что геохимия минерализованных вод и рассолов тесно связана с геохимией донных осадков (солончаков). Их минеральный состав представлен кварцем, калиевым полевым шпатом, альбитом, кальцитом, доломитом, тенардитом, глинистыми минералами (в основном хлоритом, в меньшей степени гидрослюдой) и акцессорными минералами (целестин, барит). Главными породообразующими элементами в этих осадках выступают кремний, кальций, натрий, алюминий и магний, которые тесно

коррелируют с составом рассолов и минерализованных вод. Микрокомпонентный состав в донных осадках аналогичен составу вод, однако в первых концентрация компонентов значительно выше и превышает кларковые содержания в два-три раза, а иногда и более (см. табл. 2) [Виноградов, 1957].

### **Заключение**

Урочище Талое Озеро является типичным примером высокоминерализованных озер аридного климата, с ярко выраженными геохимическими особенностями рассолов и донных осадков.

В результате проделанной работы были получены следующие выводы:

1. Воды западного водоема принадлежат к типу слабощелочных сульфатно-хлоридных, воды восточного водоема – к щелочным сульфатно-хлоридным. Преобладающими катионами выступают натрий, магний и кальций.

2. Предполагается, что повышенная минерализация (в грунтовых водах до 118 000 мг/л) обусловлена наличием глубинного соляного купола. Подземные воды размывают его, образуя рассолы, поступающие по трещинам в водоемы и питающие их.

3. Основными полезными микрокомпонентами в водах выступают литий, бром, стронций, бор, в меньшей степени барий. Содержание бора в восточном водоеме несколько выше, чем в западном. Микрокомпоненты привносятся в озера грунтовыми водами вследствие взаимодействия их с вмещающими породами.

4. Установлены корреляции накопления микрокомпонентов от минерализации вод, содержания в них сульфат-, хлорид- и гидрокарбонат-ионов. Так, почти во всех рассмотренных микрокомпонентах наблюдается обусловленность общей минерализацией вод, количество стронция, бария и брома напрямую зависит от сульфат-иона, содержание бора контролируется наличием гидрокарбонат-иона.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90056.*

### **Список литературы**

- Валяшко М. Г.* Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М. : Изд-во МГУ, 1962. С. 398.
- Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М. : АН СССР, 1957. С. 238.
- Котельников А. Д.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Объяснительная записка. Томск. 2017.
- Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец В. М.* Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М. : Наука, 2004, С. 677.
- Кривовичев В. Г., Чарыкова М. В.* Минеральные и физико-химические системы эвапоритов: геохимический и термодинамический аспекты // Записки Российского минералогического общества. Ч. CXLV, 2, 2016. С. 30–43.
- Макаренко Н. А., Архипов А. Л.* Редкометалльный потенциал солей урочища Талое озеро (Республика Хакасия) // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 307. С. 172–174.



*Мистрюков А. А.* Геоморфологическое районирование Назаровско-Минусинской межгорной впадины. АН СССР. Сиб. отд-ние, Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии. Новосибирск : ОИГГМ СО АН СССР, 1991. С. 130.

*Перельман А. И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М. : Недра. 1972. 288 с.

*Приклонский В. А., Лантев Ф. Ф.* Руководство по изучению физических свойств и химического состава подземных вод. М. ; Л. : Госгеолиздат, 1949.

*Русанов А. В.* Результаты геологических исследований в окрестностях Абаканского солеваренного завода, Западно-Сибирский Геологический трест. Томск, 1935.

*Hacini M., Oelkers E. H., Kherici N.* Retrieval and interpretation of precipitation rates generated from the composition of the Merouane Chott ephemeral lake // *Journal of Geochemical Exploration*. 2006. Vol. 88(1). P. 284–287. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2005.08.057>

*Ivanova M., Tishin P., Arkhipov A.* Mineralogical and chemical features of brines and modern evaporates of Taloe lake tract (Republic of Khakassiya) // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2016. Book 1. Vol. 1. P. 389–396.

*Kilic O., Kilic A. M.* Salt crust mineralogy and geochemical evolution of the Salt Lake (TuzGözü), Turkey // *Scientific Research and Essays*. 2010. Vol. 5. P. 1317–1324.

*Lamini A., Hacini M.* Geology and geochemistry of endorheic basin case of Baghdad chott southern of Algeria // Conference: Technologies and materials for renewable energy, environment and sustainability: tmrees 18. 2018. <https://doi.org/10.1063/1.5039165>.

*Sinha R., Raymahashay B. C.* Evaporite mineralogy and geochemical evolution of the Sambhar Salt Lake, Rajasthan, India // *Sedimentary geology*. 2004. Vol. 166. P. 59–71.

*Schreiber C. B., Tabakh M.* Deposition and early alteration of evaporates // *Sedimentology*. 2000. Vol. 47 (Suppl. 1). P. 215–238.

*Warren J. K.* Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits // *Earth-Science Reviews*. 2010. Vol 98. P. 217–268.

*Yesilova G., Helvacı C.* Petrographic study and geochemical investigation of the evaporites associated with the Germik Formation (Siirt Basin, Turkey) // *Carbonates and Evaporites*. 2017. Vol. 32. P. 177–194.

## Geochemical Characteristics of Brines and Modern Evaporites in the Taloe Lake Tract (Republic of Khakassia)

M. O. Khrushcheva, P. A. Tishin, A. I. Chernyshov

*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation*

**Abstract.** The object of the study is the Taloe lake tract (Republic of Khakassia), which is an isolated hollow periodically filled with precipitation, melt and groundwater. This basin includes two temporary reservoirs – western and eastern, with dimensions of 3300×960 m and 1610×385 m, respectively. The geochemical characterization of brines and evaporites is based on data from a titrimetric analysis and mass spectrometric analysis with inductively coupled plasma. Samples of surface and groundwater were analyzed, as well as bottom sediments of water bodies. The waters of the western reservoir belong to the type of weakly alkaline sulfate-chloride, and the waters of the eastern reservoir to the type of alkaline sulfate-chloride. The main difference in the macrocomponent composition is the enrichment of the waters of the eastern reservoir with a bicarbonate ion. Groundwater is characterized by higher salinity and, in our opinion, is the main source of useful macro and micro components in Taloe lake. The microcomponent composition is typical for the waters of mineralized lakes in the arid zone. The main microcomponents are lithium, strontium, bromine, boron, and to a lesser extent barium. The main difference is the enrichment of the waters of the eastern reservoir with boron. The geochemistry of bottom sediments (salt marshes) is completely comparable with the geo-

chemistry of the waters of lake Taloe. The main macro and micro components are similar, but the content of the components is much higher than in the waters.

**Keywords:** Republic of Khakassia, mineralized lakes, brine geochemistry, microcomponents, macrocomponents.

**For citation:** Khrushcheva M.O., Tishin P.A., Chernyshov A.I. Geochemical Characteristics of Brines and Modern Evaporites in the Taloe Lake Tract (Republic of Khakassia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2019, vol. 30, pp. 130-140. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.30.130> (in Russian)

### References

- Valyashko M.G. *Geokhimicheskiye zakonomernosti formirovaniya mestorozhdeniy kaliynykh soley*. Moscow, MGU Publ., 1962, 398 p.
- Vinogradov A.P. *Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh*. Moscow, AN SSR Publ., 1957, 238 p.
- Kotel'nikov A.D. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Obiyasnitelnaya zapiska*. Tomsk, 2017.
- Kraynov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. *Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskiye, prikladnyye i ekologicheskiye aspekty*. Moscow, Nauka Publ., 2004, 677 p.
- Krivovichev V.G., Charykova M.V. Mineralnyye i fiziko-khimicheskiye sistemy evaporitov: geokhimicheskiy i termodinamicheskiy aspekty. *Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva*, CH. CXLV, 2016, vol. 2, pp. 30-43.
- Makarenko H.A., Arkhipov A.L. Redkometall'nyy potentsial soley urochishcha Taloe ozero (Respublika Khakassiya). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2008, no. 307, pp. 172-174.
- Mistryukov A.A. *Geomorfologicheskoye rayonirovaniye Nazarovsko-Minusinskoy mezhgornoy vpadiny*. Novosibirsk, Obiyedinennyy institut geologii, geofiziki i mineralogii AN SSSR Publ., 1991, 130 p.
- Perelman A.I. *Geokhimiya elementov v zone gipergeneza*. Moscow, Nedra Publ., 1972, 288 p.
- Priklonskiy V.A., Laptev F.F. *Rukovodstvo po izucheniyu fizicheskikh svoystv i khimicheskogo sostava podzemnykh vod*. Moscow, Leningrad, Gosgeolizdat Publ., 1949.
- Rusanov A.V. *Rezultaty geologicheskikh issledovaniy v okrestnostyakh Abakanskogo solevarennogo zavoda*. Tomsk, Zapadno-Sibirskiy Geologicheskii trest, 1935.
- Hacini M., Oelkers E.H., Kherici N. Retrieval and interpretation of precipitation rates generated from the composition of the Merouane Chott ephemeral lake. *Journal of Geochemical Exploration*, 2006, vol. 88(1), pp. 284-287. D <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2005.08.057>
- Ivanova M., Tishin P., Arkhipov A. Mineralogical and chemical features of brines and modern evaporates of Taloe lake tract (Republic of Khakassiya). *16 th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2016, book 1, vol. 1, pp. 389-396.
- Kilic O., Kilic A.M. Salt crust mineralogy and geochemical evolution of the Salt Lake (TuzGölü), Turkey. *Scientific Research and Essays*, 2010, vol. 5, pp. 1317-1324.
- Lamini A., Hacini M. Geology and geochemistry of endorouque basin case of Baghdad chott southern of Algeria. *Conference: Technologies and materials for renewable energy, environment and sustainability: tmrees 18*, 2018. <https://doi.org/10.1063/1.5039165>.
- Sinha R., Raymahashay B.C. Evaporite mineralogy and geochemical evolution of the Sambhar Salt Lake, Rajasthan, India. *Sedimentary geology*, 2004, vol. 166, pp. 59-71.
- Schreiber C.B., Tabakh M. Deposition and early alteration of evaporates. *Sedimentology*, 2000, vol. 47 (Suppl. 1), pp. 215-238.
- Warren J.K. Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. *Earth-Science Reviews*, 2010, vol 98, pp. 217-268.
- Yesilova G., Helvacı C. Petrographic study and geochemical investigation of the evaporites associated with the Germik Formation (Siirt Basin, Turkey). *Carbonates and Evaporites*, 2017, vol. 32, pp. 177-194.

**Хрущева Мария Олеговна**

инженер-исследователь, Аналитический центр геохимии природных систем, аспирант, кафедра петрографии Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36  
тел.: (3822)52-94-45  
e-mail: masha2904@mail.ru

**Тишин Платон Алексеевич**

кандидат геолого-минералогических наук, декан, геолого-географический факультет Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36  
тел.: (3822)52-94-45  
e-mail: tishin\_pa@mail.ru

**Чернышов Алексей Иванович**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий, кафедра петрографии Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36  
тел.: (3822)52-94-45  
e-mail: aich@ggf.tsu.ru

**Khrushcheva Maria Olegovna**

Research Engineer, Analytical Center of Natural Systems Geochemistry, Postgraduate, Department of Petrography National Research Tomsk State University  
36, Lenin av., Tomsk, 634050, Russian Federation  
tel.: (3822)52-94-45  
e-mail: masha2904@mail.ru

**Tishin Platon Alekseevich**

Candidate of Sciences (Geological and Mineralogical), Dean Faculty of Geology and Geography National Research Tomsk State University  
36, Lenin av., Tomsk, 634050, Russian Federation  
e-mail: tishin\_pa@mail.ru  
tel.: (3822)52-94-45

**Chernyshov Aleksey Ivanovich**

Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor, Head, Petrography Department National Research Tomsk State University  
36, Lenin av., Tomsk, 634050, Russian Federation  
tel.: (3822)52-94-45  
e-mail: aich@ggf.tsu.ru

**Дата поступления:** 22.10.2019

**Received:** October, 22, 2019