УДК 552.53; 552.13 DOI: 10.19110/2221-1381-2018-11-48-53

МИНЕРАЛОГИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭВАПОРИТОВ УРОЧИЩА ТАЛОЕ ОЗЕРО (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)

М. О. Хрущева, П. А. Тишин, А. Л. Архипов, А. И. Чернышов
Томский государственный университет, Томск
masha2904@mail.ru

Объектом исследования выступают современные эвапоритовые осадки урочища Талое озеро. Оно расположено на территории Южно-Минусинской котловины и представляет собой межкуэстовую впадину, в которой находятся два временных водоема — Западный и Восточный. Актуальность работы обусловлена тем, что Талое озеро относится к группе степных водоемов, которые, в свою очередь, характеризуются специфическим набором минеральных видов, зависящих от состава питающих водоем вод. Проведенные исследования позволили диагностировать общий минеральный состав донных осадков, в результате чего были выделены две минеральные ассоциации: эвапоритовая (объединяет минеральные фазы, которые могут быть получены при упаривании рассолов, грунтовых и поверхностных вод) и терригенная (включает в себя минеральные виды, не растворимые в воде). Также была установлена последовательность выпадения водорастворимых минералов из рассолов посредством изучения взаимоотношений минеральных фаз. Минеральный состав донных осадков напрямую зависит от гидрогеохимического типа вод.

Ключевые слова: *эвапориты, минеральная ассоциация, минеральная зональность, последовательность минералообразования.*

MINERALOGY OF MODERN EVAPORITES OF THE TALOE LAKE TRACT (REPUBLIC OF KHAKASSIA)

M. O. Khrushcheva, P. A. Tishin, A. L. Arkhipov, A. I. Chernyshov
Tomsk State University, Tomsk
masha2904@mail.ru

The object of the study is modern evaporitic sediments of the Taloe Lake tract. It is located on the territory of the South Minusinsk depression and represents an intercostal cavity with two temporary reservoirs — the Western and the Eastern. The urgency of the work is due to the fact that Taloe Lake belongs to a group of steppe reservoirs, which in turn are characterized by a specific set of mineral species that depend on the composition of the water supplying the reservoir. The investigations made it possible to diagnose the total mineral composition of bottom sediments, as a result of which two mineral associations were identified: evaporite (combines the mineral phases that can be obtained by evaporating brines, groundwater and surface waters) and terrigenous (includes mineral species insoluble in water). Also, a sequence of precipitation of water-soluble minerals from brines was established, through the study of the relationships of mineral phases. At the same time, the mineral composition of the bottom sediments depends directly on the hydrogeochemical type of water.

Keywords: *evaporites, mineral association, mineral zonality, sequence of mineral formation.*

Введение

В последнее время все больше исследователей обращают свое внимание на изучение минералогии и геохимии высокоминерализованных водоемов [5, 9]. Особый интерес представляют временные озера степных районов, так как именно они довольно резко различаются по геохимическим показателям и характеризуются богатым разнообразием минеральных видов. Урочище Талое включает в себя два временных водоема, расположенных параллельно друг другу, — Западный и Восточный. Водоемы имеют форму эллипсов, вытянутых в субмеридиональном направлении, их размер составляет 3300 × 960 м и 1610 × 385 м соответственно. Общая площадь водосбора составляет около 25 км^2. Питание озер осуществляется за счет атмосферных осадков, таяния снегов и поступления грунтовых вод. Интерес к урочищу Талое озеро возник еще в XIX веке, на его базе был построен Абаканский солеваренный завод, который функционировал до середины XX века. В то время это был один из основных поставщиков поваренной соли в Усть-Абаканском районе.

Геологическое строение района

Территориально урочище Талое озеро расположено в пределах Южно-Минусинской котловины, на левобережье реки Енисей. Оно принадлежит к числу водоемов Уйбатской степи. Ближайшие к урочищу Талое озеро населенные пункты — города Черногорск и Абакан, также вблизи расположен Черногорский угольный разрез (рис. 1).

Талое озеро представляет собой озерно-хемогенную субравнину, которая заполняет понижение внутри денудационной равнины, расположенной между останцами кустового мелкосопочника. Основными осадками, слагающими эту равнину, выступают озер-

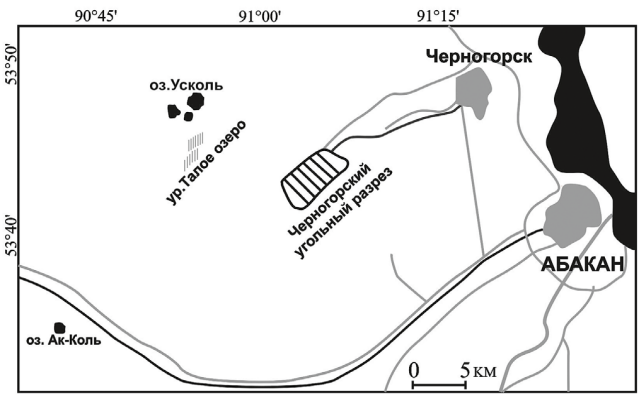

Рис. 1. Расположение урочища Талое озеро

Fig. 1. The location of the tract Lake Taloe

ные глины, илы и соли. Возраст рыхлых отложений оценивается как эоплейстоцен — нижнее звено неоплейстоцена. Подстилающие породы представлены карбонатно-терригенными осадками тубинской свиты верхнего девона. Источником соли в водоемах, по данным А. В. Русанова [6], является глубинный соляной купол, образующий антиклинальную структуру.

Методы и подходы

Полевые работы осуществлялись аналитической группой Томского государственного университета (М. О. Хрущева, П. А. Тишин, А. Л. Архипов) в течение трех лет (2014—2016 гг.). В результате было отобрано 29 проб донных осадков и 15 проб грунтовых и поверхностных вод. Донные осадки отбирались с центральной и береговой частей озер. В дальнейшем пробы высушивались при комнатной температуре и анализировались прецизионными методами. Изучение минерального состава солей и донных осадков проводилось с помощью методов рентгенофазового анализа на дифрактометре X'PERT PRO фирмы PANalytical (Нидерланды). Рентгенограммы снимались трубкой с медным анодом. Шаг съемки составлял 0.02°, диапазон углов 2Θ — 4—60°, вращение — 30 об./мин, выдержка — 0.1 сек в точке, рабочий радиус –141 мм. Расшифровка дифрактограмм проводилась с помощью программного комплекса HighScore и международной базы данных PDF-4 Minerals [10]. Для диагностики глинистых минералов была разработана оригинальная методика разделения пробы на глинистую и солевую составляющие [3, 7].

Морфология кристаллов изучалась на растровом электронном микроскопе TESCAN — VEGA II LMU, оснащенном энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 (Si (Li)-детектор). Непроводящий образец с естественным сколом напылялся слоем углерода толщиной (25 ± 5) нм. При определении химического состава в точке рабочее ускоряющее напряжение составляло 15 кВ и более, ток пучка — 5 нА, размер пучка — 500 Å. Данные работы осуществлялись на базе центра коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета.

Результаты и обсуждение

С помощью методов рентгенофазового анализа анализировались донные осадки водоемов урочища Талое озеро. В результате проведенных испытаний диагностированы следующие минеральные фазы: кварц (SiO_2), альбит ($Na[AlSi_3O_8]$), калиевый полевой шпат ($K[AlSi_3O_8]$), галит (NaCl), иллит ($(K_{0.75}(H_3O)_{0.25})Al_2(Si_3Al)O_{10}((H_2O)_{0.75}(OH)_{0.25})_2$), каолинит ($Al_4[Si_4O_{10}][OH]_8$), хлорит ($(Mg, Fe, Al, Cr, Ni, Mn)_3(Si,Al)_4\ O_{10}(OH)_2\cdot(Mg, Fe, Mn)_3(OH)_6$), кальцит ($CaCO_3$), доломит ($CaMg(CO_3)_2$), арагонит ($CaCO_3$), гипс ($CaSO_4\cdot 2H_2O$), тенардит ($Na_2SO_4$), астраханит/блёдит ($Na_2Mg(SO_4)_2\cdot 4H_2O$), ваттевиллит ($Na_2Ca(SO_4)_2\cdot 4H_2O$), эпсомит ($MgSO_4\cdot 7H_2O$), эугстерит ($Na_4Ca(SO_4)_3\cdot 2H_2O$ (табл. 1).

Особую сложность в диагностике минеральных фаз представляли глинистые минералы. Это обусловлено изобилием в породах солей, способствующих появлению интенсивных рефлексов на фоне слабоконтрастных линий глинистых минералов в малоугловой области рентгенограммы.

В результате проведения работ согласно методике [3] получены рентгенограммы препарата: в воздушно-сухом состоянии, после насыщения этиленгликолем, после прокаливания при температуре 550 °С:

После извлечения солевой составляющей из образцов глинистой фракции были установлены минералы группы хлорита, иллит, каолинит.

Хлориты относятся к группе магнезиальных, так как в отличие от железистых хлоритов у них отсутствует смещение максимума 14,03 Å в более длинноволновую область (рис. 2), а также рефлексы 002, 003, 004

Таблица 1. **Минеральная характеристика по данным рентгенофазового анализа**

Table 1. **Mineral characteristics from X-ray phase analysis data**

Минеральная фаза Mineral phase	Межплоскостное расстояние в ангстремах (d(Å)), интенсивность (I) Interplanar distance in angstroms (d(Å)), intensity (I)	№ карточки PDF-4 [10] No PDF paper
Кварц / Quartz	$3{,}34_{10}$; $4{,}25_5$; $2{,}45_3$	[01-085-0794]
Альбит / Albite	$3{,}19_{10}$; $3{,}66_4$; $6{,}36_2$;	[01-089-6426]
КПШ / PFS	$3{,}24_{10}$; $4{,}22_8$; $4{,}04_4$	[04-011-0526]
Иллит / Illite	$9{,}91_{10}$; $4{,}91_4$; $3{,}33_{10}$	[01-070-3754]
Каолинит / Kaolinite	$7{,}05_{10}$, $3{,}53_5$, $4{,}47_3$	[00-003-0058]
Хлорит / Chlorite	$14{,}03_{10}$; $7{,}05_8$; $4{,}71_4$	[00-052-1044]
Галит / Halite	$3{,}25_2$; $2{,}81_{10}$; $1{,}99_6$	[04-002-2489]
Кальцит / Calcite	$3{,}84_2$; $3{,}06_{10}$; $2{,}49_4$	[01-086-1108]
Доломит / Dolomite	$2{,}89_{10}$; $1{,}81_1$; $1{,}79_1$	[00-034-0517]
Арагонит / Aragonite	3.39_{10}; $3{,}28_5$; $2{,}70_5$	[01-080-2771]
Гипс / Gypsum	$7{,}60_8$; $4{,}25_{10}$; $2{,}89_6$	[01-074-1904]
Тенардит / Tenardite	$4{,}66_7$; $3{,}84_2$; $3{,}18_6$	[00-037-1465]
Астраханит / блёдит Astrahanite / bloedite	$4{,}50_{10}$; $2{,}93_4$; $2{,}59_2$	[01-077-1343]
Ваттевиллит / Wattevillite	$4{,}39_{10}$; $4{,}20_7$; $5{,}44_5$; $5{,}10_4$	[00-041-1360]
Эпсомит / Epsomite	$4{,}21_{10}$; $4{,}20_8$; $2{,}66_3$; $2{,}88_3$	[01-072-0696]
Эугстерит / Eugsterite	$3{,}42_{10}$; $5{,}48_7$; $9{,}22_5$	[00-035-0487]

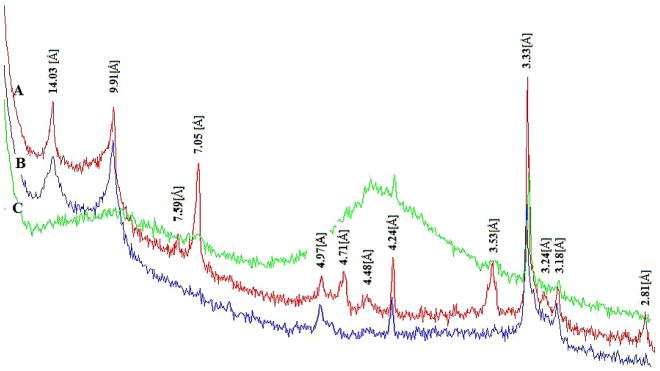

Рис. 2. Комбинированная рентгенограмма препарата глинистой фракции: А — в воздушно-сухом состоянии; В — после прокаливания препарата при 550 °С, С — после насыщения препарата этиленгликолем. *Примечание:* хлорит ($14{,}03_{10}$Å;$7{,}05_{8}$Å;$4{,}71_{4}$Å), иллит ($9{,}91_{10}$ Å; $4{,}91_{4}$ Å; $3{,}33_{10}$ Å), каолинит ($7{,}05_{10}$ Å, $3{,}53_{5}$ Å, $4{,}47_{3}$ Å)

Fig. 2. Combined X-ray diffraction pattern of the clay preparation: A — in the air-dry state, B — after calcination of the preparation at 550 ° C, C — after saturation of the preparation with ethylene glycol. *Note:* chlorite (14.03_{10} Å, 7.05_{8} Å, 4.71_{4} Å), illite (9.91_{10} Å, 4.91_{4} Å, 3.33_{10} Å), kaolinite (7.05_{10} Å, 3.53_{5} Å, 4.47_{3} Å)

характеризуются примерно одинаково высокой интенсивностью.

Рефлексы каолинита полностью исчезают на рентгенограмме после прокаливания образца при температуре 550 °С в течение двух часов, так как при этой температуре происходит разрушение его кристаллической решетки (рис. 2) [7].

Минералы группы иллита диагностируются по характерным линиям (табл. 1).

Количественный расчет минеральных фаз в образцах, отобранных с береговой и центральной частей водоемов, рассчитан методом Ритвельда. Полученные результаты наиболее представительных образцов отражены в таблице 2.

Исходя из установленного набора минеральных фаз, можно выделить два генетических типа ассоциаций: терригенную и эвапоритовую [1, 4]. Терригенная ассоциация объединяет в себе минералы, не растворимые в воде: кварц, альбит, калиевый полевой шпат, глинистые минералы. Эвапоритовая ассоциация включает в себя минеральные виды, образованные при упаривании грунтовых, поверхностных вод и рассолов — это минералы групп карбонатов и сульфатов.

Можно предположить, что большая часть терригенных минералов привносится в водоемы эоловыми процессами. На это указывает схожий состав обломочной составляющей как в Восточном, так и в Западном водоеме. Состав обусловлен минералого-петрографическими особенностями разрушающихся коренных пород в основании бассейна. Необходимо отметить, что наблюдается тенденция увеличения обломочных минералов от центральной части водоемов к береговой. Это объясняется особенностями рельефа дна озер и характером упаривания заполняющих их вод.

Минеральный набор эвапоритовой ассоциации в Восточном и Западном водоемах существенно различается, это обусловлено разным гидрогеохимическим типом вод. Согласно схеме Курнакова — Валяшко [2], воды Восточного водоема могут быть отнесены к промежуточному типу между сульфатно-натриевыми и хлоридными, так как в составе рассолов присутствуют сульфат-ион и хлорид-ион, а воды Западного — к хлоридному типу [4]. Данные макрокомпонентного химического состава рассолов наиболее представительных образцов приведены в таблице 3.

Для Восточного водоема характерна кальцит-галит-тенардитовая ассоциация с примесью сульфатов: астраханита/блёдита, ваттевиллита, эпсомита, эугстерита (содержание которых не превышает 3 %). Основным минералом выступает тенардит, его содержание — более 40 % от общего объема образца. Для Западного водоема наблюдается гипс-кальцит-галитовая ассоциация с примесью доломита, астраха-

Таблица 2. **Количественное соотношение минеральных фаз в наиболее представительных образцах донных осадков водоемов урочища Талое озеро**

Table 2. **Quantitative correlation of mineral phases in the most representative samples of bottom sediments of the reservoirs of the tract Taloe Lake**

№ обр. No sample	Место отбора Sampling place	Минеральный состав, % / Mineral composition, %												
		Хл	Гп	Ил	К	Астр	Кв	Пл	КПШ	Кц	Дл	Гл	Тн	А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Восточный водоем / Eastern reservoir														
1	Берег / Bank	сл	-	1,2	сл	2,9	20,9	1	сл	8,9	-	29,8	35,3	-
2	Берег / Bank	-	-	-	-	сл	19	-	-	9,7	-	8	63,3	-
3	Центр / center	-	-	1	1	-	12,2	-	-	5	-	10	70,8	-
Западный водоем / Western reservoir														
4	Берег / bank	1,5	5,2	2,1	2,7	2,9	53,2	9,2	1	13,9	3,2	5,1	5,4	-
5	Берег / bank	1,5	9,9	2,2	2,6	3,6	40,6	4,5	сл	11,9	4,4	18,8	-	-
6	Центр / center	-	14,7	1,4	-	4,5	40,9	4	1,4	10,4		10,3	-	7

Примечание: хл — хлорит, гп — гипс, ил — иллит, к — каолинит, астр — астраханит/блёдит, кв — кварц, ал — альбит, кпш — калиевый полевой шпат, кц — кальцит, дл — доломит, гл — галит, тн — тенардит, а — арагонит, сл — следовое содержание (менее 1 %).

Note: хл — chlorite, гп — gypsum, ил — illite, к — kaolinite, астр — astrakhanite/bloedite, кв — quartz, ал — albite, кпш — potassium feldspar, кц — calcite, дл — dolomite, гл — halite, тн — tenardite, а — aragonite, сл — trace content (less 1 %).

Таблица 3. **Макрокомпонентный состав рассолов урочища Талое озеро, мг/дм³**

Table 3. **Macro-component composition of the waters of the Taloe Lake tract, mg/dm³**

№ пр. No Sample	Тип вод Type	M, г/л	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	K^+	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Западный водоем / Western reservoir											
1	П. в	30,4	6,4	641,3	407,4	0,0	79,3	59,5	6486	13201	4200
2		36,4	6,2	741,5	571,5	0,0	91,5	67,5	9530	15372	6000
3		35,9	7,2	761,5	541,1	0,0	109,8	72,2	8967	15459	6833
4		36,6	7,0	761,5	541,1	0,0	109,8	70,2	10535	15459	5500
5		33,7	6,7	701,4	851,2	0,0	79,3	102	5880	14417	3600
6	Г. в	108	7,0	1142	2346	0,0	994,6	72,5	30527	51069	5700
6’		104	6,9	1122	2128	0,0	988,5	68,4	29155	51243	6900
Восточный водоем / Eastern reservoir											
7	Г. в	85,3	8,5	10,0	188,5	51,0	2343,2	181,6	41650	43078	30000
8	П. в	4,7	8,3	34,1	38,9	0,0	561,4	15,3	2450	1024	8250

Примечание: п. в. — поверхностные воды, г. в — грунтовые воды. *Note:* п. в. — surface waters, г. в — ground waters.

нита/блёдита, тенардита и арагонита. Также необходимо обратить внимание, что по направлению от береговой части водоемов к центральной наблюдается увеличение роли сульфатных минералов и уменьшение количества обломочных.

Более разнообразный минеральный состав в центральной части озер имеет двойственное объяснение. С одной стороны, это указывает на повышение степени минерализации остаточных вод в осевой зоне бассейна [11]. С другой стороны, разнообразие гидросульфатов может отражать их метастабильное состояние, связанное с сезонными изменениями гидродинамического, физико-химического и температурного режимов формирования эвапоритов [8].

Для оценки порядка выпадения твердых солей из рассолов проведены исследования на растровом электронном микроскопе.

Карбонаты (кальцит, доломит) кристаллизуются в виде призматических, столбчатых кристаллов, которые выступают в качестве каркаса, на котором развиваются минералы группы сульфатов и галлоидов (рис. 3, а). Гипс прослеживается по всей площади озер, он образует крупные пластинчатые и таблитчатые кристаллы, по которым могут нарастать другие

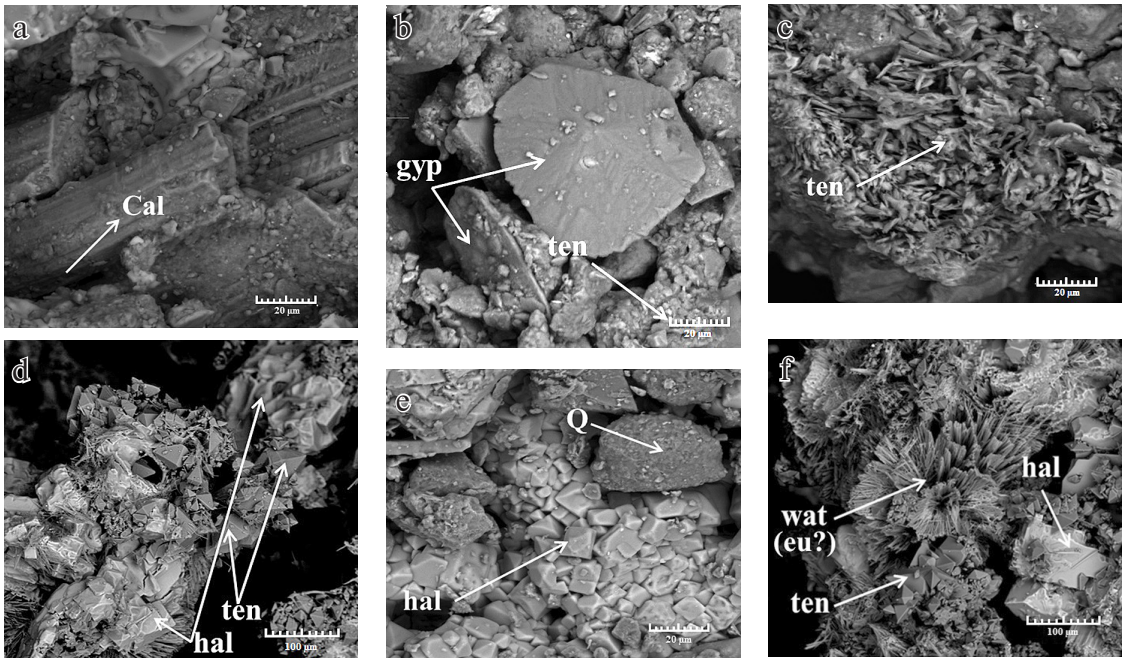

Рис. 3. Кристаллы эвапоритовых минералов донных осадков ур. Талое озеро: a — призматические кристаллы кальцита; b — пластинчатые кристаллы гипса, по которым развивается тенардит; c — кристаллы тенардита с береговой части водоема; d — кристаллы галита и тенардита с центральной части водоема; e — кубические кристаллы галита; f — натечные кристаллы галита и дипирамидальные кристаллы тенардита, по которым развиваются игольчатые ваттевиллит и эугстерит. *Условные обозначения:* cal — кальцит, gyp — гипс, ten — тенардит, hal — галит, q — кварц, wat — ваттевиллит, eu — эугстерит

Fig. 3. Crystals of evaporite minerals of bottom sediments Taloe Lake: a — prismatic crystals of calcite; b — lamellar crystals of gypsum, according to which the tenardite develops; c — crystals of tenardite from the shore part of the reservoir; d — crystals of halite and tenardite from the central part of the reservoir; e — cubic halite crystals; f — gallite crystals and dipiramidal thunderite crystals on which needle-like wattevillite develops. *Note:* cal — calcite, gyp — gypsum, ten — tenardite, hal — halite, q — quartz, wat — wattevillite, eu — eugsterite

сульфатные минералы и галлоиды (рис. 3, b). Сульфат натрия — тенардит — может образовывать различные кристаллы в зависимости от удаленности от береговой линии. В более глубоководной части водоемов он образует крупные изометричные дипиромидальные кристаллы, по мере приближения к береговой зоне кристаллы становятся тонкими чешуйчатыми, пластинчатыми (рис. 3, c, d). Такое изменение формы кристаллов обусловлено тем, что в центральной части озер воды более минерализованные и кристаллизация минеральных фаз происходит в течение более длительного времени. Галит представляет собой натечные корки неправильной формы на поверхностях карбонатов, сульфатов и терригенных минералов (рис. 3, d). Также на гранях наблюдается ступенчатый излом, который отражает механизм роста кристаллов в условиях направленного потока. Реже встречаются изометричные кубические кристаллы галита (рис. 3, e). Сульфаты ваттевиллит, эугстерит и эпсомит присутствуют в следовых (менее 1 %) количествах и образуются на поверхностях кальцита, гипса и тенардита. Ваттевиллит и эугстерит имеют шестоватые, радиально-лучистые агрегаты (рис. 3, f). Эпсомит же характеризуется изометричными, дипирамидальными кристаллами.

На основании указанных взаимоотношений минеральных зерен образцов, отобранных с Восточного и Западного водоемов, можно восстановить следующую последовательность выпадения минералов эвапоритовой ассоциации, которая полностью соответствует схеме последовательной кристаллизации солей, установленной ранее М. Г. Валяшко [2]: кальцит → доломит → гипс → тенардит → галит → эугстерит → ваттевиллит → эпсомит. Последовательность выпадения солей определяется химическим составом солевого раствора.

Выводы

В результате проделанной работы установлено, что минеральный состав донных осадков определяется наличием двух минеральных ассоциаций: терригенной и эвапоритовой. Терригенная ассоциация включает в себя минералы не растворимые в воде. Эвапоритовая ассоциация объединяет минеральные фазы, которые выпадают при упаривании рассолов.

Минеральный состав донных осадков напрямую зависит от гидрогеохимического типа вод. Рассолы Восточного водоема, которые могут быть отнесены к промежуточному типу между сульфатно-натриевыми и хлоридными, имеют в своем составе соизмеримые количества тенардита и галита, а в чисто хлоридных водах преобладают галит и кальцит. Посредством изучения взаимодействия кристаллов установлена последовательность выпадения минеральных фаз эвапоритовой ассоциации: кальцит → доломит → гипс → тенардит → галит → эугстерит → ваттевиллит → эпсомит.

Литература

1. Архипов А., Иванова М., Тишин П. Зональность и минеральная ассоциация современных испарений в Южно-Минусинском бассейне на примере озера Талое и озера Ак-Коль (Республика Хакасия) / 15-я Международная многопрофильная научная геоконференция SGEM-2015, 18—24 июня 2015 г. (www.sgem.org), SGEM-2015: Труды конференции, ISBN 978-619-7105-31-5 / ISSN 1314-2704, Book 1. Vol. 1. С. 537—542.

2. Валяшко М. Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М.: Изд-во МГУ, 1962. 398 с.

3. Иванова М. О. Диагностика глинистых минералов отложений урочища Талое озеро (Республика Хакасия) // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2016. Т. I. С. 145—147.

4. Иванова М., Тишин П., Архипов А. Минералогические и химические особенности рассолов и современных испарений озерного тракта Тало (Республика Хакасия) // 16-я Международная многопрофильная научная геоконференция SGEM 2016, 30 июня — 6 июля 2016 года (www.sgem.org), SGEM2016: Труды конференции, ISBN 978-619-7105-55-1 / ISSN 1314-2704, книга 1. V. 1. 389—396 с.

5. Кривовичев В. Г., Чарыкова М. В. Минеральные и физико-химические системы эвапоритов: геохимический и термодинамический аспекты // Записки Российского минералогического общества. 2016. Ч. CXLV. 2. 30—43 с.

6. Русанов А. В. Результаты геологических исследований в окрестностях Абаканского солеваренного завода / Западно-Сибирский геологический трест. Томск, 1935.

7. Соколова Т. А., Дронова Т. Я., Толпешта И. И. Глинистые минералы в почвах. Тула: Гриф и К, 2005. 336 с.

8. Чарыкова М. В., Чарыков Н. А.. Термодинамическое моделирование процессов эвапоритовой седиментации, СПб.: Наука, 2003. 261 с.

9. Dedić, Ž., Ilijanić, N., Miko, S., A mineralogical and petrographic study of evaporates from the Mali Kukor, Vranjkovići, and slane stine deposits (Upper Permian, Dalmatia, Croatia), Geologia Croatica, Volume 71. Issue 1. 2018. 19—28 pp.

10. PDF-4/Minerals 2014. International Centre for Diffraction Data. SN: Minc 1 401 28—1374.

11. Warren J. K., Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. Earth-Science Reviews 98, 2010. 217—268 p.

References

1. Arkhipov A., Ivanova M., Tishin P. *Zonal'nost' i mineral'naya assotsiatsiya sovremennyh isparenii v Yuzhno-Minusinskom basseine na primere ozera Taloe i ozera Ak-Kol' (Respublika Hakasiya)* (Zonality and mineral association of modern evaporates in the South-Minusinsk basin by the example of Taloe lake and Ak-Kol lake (Khakassia Republic)). 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, www.sgem.org, SGEM2015 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-31-5 / ISSN 1314-2704, June 18—24, 2015, Book 1, V. 1, 537—542 pp.

2. Valyashko M. G. *Geokhimicheskiye zakonomernosti formirovaniya mestorozhdeniy kaliynykh soley* (Geochemical regularities of formation fo potassium salts). Moscow: MSU, 1962, 398 pp.

3. Ivanova M. O. *Diagnostika glinistyye mineralov otlozheniy urochishcha Taloye ozero (Respublika Khakasiya)* (Diagnostics of clay minerals of deposits Taloe ozero (Republic of Khakassia)). Proceedings of Internation symposium named

after Usov. Tomsk: Tomsk Polytechnical Universitety, 2016. V. I, pp. 145—147

4. Ivanova M., Tishin P., Arkhipov A. *Mineralogicheskie i himicheskie osobennosti rassolov i sovremennyh isparenii ozernogo trakta Talo (Respublika Hakasiya)* (Mineralogical and chemical features of brines and modern evaporates of Taloe lake tract (Republic of Khakassiya)). 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-55-1 / ISSN 1314-2704, 30 June — 6 July , 2016, Book 1, V. 1, 389—396 pp.

5. Krivovichev V. G., Charykova M. V. *Mineralnyye i fiziko-khimicheskiye sistemy evaporitov: geokhimicheskiy i termodinamicheskiy aspekty* (Mineral and physical-chemical systems of evaporates), Proceedings of RMS, CH. CXLV, 2, 2016, 30—43 pp.

6. Rusanov A. V. *Rezultaty geologicheskikh issledovaniy v okrestnostyakh Abakanskogo solevarennogo zavoda* (Results of geological studies near Abakan salt plant), Zapadno-Sibirskiy Geologicheskiy trest, Tomsk, 1935.

7. Sokolova T. A., Dronova T. Ya., Tolpeshta I. I. *Glinistyye mineraly v pochvakh* (Clay minerals in soils). Grif i K, 2005, 336 p.

8. Charykova M. V., Charykov N. A. *Termodinamicheskoye modelirovaniye protsessov evaporitovoy sedimentatsii* (Thermodynamic modeling of evaporate sedimentation), St. Petersburg: Nauka, 2003, 261 pp.

9. Dedić, Ž., Ilijanić, N., Miko, S., A mineralogical and petrographic study of evaporates from the Mali Kukor, Vranjkovići, and slane stine deposits (Upper Permian, Dalmatia, Croatia), Geologia Croatica, V. 71, Issue 1, 2018, 19—28 pp.

10. PDF-4/Minerals 2014.-International Centre for Diffraction Data. SN: Minc 1 401 28—1374

11. Warren J. K., Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. Earth-Science Reviews 98, 2010, 217—268 p.