

С.С. Потапов¹, Н.В. Паршина¹, Т.А. Ковалёва²

¹Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс

²Юношеская геол. партия «Пилигрим» МАУДО ЦДОД «ДАР», г. Кунгур

МИНЕРАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОЗЕРА САЛДА (ПРОВИНЦИЯ БУРДУР, РЕСПУБЛИКА ТУРЦИЯ)

С применением рентгенофазового метода изучен минеральный состав современных минеральных отложений озера Салда в Турции. Установлено, что отложения представлены гидромагнезитом $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \times 4H_2O$, гунтитом (хантитом) $CaMg_3(CO_3)_4$ и механической примесью энстатита $Mg_2Si_2O_6$. Отмечается роль органической компоненты (цианобактерий и диатомовых водорослей) в формировании карбонатных минеральных отложений.

Ключевые слова: минеральные отложения, гидромагнезит, гунтит (хантит), энстатит, озеро Салда, провинция Бурдур, Республика Турция.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2024.114

Введение. Озеро Салда – это пресное глубоководное озеро, которое находится на высоте 1140 м над уровнем моря. Оно образовалось в результате извержения вулкана, в самом его центре – кратере. Озеро Салда вулканическое и естественное. Озеро Салда находится в юго-западной части Турции в районе Бурдур, близ небольшого поселка Ешилова. Интересно, что озеро находится примерно на одинаковом расстоянии как от курортов Средиземного, так и Эгейского морей. Озеро Салда является вторым по глубине озером Турции; его глубина достигает почти 200 м. Длина озера Салда достигает 8 км, а ширина 6 км. Площадь всего озера 454 км². Озеро Салда входит в пятерку самых чистых озёр мира и включено в список природного наследия ЮНЕСКО.

Озеро Салда – геологический памятник природы. Котловина озера Салда окаймляется горными сооружениями, сложенными серпентинизированными и амфиболитизированными ультраосновными породами, подверженными гипергенезу с образованием зоны магнезиальной карбонатизации в виде мелко-прожилковых включений гидромагнезита, которые служат источником магнезиальной компоненты. Современные осадочные отложения озера представлены преимущественно магнезиальным карбонатом (гидромагнезитом) с примесью (8-15 %) лизардита, доломита, арагонита, актинолита и др.

Берега озера покрыты светлым белым песком, представляющим собой новообразованные минеральные отложения. Предметом исследований является состав этих минеральных отложений.

Объекты и методы исследований. Минеральные образования отмечаются не только на берегу, но и в акватории озера Салда, располагаясь на прибрежных участках и локализуясь в водной среде под уровнем воды, образуя белые корочки на озёрных гальках, обломках камней (рис. 1); в воздушной среде на обрывистых поверхностях и в переменной среде в приближенных к воде зонах. Формирование минеральных образований происходит с участием микробиоты, «симбиоз» которых приводит к образованию современных строматолитов – осадочных образований, которые появились в результате жизнедеятельности цианобактерий. Среди береговых отложений озера Салда выделяется активная микробиологическая зона, где деятельность бактерий создает благоприятную физико-химическую среду для формирования минералов разных структурно-текстурных типов: «глинистого», «песчаного», «гравийного», «кораллоподобного» с промежуточными разностями [1]. В соответствии с колебаниями уровня воды в озере в разрезе отложений появляются слои и линзы «гравийных» и «кораллоподобных» минеральных форм.

Если в первой локации минералы отлагаются на гальках (см. рис. 1),

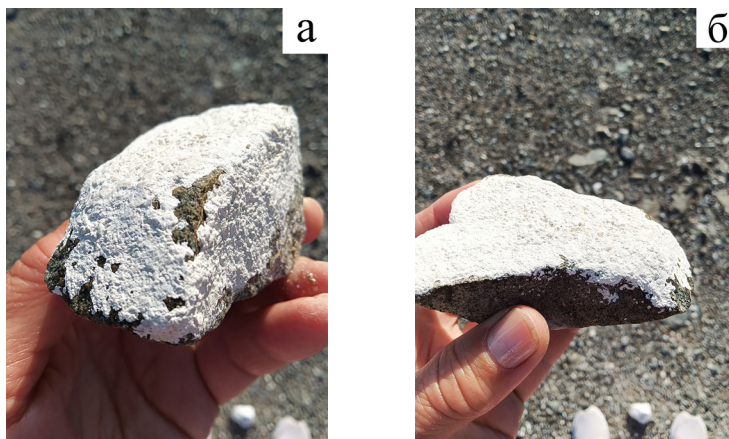


Рис. 1. Минеральные отложения на озёрной гальке

то во второй локации, где были отобраны образцы для исследований, минеральные образования представляют собой белые плотные изометричные, слегка уплощённые бляшки, стяжения, или микроконкреции

размером 4-7 мм, находящиеся в тонком «песке» (рис. 2). Места локализации отложений первого и второго типа показаны на схеме (карте) (рис. 3)



Рис. 2. Исследованные минеральные образцы в виде белых плотных образцов в виде белых плотных стяжений

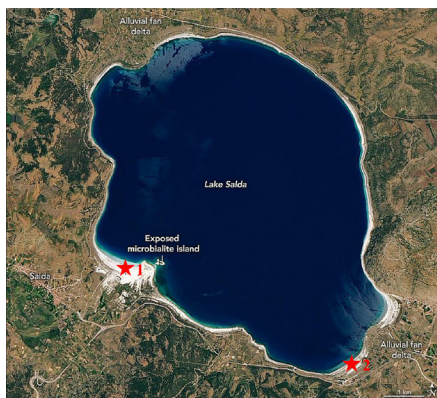


Рис. 3. Карта-схема озера Салда с местами расположения отложений гидромагнезита: 1 – в виде отложений на гальках; 2 – в виде белых плотных стяжений (микроконкреций)

В августе 2023 г. были отобраны и впоследствии изучены методом рентгенографии на дифрактометре ДРОН-2.0, CuK_α -излучение в лаборатории Института минералогии Южно-Уральского ФНЦ МиГ УрО РАН (г. Миасс, аналитики Е.Д. Зенович и П.В. Хворов) минеральные образования в виде белых плотных минеральных бляшек (см. рис. 2).

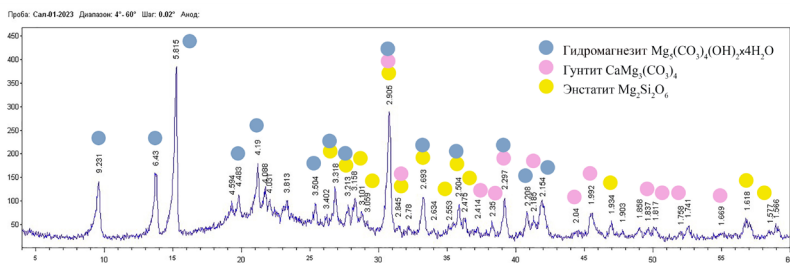


Рис. 4. Рентгенограмма конкреционных минеральных образований

Результаты исследований и осуждение. На полученной рентгенограмме дешифрируются рефлексы гидромагнезита $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, гунтита (хантита, Huntite) $\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$ и механической примеси энстатита $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ (табл., рис. 4).

Таблица

Рентгенограмма пробы Сал-01-2023 (1) минеральных отложений озера Салдаи эталонных гидромагнезита $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \times 4H_2O$ (2), гунтита $CaMg_3(CO_3)_4$ (3), энстатита $Mg_2Si_2O_6$ (4)

Проба Сал-01-2023 (1)		Гидромагнезит (Минкрст) (2)			Гунтин (хантит, Hun-tite) (Минкрст) (3)			Энстатит (Минкрст) (4)		
d, Å	I	d, Å	I	hkl	d, Å	I	hkl	d, Å	I	hkl
9.231	33	9.19954	77.10	100						
6.43	36	6.41648	72.10	110						
5.815	100	5.80628	100	011						
4.483	11	4.47700	21.20	020						
4.19	31	4.18900	49.50	10-2						
3.504	12	3.50667	21.50	21-2						
3.318	23	3.31937	37.80	22-1				3.30171	34.20	121
3.213	11	3.20824	20.90	220				3.19013	19.70	411
3.158	15							3.15041	100	221
3.059	4							2.93874	48.50	321
2.905	71	2.90314	85.00	022	2.89030	18.70	211	2.87330	93.40	610
2.845	5				2.83465	100	202	2.82473	24.10	511
2.693	23	2.69259	27.20	221				2.70326	30.80	421
2.553	4				2.60707	8.50	003	2.53156	47.90	131
2.504	13	2.50376	37.30	230				2.49098	66.70	202
2.475	9							2.47001	28.90	521
2.414	4				2.43434	9.20	21-2			
2.35	8				2.37568	10.60	220			
2.297	23	2.29989	36.70	400	2.28561	5.60	113			
2.208	13	2.20969	35.00	32-3						
2.185	7				2.19108	7.50	31-1			
2.154	20	2.15808	26.80	41-3				2.11140	31.70	502
2.04	2				1.98971	7.80	401	2.09330	21.40	531
1.992	11				1.97127	23.50	312			
1.934	9							1.95630	27.90	631
1.837	4				1.83528	3.50	321			
1.817	5				1.79584	3.40	410			
1.758	4				1.75597	14.90	20-4			
1.669	2				1.70022	3.30	32-2			
1.618	12							1.60750	18.90	023
1.577	4				1.58378	9.70	330			

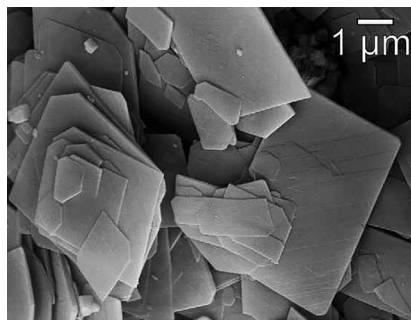


Рис. 5. СЭМ-фото образца гидромагнезита из гидромагнезито-магнезитового месторождения Плейас близ Атлина (Британская Колумбия, Канада), демонстрирующее пластинчатую морфологию кристаллов [5]

Как следует из литературных источников, описаны следующие формы выделения гидромагнезита: агрегаты в виде розеток или корок из игольчатых или листоватых кристаллов, удлинённых по $[001]$ и уплощённых по $\{100\}$, а также массивные; мелоподобные или мучнистые. На СЭМ-фото образца гидромагнезита из гидромагнезито-магнезитового месторождения Плейас близ Атлина (Британская Колумбия, Канада) показана пластинчатая морфология кристаллов (рис. 5) [5]. В нашем случае гидромагнезит слагает плотные массивные стяжения.

Обычно гидромагнезит является продуктом выветривания минералов, содержащих магний, таких как серпентин и брусит. Часто встречается в виде инкрустаций и заполнителя трещин в ультраосновных горных породах, например, в серпентинитах, а также в гидротермально изменённых доломитах и мраморах.

Гидромагнезит обычно встречается в пещерах в виде спелеотемов,



Рис. 6. Гидромагнезитовый шар или баллон в пещере Драгоценностей (Hydromagnesite balloon in Jewel Cave)

типа шаров или баллонов (рис. 6) и, так называемого, «лунного молока», образующегося из воды, просочившейся сквозь богатые магнием породы. Гидромагнезит наиболее распространенный пещерный карбонат после кальцита и арагонита [3]. Гидромагнезит был впервые описан в 1836 г. на месторождении Хобокен, штат Нью-Джерси, США [7].

Одно из крупнейших месторождений гидромагнезита находится в Греции [4]. Гидромагнезит образует здесь природную смесь (ассоциацию, парагенезис) с гунтитом. Местные жители веками использовали белый минерал в качестве исходного материала для побелки зданий. В середине XX века эти минералы, измельченные в мелкий порошок, нашли применение в качестве наполнителя для резиновых подошв обуви. Греческое месторождение всё еще эксплуатируется в коммерческих целях, хотя центр тяжести по добыче гидромагнезита в настоящее время сместился в Турцию. Именно здесь в щелочной воде (с рН выше 9) пресноводного озера Салда-Гелю на юге Турции образовавшиеся строматолитовые постройки состоят из гидромагнезита, осаждённого диатомовыми водорослями и цианобактериями [2].

Сообщается также о микробном отложении гидромагнезита в месторождения Плейас в Британской Колумбии [6]. Гидромагнезит-магнезитовые пласты близ Атлина, Британская Колумбия, являются одними из наиболее изученных месторождений гидромагнезита. Эти отложения были охарактеризованы в контексте биогеохимической модели связывания CO_2 [5].

Микробиогенная среда озера Салда находится только среди магнезиально-карбонатного субстрата; в других минеральных формах (силикатах, алюмосиликатах и прочих) колоний бактерий не отмечается. Установлено [1], что наибольшее количество бактериальных колоний содержится в осадочных рыхлых гидромагнезитах песчано-глинистой фракции. Аэральная среда благоприятна для развития аэробных гетеротрофов, и здесь происходит активное формирование сфероидальных текстур гидромагнезита вследствие жизнедеятельности бактерий рода *Bacillus* и, в меньшей степени, рода *Pseudomonas*.

Закключение. Таким образом, нами изучен минеральный состав современных отложений озера Салда в Турции, представленный гидромагнезитом $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$, гунтитом $\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$ с примесью энстатита $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$. Отмечается роль органической компоненты (цианобактерий и диатомовых водорослей) в формировании карбонатных минеральных отложений.

Авторы благодарны Е.Д. Зенович и П.В. Хворову (Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс) за выполнение аналитических работ.

Исследование выполнено неформальным творческим коллективом по теме «Минералого-геохимические исследования и палеоэкологические реконструкции природных и техногенных процессов» в рамках государственного задания Института минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (регистрационный № АААА-А-21-121011990025-5) с использованием аналитических возможностей центра коллективного пользования.

Библиографический список

1. Щербакова Т.А., Швелёв А.И., Шурхо Р.А. Микробиологическая природа современных магнезиальных карбонатов на озере Салда // Учёные записки Казанского университета. Естественные науки. 2010. Т. 152. Кн. 3. С. 186-191.
2. Braithwaite C.J.R., Zedef Veysel. Living hydromagnesite stromatolites from Turkey // Sedimentary Geology. 1994. V. 92. Issue 1. P. 1-5.
3. Georgiades G.N. Huntite-hydromagnesite production and applications // Proceedings of the 12th Industrial Minerals Congress. 1996. P. 57-60.
4. Handbook of Mineralogy // https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.f58da857-65169ab6-d516e594-74722d776562/https/ruff.info/doclib/hom/hydromagnesite.pdf
5. Power I.M., Wilson S.A., Thom J.M., Dipple G.M., Gabites J.E., Southam G. The hydromagnesite playas of Atlin, British Columbia, Canada: A biogeochemical model for CO₂ sequestration // Chemical Geology. 2009. 206 (3-4). P. 302-316.
6. Renaut R.W., Stead D. Recent Magnesite-Hydromagnesite sedimentation in Playa Basins of the Caribou Plateau, British Columbia // British Columbia Geologic Survey Branch. Geological Fieldwork. 1990. Paper 1991-1. P. 279-288.
7. Webmineral data // https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.f58da857-65169ab6-d516e594-74722d776562/www.webmineral.com/data/Hydromagnesite.shtml?

MINERAL DEPOSITS OF LAKE SALDA (BURDUR PROVINCE, REPUBLIC OF TÜRKIYE)

S.S Potapov, N.V.Parshina, T.A. Kovaleva
salmazov11@gmail.com

Using the X-ray phase method, the mineral composition of modern mineral sediments of Lake Salda in Turkey was studied. It has been established that the deposits are represented by hydromagnesite $Mg_3(CO_3)_4(OH)_2 \times 4H_2O$, guntite $CaMg_3(CO_3)_4$ and a mechanical admixture of enstatite $Mg_2Si_2O_6$. The role of organic components (cyanobacteria and diatoms) in the formation of carbonate mineral sediments is noted.

Key words: mineral deposits, hydromagnesite, guntite, enstatite, Lake Salda, Burdur province, Republic of Turkey.