

ГЕЙЛЮССИТ ДОРОНИНСКОГО СОДОВОГО ОЗЕРА, ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ

© 2011 г. Г. А. Юргенсон*, Н. В. Серебренникова**, Е. Н. Котова***

*Институт природных ресурсов экологии и криологии СО РАН
672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16
e-mail: inrec.sbras@mail.ru

**Лаборатория минералогии и геохимии ландшафта
Забайкальского государственного гуманитарного педагогического университета
672007, г. Чита, ул. Бабушкина, 129
e-mail: nvserebrennikova@academ.chita.ru

***Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54
e-mail: enkotova@geo.komisc.ru

Поступила в редакцию 14.07.2010 г.

В верхнем илистом слое осадков Доронинского содового озера (Восточное Забайкалье, Россия) установлен гейлюссит, для которого характерны кристаллы различного габитуса, размером 0.3–1.2 мм. Гейлюссит появляется в зимнее время вследствие возрастания концентрации карбонат-ионов в подледной воде и понижения температуры ниже 0°C. Таким образом, гейлюссит Доронинского содового озера является продуктом криоминералогенеза и маркирует определенный этап эволюции содовых озер сухостепных мерзлотных ландшафтов в условиях резко континентального климата с длительным зимним периодом.

Ключевые слова: *гейлюссит, содовые озера, Забайкалье, озеро Доронинское.*

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Доронинское известно как месторождение самосадочной соды Восточного Забайкалья. Оно характеризуется широким проявлением процессов содового минералогенеза. В условиях озера образуются натрон ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), трона ($\text{Na}_2\text{CO}_3\text{HCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), галит (NaCl) и кальцит (CaCO_3). Комплексными исследованиями последних лет состав аутигенных образований озера существенно уточнен и расширен за счет обнаружения новых минеральных фаз. В настоящей работе рассматриваются особенности состава, структуры и условий образования гейлюссита ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

Гейлюссит типичен для проявлений содового минералогенеза (рис. 1). Впервые кристаллы гейлюссита были обнаружены в пластах глины щелочного озера Лагунилья в Венесуэле, позже встречены в осадках озер Табус-Нор, Монголия; Боракс, округ Лейк, и Моно, США [3]. Гейлюссит и пирсонит ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) обильны в отложениях озера Серлз, Калифорния, и в содоносных породах формации Грин-Ривер, Юта и Вайоминг, США [1]. В России гейлюссит описан в содовых озерах Кулундинской степи [9], в прожилках щелочных пород Хибинского массива [10] и в скальных береговых отложениях р. Елве, Респ. Коми [11].

В пределах Забайкалья находок гейлюссита до сих пор не отмечалось. В представленной работе

впервые для региона приводятся результаты минералогических исследований кристаллов гейлюссита, найденных в иловых отложениях Доронинского содового озера.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.

Образцы гейлюссита отобраны дночерпателем Петерсена с глубины 5.8 м центра озерной котловины в декабре 2004 г.

В Аналитическом центре ИЗК СО РАН (г. Иркутск) рентгенометрически определен фазовый состав смеси гейлюссита и терригенных минералов. Параметры съемки ДРОН-3.0, излучение $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$, Ni-фильтр, $V = 25$ кВ, $I = 20$ мА, аналитик Т.С. Филева. Исследованы состав и параметры элементарной ячейки кристаллов гейлюссита (ДРОН-2.0, излучение $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$, Ni-фильтр, 25 кВ, 20 мА). Проведена диагностика примесных минералов, (камера РКД 57.3 мм, излучение $\text{Fe}_{\text{K}\alpha}$, 25 кВ, 20 мА, аналитик З.Ф. Ушаповская). Диагностика кристаллов гейлюссита различного габитуса и их сростков проводилась в Институте Геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, где выполнен рентгенофазовый анализ (дифрактометр Shimadzu XRD-6000, излучение $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$, 40 кВ, 30 мА, аналитик Б.А. Макеев). Рассчитаны параметры элементарной ячейки для клиновидных кристаллов. Сняты ИК-спектры в диапазоне 400–4000 cm^{-1} на Фурье-спектрометре ИнфраЛюм ФТ-02, аналитик М.Ф. Самотолкова. Вы-

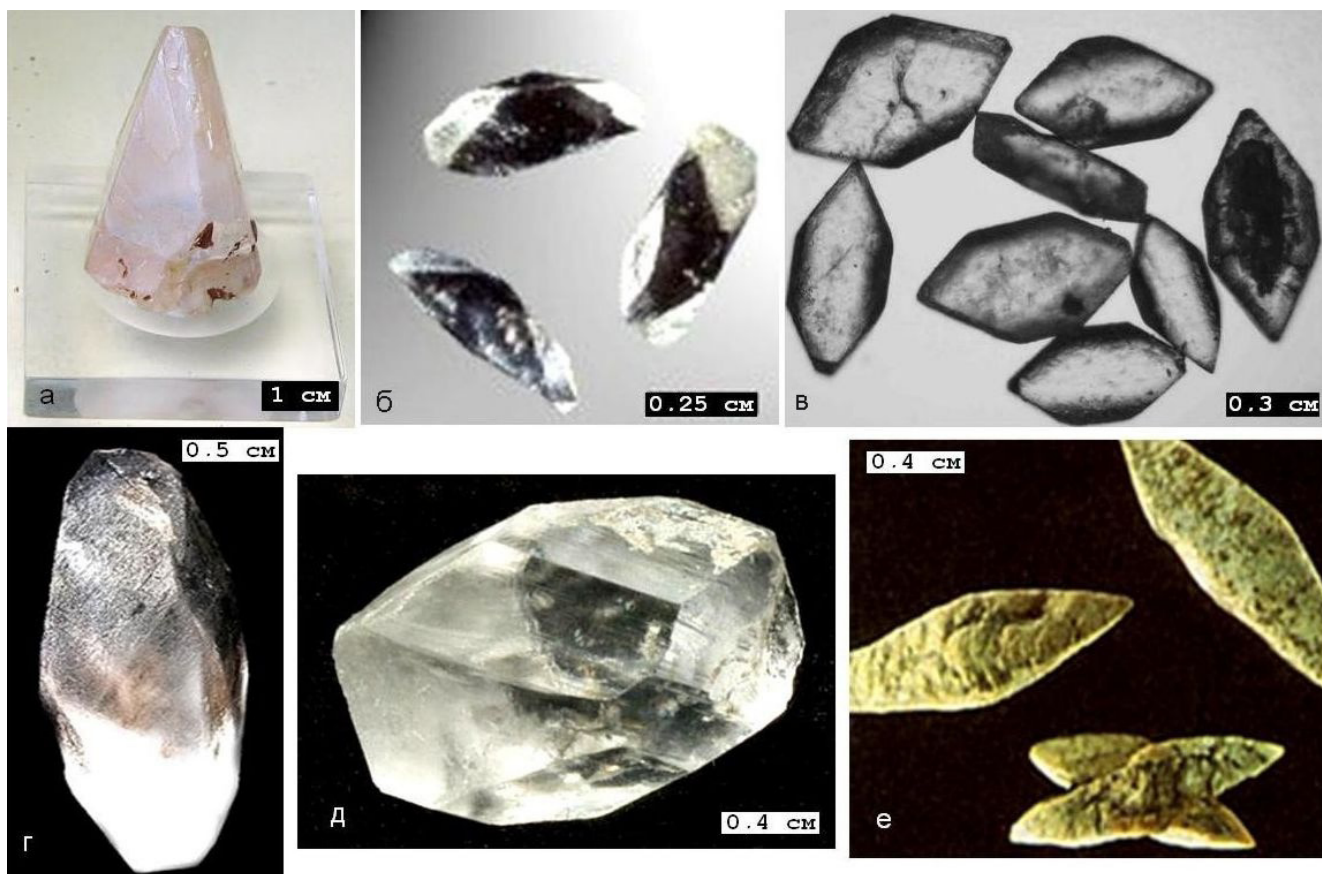


Рис. 1. Кристаллы гейлюссита.

а – образец оз. Лагунилья, Венесуэла; б – кристаллы оз. Серлз, США; в – оз. Доронинское, Россия, г, д – оз. Амбозели, Кения, е – Грин-Ривер, США.

полнен химический анализ клиновидных кристаллов, аналитик О.В. Кокшарова. За предоставленные аналитические результаты авторы выражают признательность.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассеянные кристаллы гейлюссита обнаружены в верхнем (10–15 см) илистом слое осадка. Форма кристаллов таблитчатая, клиновидная. Преобладают уплощенные двусторонне-клиновидные индивиды, со сглаженными ребрами, вытянутые по a (рис. 1в). Приблизительно в равных количествах найдены уплощенные псевдоромбоэдрические кристаллы, часто с трещинами спайности, и толстотаблитчатые субизометричные субгексагональные. Реже встречаются сростки, для которых характер-

ны нарастания и вrastания микрокристаллов. Присутствуют взаимнопараллельные и перпендикулярные прорастания клиновидных кристаллов.

Размеры кристаллов изменяются в пределах от 0.3 до 1.2 мм, преобладают индивиды по 0.7 мм. Блеск стеклянный, кристаллы бесцветные, прозрачные, реже молочно-белые. Некоторые индивиды содержат включения глинистых минералов (рис. 1в). Поверхность блестящих граней гладкая, тусклых – шероховатая, иногда с тонким налетом микрокристаллов. Спайность совершенная по $\{110\}$. Твердость 2–2.5, минерал хрупкий, бурно реагирует с соляной кислотой. На воздухе кристаллы медленно выветриваются, мутнеют.

Основу химического состава гейлюссита (табл. 1) составляют натрий, кальций, уголекислота и вода. Содержание главных компонентов, согласно данным

Таблица 1. Химический состав гейлюссита, (%).

Местонахождение	Na ₂ O	CaO	CO ₂	H ₂ O	K ₂ O	MgO	MnO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	H.o.	Сумма
оз. Табус-Нор, Монголия [21]	20.40	19.02	30.02	30.47	–	0.01	0.01	0.08	0.03	0.16	100.20
формация Грин-Ривер, Юта и Вайоминг, США [1]	20.80	19.20	29.39	29.97	–	–	–	–	–	0.50	99.86
оз. Серлз, Калифорния. США [20]	20.93	18.94	29.72	30.41	–	–	–	–	–	–	100.00
оз. Доронинское. Авторские данные	20.01	19.75	29.35	29.70	0.1	0.03	<0.001	–	–	1.86	100.8

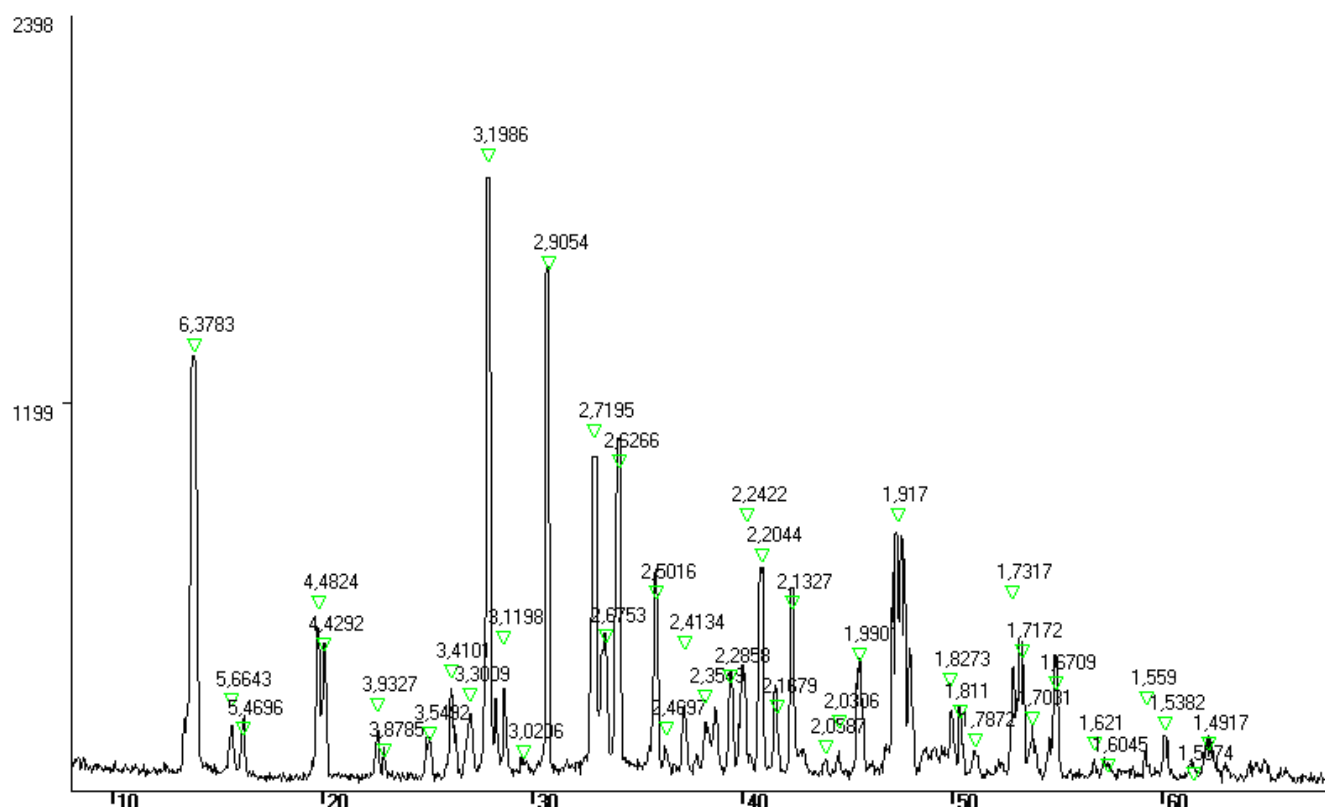


Рис. 2. Дифрактограмма смеси кристаллов гейлюссита.

табл. 1, от изученных ранее другими авторами образцов отличается незначительно. В составе минерала озера Доронинского содержится несколько больше кальция и соответственно меньше натрия и воды.

Дифрактограммы изученного гейлюссита (рис. 2) несущественно отличаются от эталонных для синте-

тического $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ [18] и природного гейлюссита формации Грин-Ривер [2]. Некоторые различия, вероятно, обусловлены ориентацией в препарате. Следовательно, исследуемый минерал практически соответствует гейлюсситу. Рефлексы 2.905, 2.204 и 1.811 заметно отличаются по своим значениям от эталонных (табл. 2), но хорошо сопоставимы с параметрами рефлексов **Fe-содержащего доломита** $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})[\text{CO}_3]_2$, который и принят нами в качестве примеси. Повышенные содержания (%) MgO – 0.07, MnO – 0.04 и FeO – 0.02 также свидетельствует о возможной примеси Fe-доломита.

Анализ дифрактограмм выделенных морфологических групп кристаллов показал, что все они также относятся к гейлюсситу. Форма клиновидных кристаллов типична для гейлюссита. На дифрактограмме (рис. 3а) четко проявляются пять его основных рефлексов $[d, \text{\AA}, (hkl)]$: 6.41 (110); 3.21 (220); 2.73 (221); 2.64 (42 $\bar{2}$) и 2.51 (42 $\bar{3}$), в разной степени выраженные для других образцов. Для индирования рефлексов использованы данные Кристаллографической и кристаллохимической базы данных для минералов и их аналогов – МИНКРИСТ [18].

Как видно из табл. 3, параметры элементарной ячейки различных образцов гейлюссита отличаются незначительно. При этом параметры ячейки клиновидных кристаллов более близки к значениям, полученным другими авторами. Значения параметров a и b синтетических кристаллов, по каким-

Таблица 2. Диагностические рефлексы порошковых рентгенограмм гейлюссита и анкерита

d/n	I
Гейлюссит [2]	
2.921	18
2.212	18
1.812	2
Гейлюссит [18]	
2.922	15
2.216	14
1.815	5.5
Образец озера Доронинское	
2.905	86
2.204	36
1.811	14
Анкерит [18]	
2.907	100
2.204	21
1.798	26
Анкерит [2]	
2.899	100
2.199	6
1.812	6

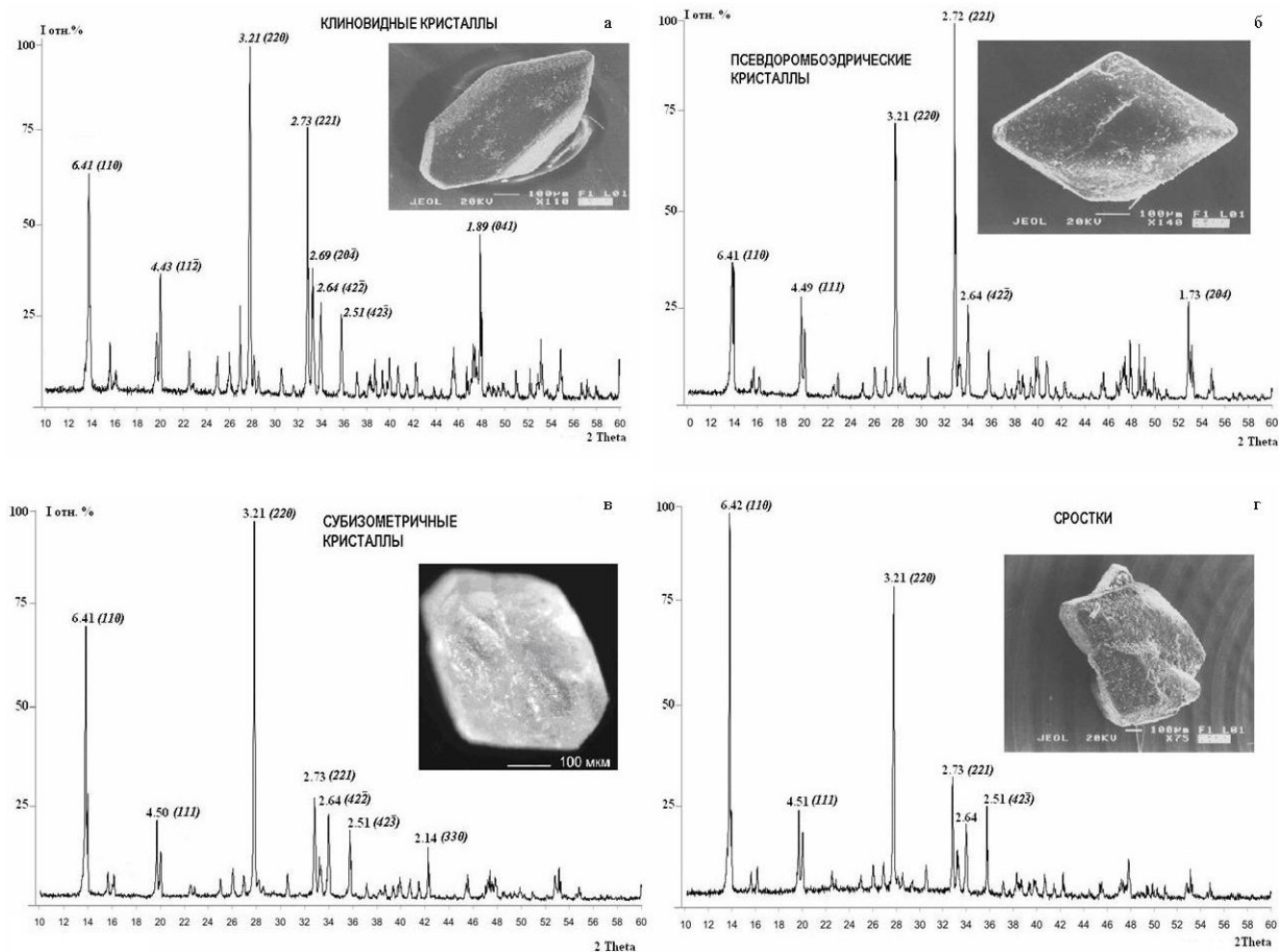


Рис. 3. Дифрактограммы кристаллов гейлуссита различного габитуса.

то причинам завышены и потому не сопоставимы.

ИК-спектры кристаллов озера Доронинское сравнивались со спектром образца из озера Серлз, штат Калифорния, США (рис. 4), приведенным в электронной базе университета Аризоны [19], и спектром гейлуссита, представленного в базе. Спектры всех морфологических групп гейлуссита оказались идентичными.

Таким образом, согласно проведенным исследованиям, кристаллы, обнаруженные в верхнем илистом слое осадка оз. Доронинское, однозначно диагностируются как гейлуссит.

Среди минералов донных отложений озера, находящихся совместно с гейлусситом, преобладают смектит-каолинит-гидрослюдастые глины, в значительно меньшем количестве содержатся обломоч-

Таблица 3. Параметры элементарной ячейки гейлуссита

Местонахождение	a	b	c	Отношение a : b : c			β	V	Источник данных
				a	b	c			
Неизвестно	—	—	—	1.4897	1	1.4441	103°33	—	[3]
Озеро Лагунилья, Венесуэла	11.57	7.77	11.20	1.4891	1	1.4414	102°00	—	[2]
Формация Грин-Ривер	11.57	7.765	11.20	1.4900	1	1.4424	102°00	—	
Синтетический	14.361	7.781	11.209	1.8456	1	1.4406	127°84	989.15	[13]
Озеро Серлз	11.589	7.779	11.207	1.4898	1	1.4407	102°00	988.24	[18]
Озеро Серлз	11.593	7.779	11.211	1.4903	1	1.4412	102°00	—	[14]
Озеро Доронинское, смешанные кристаллы	11.63	7.752	11.20	1.5003	1	1.4448	101°53	987	Авторские данные
Озеро Доронинское, клиновидные кристаллы	11.57	7.781	11.20	1.4869	1	1.4394	102°01	986.3	Авторские данные

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных.

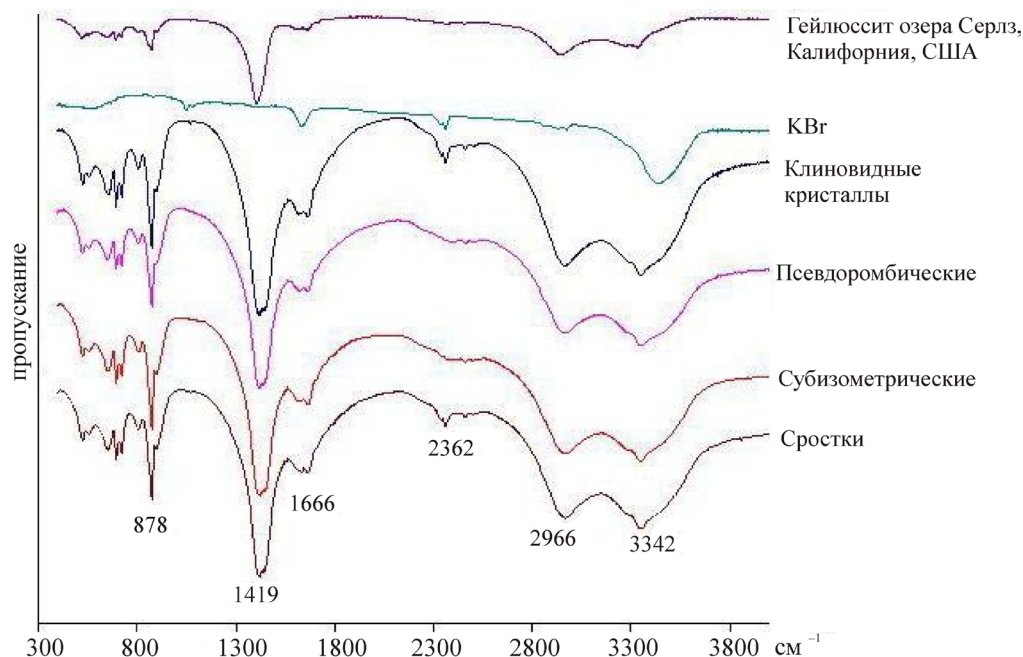


Рис. 4. ИК-спектрограммы кристаллов гейлюссита.

ные кварц, калиевые полевые шпаты и плагиоклаз. Наблюдается незначительная примесь аутигенных кальцита и анкерита. Среди продуктов выветривания гейлюссита (рис. 5) отмечается галит (NaCl), содержащий, по данным микрозондового анализа, 0,53% калия, что может свидетельствовать о присутствии некоторого количества сильвина (KCl).

Вопросы генезиса гейлюссита широко обсуждаются в научной литературе.

Н.М. Страхов считает гейлюссит типично метаморфогенным минералом, возникающим при взаимодействии вод, обогащенных кальцием, с водами содовых озер [9]. В эволюции содовых озер Н.М. Страхов выделил три стадии: кальцит-доломитовую, доломитовую и содово-гейлюсситовую.

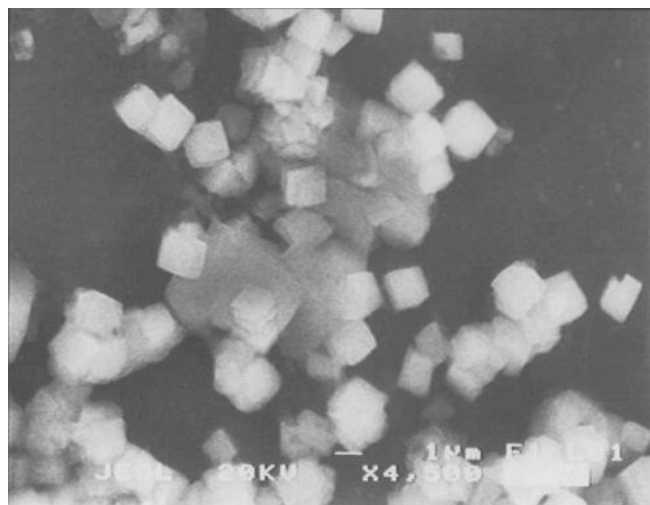


Рис. 5. Продукты выветривания гейлюссита.

“В первую стадию низкой минерализации содовой воды из карбонатных минералов в осадке накапливаются кальцит и доломит. Сода, гейлюссит, нортупит не образуются вовсе ни на одном из этапов годичного гидрохимического цикла. Во вторую, доломитовую стадию устойчивым минералом оказывается доломит; временными, связанными с отдельными моментами гидрохимического цикла, – сода, и ее двойные соединения с Ca и Mg. В третью, заключительную стадию, отвечающую высокой минерализации содовой воды, на дне устойчиво сосуществуют сода и ее двойные соли – гейлюссит и нортупит” [9]. При этом гейлюссит присутствует в твердой фазе при концентрации Na_2CO_3 от 13 до 26% [8].

По утверждению Ф.А. Алена, гейлюссит образуется в результате взаимодействия между интерстициальным раствором и осадком [7].

Согласно Ю.В. Баталину, соотношение между гейлюсситом и пиррсоном определяется реакцией: $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$. При атмосферном давлении и температурах 37.5–40°C гейлюссит и пиррсонит находятся в равновесии. С понижением солёности и температуры развивается гейлюссит, а с увеличением – пиррсонит [1].

Лабораторные исследования температурных переходов синтетического и природного гейлюссита показали их идентичность и позволили выделить три основных этапа термических преобразований. Образование пиррсонита в процессе дегидратации не установлено [16].

Формирование гейлюссит-содержащих осадков, по Н.П. Юшкину [11], происходит в аридных условиях, в относительно неглубоком и хорошо прогретом замкнутом бассейне озёрного типа повышенной

солености и щелочности. Гейлюссит кристаллизуется в донном грязеподобном карбонатном осадке, высокая щелочность которого поддерживается поверхностным испарением. Длительное сохранение натрий-кальциевого пересыщения, вязкая кристаллизационная среда, обеспечивающая равномерный подток к гейлюсситовому зародышу питающего вещества, стимулирует устойчивый рост крупных кристаллов. Поле устойчивости гейлюссита, принятое Н.П. Юшкиным, находится в пределах температур 13–39°C и содержаний Na_2CO_3 – 14–30 г/л.

На основании установленного факта нахождения кристаллов гейлюссита в клетках цианобактериальных матов оз. Моно, США, М.Д. Томас и Дж.Д. Фармер выдвинули тезис о возможном микробиальном контроле его осаждения [17].

По нашим представлениям, необходимым условием образования гейлюссита в Доронинском содовом озере является смещение карбонат-гидрокарбонатного равновесия в сторону увеличения доли гидрокарбонат-иона вследствие снижения общей минерализации его вод. Непосредственной причиной выпадения в осадок двойной соли, подобной гейлюсситу, является сезонное повышение минерализации подледной воды в связи с переходом части ее в фазу льда, как правило, обедненной солями.

Обращает на себя внимание, что образование гейлюссита озера Доронинское характеризуется меньшими значениями общей минерализации (от 19–29 г/л летом до 30–32 г/л зимой), при этом концентрация карбонатов натрия даже в зимний период не превышает 6% [5]. Температурные границы полей устойчивости гейлюссита Доронинского содового озера также отличаются от литературных. В придонных слоях температура вод даже в летний период не поднимается выше 7°C, а с октября по апрель опускается ниже 0°C, изменяясь в пределах от –0.01 до –1.3°C [6]. В летний период гейлюссит в озере не обнаружен.

Это указывает на принципиально иную картину образования минерала, в литературе до сих пор не описанную. В данном случае, гейлюссит является продуктом криоминералогенеза. Ведущим фактором в процессе его образования является падение температуры ниже 0°C, что приводит к снижению порогового значения концентрации Na_2CO_3 , необходимой для начала кристаллизации минерала. В пользу этого говорит приуроченность образования гейлюссита к холодному сезону года, длящемуся с октября по апрель включительно. Определенную роль в процессе образования гейлюссита, вероятно, играют и криопэги – отрицательно-температурные воды, также образующиеся в зимний период [6]. Описанные формы кристаллов гейлюссита являются, вероятно, типоморфными для условий криогенного минералообразования.

Тесный парагенезис гейлюссита, нахколита и глинистых отложений оз. Серлз отражает, по мнению

У. Фошега, периоды похолодания климата и повышения обводненности водоема [15]. В содовых озерах Китая он также маркирует периоды похолодания климата [12]. В формации Грин-Ривер его находки приурочены к битуминозным сланцам, маркирующим периоды обводнения палеоводоема [1, 4]. Таким образом, гейлюссит с полным основанием может рассматриваться в качестве минерала-индикатора, маркирующего определенные геохимические и термобарические параметры континентально-озерных содогенерирующих систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В верхнем илистом слое осадков озера Доронинское обнаружен гейлюссит $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, являющийся аутигенным озерным образованием. Кристаллогидрат двойной соли типа гейлюссита образуется в зимнее время вследствие возрастания концентрации карбонатных солей в подледной воде и понижения температуры ниже 0°C. Таким образом, гейлюссит Доронинского содового озера является продуктом криоминералогенеза и маркирует определенный этап эволюции содовых озер сухостепных мерзлотных ландшафтов в условиях резко континентального климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баталин Ю.В., Касимов Б.С., Станкевич Е.Ф. Месторождения природной соды и условия их образования. М.: Недра, 1973. 206 с.
2. Васильев Е.К., Васильева Н.П. Рентгенографический определитель карбонатов. Новосибирск: Наука, 1980. 142 с.
3. Дэна Дж.Д., Дэна Э.С., Пэлач Ч. и др. Система минералогии: галоиды, карбонаты, нитраты, иодаты, бораты, сульфаты. М.: Изд-во ИЛ, 1953. 774 с.
4. Еремин Н.И. Неметаллические полезные ископаемые: учебное пособие. М.: МГУ, ИКЦ Академкнига, 2007. 459 с.
5. Замана Л.В., Борзенко С.В. Гидрогеохимия и термодинамическая оценка минеральных равновесий водной толщи содового озера Доронинское // Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и экзогенных процессах. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2007. С. 151–153
6. Иванов А.В., Трофимова Л.Н. Гидрохимия озер Центрального Забайкалья. М.: Наука, 1982. 140 с.
7. Обстановки осадконакопления и фации. Т. 1. / Ред. Х.Г. Рединг. М.: Мир, 1990. 352 с.
8. Страхов Н.М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 536 с.
9. Страхов Н.М., Бродская Н.Г., Князева Л.М. и др. Образование осадков в современных водое-

- мах. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 792 с.
10. Хомяков А.П. Минералогия ультраабзиситовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 196 с.
 11. Юшкин Н.П. Кальцитовые псевдоморфозы по кристаллам гейлуссита // Записки ВМО. 1990. Вып. 2. С. 75–81.
 12. Dapeng S. Soda lakes and origin of their trona deposits on the Nei Mongol plateau of China / Chin. J. Oceanol. Limnol. V. 5, № 4. P. 351–362.
 13. Dickens B, Brown W.E. The crystal structures of $\text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})$, synthetic gaylussite, and $\text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$, synthetic pirssonite // Inorganic Chemistry. 1969. № 8. P. 2093–2103.
 14. Fang J.H., Robinson P.D., Cerven J.F., Wolf L.A. Computer program for refining cell parameters from weissenberg photographs and its application to indexing the powder pattern of gaylussite / Amer. Mineral. 1967. V. 52. P. 1570–1572.
 15. Foshag W.F. Sodium bicarbonate (nahcolite) from Searles lake. California // Amer. Mineral. 1940. V. 25. P. 769–778.
 16. Johnson D.R., Robb W.A. Gaylussite: Thermal Properties by Simultaneous Thermal Analysis // Amer. Mineral. 1973. V. 58. P. 778–784.
 17. Thomas M.D., Farmer J.D. Microbial control of gaylussite precipitation in Mono lake. Geol. Soc. Amer. Abstracts with Programs. V. 37, № 7. P. 123.
 18. <http://database.iem.ac.ru/mincryst/>
 19. <http://rruff.geo.arizona.edu>
 20. <http://webmineral.com./data/Gaylussite.shtml>, 2007
 21. Mineral Data Publishing, version 1. 2001–2005.

Рецензент Н.П. Юшкин

The gaylussite from Doroninskoe soda lake, East Transbaikalia, Russia

G. A. Yurgenson*, N. V. Serebrennikova**, N. E. Kotova***

*Institute of nature resources, ecology and cryology, Siberian Branch of RAS

**Transbaikal State Humanitarian Pedagogic University

***Institute of Geology, Komi Science Centre, Urals Branch of RAS

In the upper oozy layer of precipitation of Doroninskoe soda lake (East Transbaikalia, Russia) is established gaylussite characterised by crystals various habitus, the size 0.3–1.2 mm. Gaylussite appears during winter time owing to increase of concentration of carbonates-ions in sub-glacial water and dropping of temperature below 0°C. Thus, gaylussite of Doroninskoe soda lake is the product criomineralogenesis and marks out the certain stage of evolution of soda lakes aridity-steppes frozen landscapes under conditions of sharply continental climate with the long winter period.

Key words: *gaylussite, soda lake, Doroninskoe lake, Transbaikalia.*