

УДК 549.742:552.143

DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-6-45-54

АУТИГЕННОЕ КАРБОНАТООБРАЗОВАНИЕ В МАЛЫХ ОЗЕРНЫХ БАССЕЙНАХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

AUTHIGENIC CARBONATE FORMATION IN SHALLOW LACUSTRINE BASINS OF WESTERN TRANSBAIKALIA



П. А. Солотчин,
Институт геологии и
минералогии
им. В. С. Соболева СО РАН,
г. Новосибирск
paul@igm.nsc.ru

P. Solotchin,
V.S. Sobolev Institute of
Geology and Mineralogy
SB RAS, Novosibirsk



Э. П. Солотчина,
Институт геологии и
минералогии
им. В. С. Соболева СО РАН,
г. Новосибирск
solot@igm.nsc.ru

E. Solotchina,
V.S. Sobolev Institute of
Geology and Mineralogy
SB RAS, Novosibirsk



Е. В. Скляров,
Институт земной коры
СО РАН, г. Иркутск
skl@crust.irk.ru

E. Sklyarov,
Institute of the Earth's Crust,
SB RAS, Irkutsk



В. Д. Страховенко,
Институт геологии и
минералогии
им. В. С. Соболева
СО РАН, г. Новосибирск
strahova@igm.nsc.ru

V. Strakhovenko,
V.S. Sobolev Institute of
Geology and Mineralogy
SB RAS, Novosibirsk



А. Н. Жданова,
Институт геологии и
минералогии
им. В. С. Соболева СО РАН,
г. Новосибирск
zhdanova@igm.nsc.ru

A. Zhdanova,
V.S. Sobolev Institute of
Geology and Mineralogy
SB RAS, Novosibirsk



И. В. Даниленко,
Институт геологии и
минералогии
им. В. С. Соболева
СО РАН, г. Новосибирск
iv_danilenko@igm.nsc.ru

I. Danilenko,
V.S. Sobolev Institute of
Geology and Mineralogy
SB RAS, Novosibirsk

Отмечено, что осадки озер, расположенных в замкнутых бессточных котловинах внутриконтинентальных районов, представляют собой естественные архивы изменений региональной природной среды и климата. Рассмотрены процессы осадконакопления в двух соседних озерах различной минерализации (оз. Сульфатное и оз. Круглое), расположенных в пределах Гусинозёрской депрессии на территории Западного Забайкалья. Дан сравнительный анализ аутигенных компонентов, определены их минералого-кристаллохимические особенности. Использованы следующие методы исследования: рентгеновская дифрактометрия (XRD), ИК-спектроскопия, электронная микроскопия, лазерная гранулометрия, элементный анализ. Показано, что в составе как современных, так и более древних донных отложений малых минеральных озер Забайкалья могут осаждаться аутигенные карбонаты, формируя своеобразные терригенно-карбонатные разрезы. Установлено, что в осадках оз. Сульфатное карбонаты составляют до 25 % от минерального состава, а в осадках оз. Круглое — первые проценты в верхней части разреза. Данное различие обусловлено различным гидрогеологическим режимом. Математическим моделированием сложных XRD-спектров в ансамбле хемогенных карбонатных минералов озерных осадков установлены магнезиальные кальциты разной степени магнезиальности и Ca-избыточные доломиты. Рассматриваются существующие в настоящее время взгляды на структуру низкотемпературных карбонатов кальцит-доломитового ряда и условия, при которых происходит их формирование в озерных осадках. Показано, что количество и соотношение фаз с различной магнезиальностью определяются величиной отношения Mg/Ca, общей щелочностью вод, ее соленостью и другими параметрами, меняющимися в соответствии с климатическими циклами и колебаниями уровня озера

Ключевые слова: минералообразование; карбонаты; донные отложения; малые озера; XRD анализ; ИК-спектроскопия; моделирование; голоцен; климат; Западное Забайкалье

Sediments of intracontinental closed lakes are unique natural archives of the regional environment and climate changes. The aim of this work is to study the processes of sedimentation in two neighboring lakes of different mineralization (Lake Sulfatnoe and Lake Krugloe) located within the Gusinoozerskaya depression in Western Transbaikalia, a comparative analysis of authigenic components, determination of their mineralogical and crystallochemical features. Sediment samples have been analyzed by several methods: powder X-ray diffractometry (XRD), IR spectroscopy, electron microscopy, laser diffraction particle size analysis, elemental analysis, etc. It is shown that the formation of authigenic carbonates occurs in shallow mineral lakes of Transbaikalia. It was established that in the sediments of the Lake Sulfatnoe carbonates make up to 25 % of the mineral composition, and in the sediments of the Lake Krugloe — the first percent at the top of the cut. This difference is due to different hydrogeological regime of lakes and chemical composition of water. By the mathematical modeling of complex XRD patterns of lacustrine sediments, Mg-calcites with different Mg contents and excess-Ca dolomites have been determined in the assemblage of authigenic carbonate minerals. The existing viewpoints on the structure of low-temperature carbonates of the calcite-dolomite series and their formation conditions in lacustrine sediments are considered. It is established that the number and proportion of phases with different Mg contents are determined by the Mg/Ca ratio, salinity, total alkalinity and other chemical parameters of water controlled by climate and lake level changes

Key words: mineral formation; carbonates; bottom sediments; shallow lakes; XRD analysis; IR spectroscopy; modeling; Holocene; climate; Western Transbaikalia

Введение. Байкальский регион характеризуется значительным разнообразием физико-географических условий, ландшафтов и фаунильных обстановок, в которых происходят процессы современного минералообразования. В частности, на территории региона широко распространены мелководные озера различной минерализации и с разным химическим составом вод. Среди них встречаются как пресные, так и солоноватоводные и соленые бассейны. На протяжении голоцена вплоть до настоящего

времени в озерах с повышенной минерализацией происходят интенсивные процессы аутигенного минералообразования [5; 8]. Донные осадки этих озер не претерпели значительных постседиментационных преобразований, сохранив первоначальный облик и минеральный состав, что дает возможность детально изучить динамику процессов озерного аутигенеза за последние несколько тысяч лет. Важнейшим фактором, определяющим минеральный парагенезис донных отложений, является химизм

озерных вод, который в свою очередь во многом контролируется ландшафтно-климатическими и геолого-geoхимическими условиями.

Целью данной работы является изучение процессов осадконакопления в двух соседних озерах различной минерализации (оз. Сульфатное и оз. Круглое), расположенных на территории Гусиноозёрской котловины в Западном Забайкалье, сравнительный анализ аутигенных компонентов, определение их минералого-кристаллохимических особенностей. Подобные исследования позволяют не только установить закономерности эволюции природной среды в регионе, но и расширяют наши представления о процессах низкотемпературного минералообразования на континентах.

Геологическое строение региона и объекты исследований. В геологическом строении Забайкалья выделяются структуры позднемезозойского этапа, представленные десятками впадин, которые образуют серию протяженных депрессионных зон вдоль крупных разломов. Эти межгорные депрессии (длиной от десятков до первых сотен километров и шириной до 20 км и более) получили название впадин «забайкальского» типа. Одна из этих впадин — Гусиноозёрская — представляет собой линейную структуру северо-восточного простирания, ограниченную с обеих сторон горными массивами: с северо-запада Хамбинским хребтом, а с юго-востока — Моностойским хребтом (рис. 1).

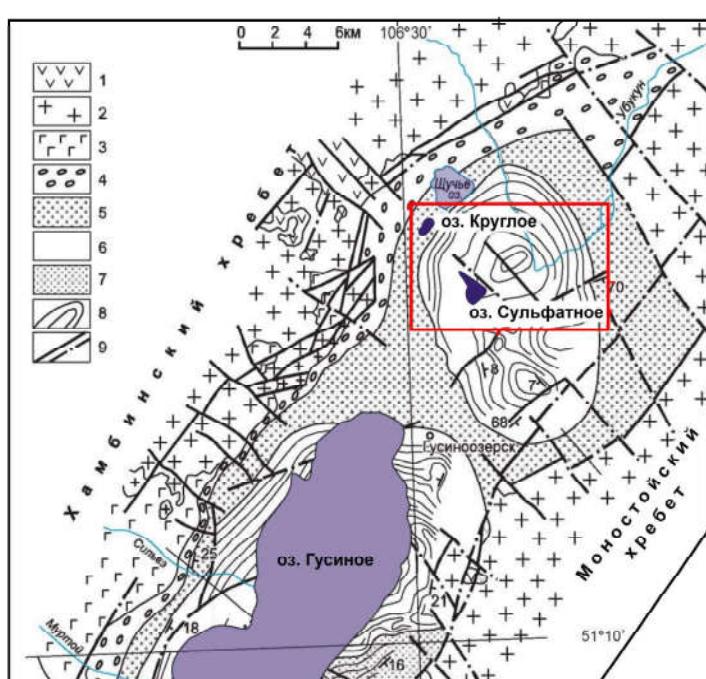


Рис. 1. Геолого-структурная схема Гусиноозерской впадины:

Фундамент впадины: 1 – диориты и габбродиориты; 2 – граниты; 3 – трахибазальты. Раннемеловые пресноводно-континентальные отложения: 4 – базальные грубообломочные отложения; 5 – песчано-алевритовые отложения; 6, 7 – угленосно-терригенные отложения; 8 – выходы угольных пластов; 9 – разломы (прослеженные и предполагаемые) [1] / Fig. 1. Geological and structural map of the Gusinoozersky depression: basement of depression: 1 – diorites and gabbrodiorites; 2 – granites; 3 – trachybasalts. Early Cretaceous freshwater continental sediments: 4 – basal coarse sediments; 5 – sand-siltstones; 6, 7 – coal-terrigenous sediments; 8 – coal outcrops; 9 – faults (traced and assumed) [1]

Длина впадины в указанных границах достигает 75 км, а ширина – в среднем 15 км. Центральная часть депрессии площадью около 160 км² занята акваторией оз. Гусиного, а на северо-востоке располагаются озера Сульфатное и Круглое. Континентальная толща, выполняющая осадочный бассейн, представлена раннемеловыми конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами и аргиллитами с пластами углей, которые залегают на палеозойском фундаменте [1]. Как правило, мезозойские породы перекрыты рыхлыми осадками неогенового и четвертичного возраста. К верхним горизонтам нижнемеловых отложений приурочено месторождение буровых углей, которое активно разрабатывалось в 1930–1990-х гг. Для подземных вод мезозойских отложений, подстилающих озерные котловины, характерен рост минерализации (0,5…3,5 г/л) с увеличением глубин [2].

Климат региона резко континентальный с большими годовыми, суточными колебаниями температуры воздуха, неравномерным распределением атмосферных осадков по сезонам года и высокой сухостью воздуха. Зимы холодные и продолжительные, лето, напротив, короткое, теплое, иногда жаркое. Количество атмосферных осадков 200…300 мм/год.

Объекты исследований – озера Сульфатное и Круглое, расположенные на территории Загустайской низменности у под-

ножия Хамбинского хребта (рис. 1). В настоящее время оз. Сульфатное бессточное, находится среди увалов, поднимающихся над дном озера на 20…30 м, и получает водно-солевое питание преимущественно за счет атмосферных осадков, приносящих с собой соли, выщелоченные из окружающих почв и горных пород. Определенную роль в питании играют подземные воды глубоких горизонтов. Возможно, впадина оз. Сульфатное являлась заливом большого водоема, предшествовавшего современному Гусиному озеру. Площадь водной поверхности меняется от 9 до 12 км², средняя глубина ~1,7 м, максимальная – 7…8 м. Минерализация вод в разные годы колеблется в интервале 5,2…7,7 г/л, величина pH – 8,9…9,2, вода хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатная натриевая.

Озеро Круглое расположено северо-западнее оз. Сульфатное в пределах Загустайской низменности. С южной стороны из озера вытекает ручей естественного происхождения. Водное питание оз. Круглое получает за счет атмосферных осадков, подземных вод и таяния снежного покрова на юго-восточном склоне Хамбинского хребта, откуда в бассейн сносится большое количество терригенного материала. Площадь водной поверхности оз. Круглое ~10 км², средняя глубина 5 м, минерализация <0,2 г/л, pH – 8,8. Современный ионно-солевой состав обоих озер приведен в таблице.

Современный ионно-солевой состав вод изученных озер / Modern ion-salt composition of the waters of studied lakes

Озеро / Lake	M, г/л / M, g/L	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
			мг/л / mg/L						
Круглое / Krugloe	<0,2	8,8	139,6	12,0	4,3	31	10	2.5	38
Сульфатное / Sulfatnoe	5,2–7,7	9,2	1650,4	4936,5	2424,8	49	408	81	4000

Как видно из таблицы, несмотря на близкое расположение озер, их воды имеют существенно различающийся ионный состав. Это обстоятельство мы связываем с разным составом пород, подстилающих и

обрамляющих озерные котловины. Высокое содержание SO₄²⁻ в водах оз. Сульфатное обусловлено разгрузкой подземных вод из угольных пластов, подстилающих котловину озера – обогащение серой происходит

в основном за счет окисления пирита FeS_2 . Поступление в воды серы, а также кальция происходит, кроме того, за счет разложения гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ из гипсовых прослоев в угольных пластах. В котловине оз. Круглое под слоем молодых осадков залегают нижненемеловые песчаники, поэтому химизм вод озера определяется составом вод, поступающих с Хамбинского хребта, в виде атмосферных осадков, а также из глубоких подземных горизонтов.

Методы исследования. Литолого-минералогическое изучение образцов проводилось комплексом методов, включающим рентгеновскую дифрактометрию (XRD), ИК-спектроскопию, лазерную гранулометрию, электронную микроскопию и рентгенофлуоресцентный анализ. Рентгеновские исследования выполнены на дифрактометре ARL X'TRA (излучение Cu K_α). Для фазового анализа съемка проводилась в интервале $2\ldots65^\circ$ (2Θ) с шагом $0,05^\circ$ и временем сканирования в точке 3 с. Для моделирования XRD профилей карбонатной составляющей осадка съемка выполнена в интервале $29\ldots32^\circ$ (2Θ) с шагом $0,05^\circ$ и временем сканирования в точке 15 с. Метод ИК-спектроскопии применялся для анализа кристаллохимических особенностей карбонатов и определения их суммарного содержания в пробах. ИК-спектры сняты на спектрометре VERTEX 70 FT I. Подготовка проб выполнялась методом прессования таблеток с КВр. Гранулометрический анализ терригенного компонента проводился на лазерном анализаторе размера частиц Analysette 22 MicroTec с предварительным растворением карбонатов и удалением ОВ. Химический состав образцов определялся на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL-9900-XP. Ряд образцов исследовался в сканирующем электронном микроскопе LEO1430VP с приставкой EDX OXFORD. Радиоуглеродное датирование с использованием ускорительной масс-спектрометрии выполнено в Институте геологии и минералогии университета г. Кельн, Германия. Радиоуглеродный возраст приведен в соответствие с календарным возрастом. Датирование верхнего слоя осадков выполнено

гамма-спектрометрией по ^{210}Pb в Институте геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск.

Результаты исследования и их обсуждение. Осадки оз. Сульфатное охарактеризованы керном до глубины 57,1 см, возраст вскрытой толщи превышает 6 700 календарных лет. Разрез сложен чередующимися прослойками тонкозернистых (алеврит, пелит) и грубозернистых (песок, гравий) осадков. Верхние 0...13 см, сложенные преимущественно черными и темно-серыми алевритами, включают створки диатомей, растительный детрит, раковины моллюсков. В минеральном составе осадков доминирует терригенная составляющая: кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, присутствует малая примесь слюды и каолинита. Аутигенные минералы представлены карбонатами, содержание которых не превышает 30 % от минерального состава, эпизодически встречается гипс. Карбонаты относятся к кальцит-доломитовому ряду и сложены Mg-кальцитами и Ca-избыточными доломитами, диагностика которых проводилась методом XRD по наиболее интенсивным отражениям ($hkl = 104$) в области углов $29,0\ldots31,5^\circ$ 2Θ CuKa. Мерой магнезиальности этих карбонатов служат значения межплоскостных расстояний d_{104} , располагающиеся в интервале от 3,036 Å (кальцит) до 2,887 Å (стехиометрический доломит) [4]. На рентгенограммах отражения карбонатов формируются в виде двух широких пиков переменной интенсивности. Первый максимум слагают низкомагнезиальные (содержание MgCO_3 в структуре < 4...5 мол. %) и промежуточные (5...18 мол. % MgCO_3) кальциты, второй – высокомагнезиальные кальциты (30...43 мол. % MgCO_3) и Ca-избыточные доломиты, в которых избыток CaCO_3 относительно стехиометрического доломита может достигать 7 мол. % (рис. 2). Для выявления всего спектра присутствующих в образцах Mg-кальцитов ранее нами предложено использовать разложение их сложных XRD профилей на индивидуальные пики функцией Пирсона VII. Модельный подход позволил установить интеграль-

ную интенсивность и положение пиков, количественные соотношения карбонатов (рис. 2). Определение содержания $MgCO_3$ в выделенных карбонатных фазах проводилось по калибровочным графикам зависимости величины d_{104} от содержания мол. % $MgCO_3$ [4; 7]. При низких содержаниях магния ($MgCO_3 < 18$ мол. %) Mg-кальциты являются истинными твердыми растворами $MgCO_3$ в $CaCO_3$ [9]. Повышение кон-

центрации Mg приводит к формированию «доменных» кристаллов нанометрической размерности, представляющих собой смешанослойные образования, состоящие из последовательности кальцитовых и магнезитовых слоев, чередующихся с разной степенью порядка, вплоть до составов Ca-избыточных доломитов, что обеспечивает устойчивость Mg-кальцитов в поверхностных условиях [10].

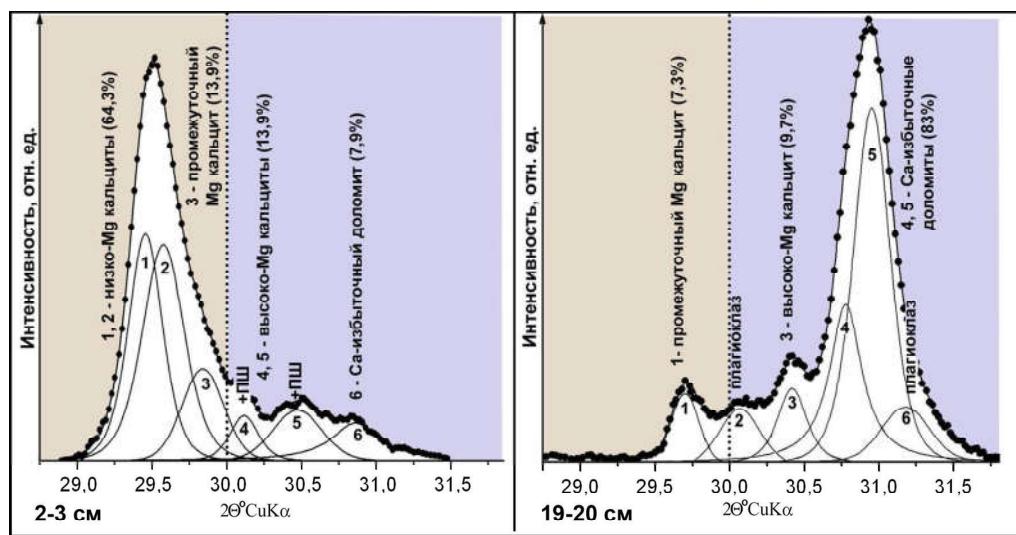


Рис. 2. Результаты моделирования экспериментальных XRD профилей карбонатов осадков оз. Сульфатное (очевидно хорошее соответствие суммарных модельных профилей (сплошная линия) с экспериментальными (точки). Дифракционные пики индивидуальных фаз описаны функцией Пирсона VII. Общее содержание карбонатов в образце принимается за 100 %) /

Fig. 2. Modeling of XRD profiles of carbonates from Lake Sulfatnoe sediment samples (note good fit between modeled profiles (solid line) and experimental results (black dots). Diffraction peaks of individual phases are described by Pearson function VII. Total carbonate contents is 100 %)

Сложная структура Ca-избыточных доломитов также описывается как смешанослойная, в которой слои нестехиометрического доломита чередуются со слоями стехиометрического доломита и кальцитоподобными слоями в различных пропорциях и с разной степенью порядка [6]. Присутствующие в осадках карбонаты обладают низкой структурной упорядоченностью, что подтверждается электронно-микроскопическими снимками, на которых они представлены в виде облачной формы сгустков пелитоморфных плохо окристаллизованных индивидов, вместе с тем на энергодисперсионных спектрах этих агрега-

татов присутствуют явно выраженные линии кальция, магния, углерода и кислорода.

Разрез донных отложений оз. Круглое был вскрыт до глубины 1 м, осадки представляют собой сапропелевый ил, чернеющий на воздухе, желебобразной консистенции. В образцах донных отложений гольцовового разреза оз. Круглое преобладают терригенные минералы: кварц и плагиоклаз, в подчиненном количестве присутствуют КПШ, сполда, хлорит, гипс, каолинит и пирит. В интервале 15...30° 2Θ Cu Kα наблюдается большое гало, свидетельствующее о присутствии в образцах рентгеноаморфного компонента, представленного в основном са-

пропелем. Карбонаты обнаружены только в верхней части разреза (~ 0...15 см). Результаты моделирования экспериментальных XRD профилей карбонатов функцией Пирсона VII показали, что карбонаты формируют один широкий максимум, который раскладывается на три пика: 1) кальцит; 2) низкомагнезиальный кальцит; 3) промежуточный магнезиальный кальцит.

Данные ИК-спектроскопии донных осадков оз. Сульфатное подтверждают наличие в образцах нескольких фаз Ca-Mg карбонатов, которые характеризуются в средней области спектра тремя основными полосами поглощения CO_3^{2-} иона — v_3 , v_2 и v_4 [3]. Для конечных членов — кальцита и доломита — максимумы этих полос находятся

вблизи частот 1430, 873 и 713 cm^{-1} и 1440, 882 и 729 cm^{-1} соответственно. Наиболее чувствительна к замещению $\text{Ca} \leftrightarrow \text{Mg}$ относительно узкая полоса v_4 , однако в данном случае мы не можем воспользоваться этой полосой из-за наложения на нее полос поглощения плагиоклаза (рис. 3). Полосы v_2 и v_3 не столь чувствительны к замещению $\text{Ca} \leftrightarrow \text{Mg}$, тем не менее, как отмечалось ранее, полоса v_2 чутко реагирует на изменения в составе карбонатов. Она расщепляется на отдельные компоненты с максимумами в интервале 873...882 cm^{-1} (рис. 3, врезка). Соотношение интенсивностей компонентов полосы v_2 служит показателем относительного содержания в образце той или иной карбонатной фазы.

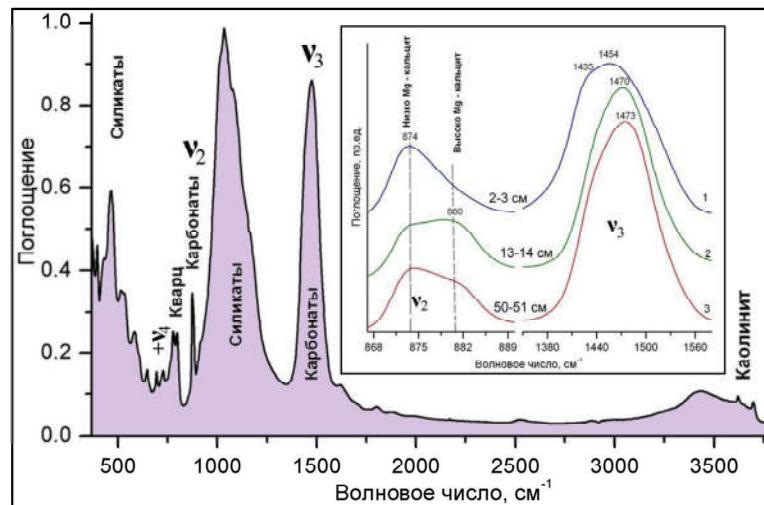


Рис. 3. Обзорный ИК-спектр одного из образцов донных осадков оз. Сульфатное (гл. 50...51 см) (отмечены полосы поглощения v_4 , v_2 и v_3 карбонат-ионов. На врезке конфигурация полос поглощения v_2 и v_3 CO_3^{2-} -ионов хемогенных карбонатных минералов кальцит-доломитового ряда в отдельных образцах) / Fig. 3. General IR spectrum of a sample of bottom sediments from Lake Sulfatnoe (50...51 cm depth) (the absorption bands of carbonate ions are marked as v_4 , v_2 , and v_3 . The inset shows the configuration of absorption bands (v_2 and v_3) of CO_3^{2-} ions in chemogenic carbonate minerals of the calcite-dolomite series in individual samples)

Осаждение тех или иных карбонатов определяется рядом факторов: $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ отношением в воде, её карбонатной щелочностью (концентрации HCO_3^- , CO_3^{2-} и H_2CO_3), соленостью, величиной pH, температурой, которые контролируются водным балансом, зависящим от климатических условий. При исследовании донных осадков минеральных озер Байкальского региона нами показано, что аридизация климата,

сопровождающаяся падением уровня вод, приводит к осаждению серии высокомагнезиальных кальцитов и Ca-доломитов, в то время как теплый и влажный климат способствует формированию низкомагнезиальных и промежуточных Mg-кальцитов. По составу аутигенных карбонатных фаз в разрезе оз. Сульфатное можно выделить три интервала. Первый (53...57,1 см) характеризуется присутствием в осадках не-

большого количества низко-Mg кальцитов и приходится на начало атлантического периода голоцен, в целом теплого и влажного. В отложениях второго интервала (13...53 см) доминируют высоко-Mg кальциты и Ca-доломиты, что указывает на аридизацию климата (рис. 2, обр. 19...20 см). Об этом свидетельствует и присутствие в разрезе гипса. Для третьего интервала (0...13 см), возраст нижней границы которого составляет 160 лет, вновь характерно преимущественное осаждение низко-Mg кальцита и промежуточного Mg кальцита (рис. 2, обр. 2...3 см), являющееся показателем обводнения озёрной котловины и смягчения климата.

Заключение. Проведенные комплексные исследования, включающие XRD анализ, ИК-спектроскопию, электронную микроскопию, элементный анализ и др., показали, что в составе как современных, так и более ранних донных отложений малых озер Забайкалья осаждаются аутигенные карбонаты, формируя своеобразные терригенно-карбонатные разрезы. В осадках солёного оз. Сульфатное карбонаты составляют до 25 % от минерального состава, а в осадках ультрапресного оз. Круглое — пер-

вые проценты в верхней части разреза. Различия в геохимической специфике озерных вод объясняются разным составом пород, подстилающих и обрамляющих озерные котловины. На основе метода математического моделирования XRD профилей показано, что аутигенные карбонаты представлены Mg-кальцитами разной степени магнезиальности и Ca-избыточными доломитами. Сравнение разрезов озерных осадков между собой показало, что в обоих разрезах на глубине >20...22 см наблюдается отсутствие низкомагнезиального кальцита (кроме маломощного базального прослоя в оз. Сульфатное), который накапливается в верхней части кернов. Вниз по разрезу в отложениях оз. Сульфатное выявлен высокомагнезиальный кальцит и Ca-избыточный доломит, а в оз. Круглое карбонаты вообще отсутствуют (преобладает сапропель). Количество и соотношение карбонатных фаз в осадках определяются химизмом озерных вод (Mg^{2+}/Ca^{2+} отношением, карбонатной щелочностью, соленостью, величиной pH и другими параметрами), меняющихся в соответствии с климатическими циклами и колебаниями уровня озера.

Список литературы

1. Булнаев К. Б. Формирование впадин «забайкальского» типа // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25, № 1. С. 18–30.
2. Дзюба А. А., Тулохонов А. К., Абидуева Т. И., Гребнева П. И. Распространение и химизм соленых озер Прибайкалья и Забайкалья // География и природные ресурсы. 1997. № 4. С. 65–71.
3. Dauphin Y. Infrared spectra and elemental composition in recent biogenic calcites: relationships between the ν_4 band wavelength and Sr and Mg concentrations // Applied Spectroscopy. 1999. Vol. 53. P. 184–190.
4. Deelman J. C. Low-Temperature formation of dolomite and magnesite [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.jcdeelman.demon.nl/dolomite/bookprospectus.html> (дата обращения: 09.03.2018).
5. Deocampo D. M. The geochemistry of continental carbonates // Developments in Sedimentology. Vol. 62. P. 1–59.
6. Drits V. A., McCarty D. K., Sakharov B., Milliken K. L. New insight into structural and compositional variability in some ancient excess-Ca dolomite // Canadian Mineralogist. 2005. Vol. 43. P. 1255–1290.
7. Goldsmith J. R., Graf D. L. Relation between lattice constants and composition of the Ca-Mg carbonates // American Mineralogist. 1958. Vol. 43. P. 84–101.
8. Last W. M., Ginn F. M. Saline systems of the Great Plains of western Canada: an overview of the limnogeology and paleolimnology // Saline systems. 2005. Vol. 1. P. 10–17.
9. Mackenzie F. T., Bischoff W. D., Bishop F. C., Loijens M., Schoonmaker J., Wollast R. Magnesian calcites: low-temperature occurrence, solubility and solid-solution behavior // Mineralogical Society of America. 1983. Vol. 11. P. 97–144.
10. Navrotsky A., Capobianco C. Enthalpies of formation of dolomite and of magnesian calcites // American Mineralogist. 1987. Vol. 72. P. 782–787.

References

1. Bulnaev K. B. *Tihookeanskaya geologiya* (Russian Journal of Pacific Geology), 2006, vol. 25, no. 1, pp. 18–30.
2. Dzyuba A. A., Tulokhonov A. K., Abidueva T. I., Grebneva P. I. *Geografiya i prirodnye resursy* (Geography and Natural Resources), 1997, no. 4, pp. 65–71.
3. Dauphin Y. *Applied Spectroscopy* (Applied Spectroscopy), 1999, vol. 53, no. 2, pp. 184–190.
4. Deelman J. C. *Low-Temperature Formation of Dolomite and Magnesite* [Low-Temperature Formation of Dolomite and Magnesite]. 2011. 512 p. Available at: <http://www.jcdeelman.demon.nl/dolomite/bookprospectus.html> (Date of access: 09.03.2018).
5. Deocampo D. M. *Developments in sedimentology* (Developments in sedimentology), 2010, vol. 62, pp. 1–60.
6. Drits V. A., McCarty D. K., Sakharov B., Milliken K. L. // *Canadian Mineralogist* (Canadian Mineralogist), 2005, vol. 43, pp. 1255–1290.
7. Goldsmith J. R., Graf D. L. *American Mineralogist* (American Mineralogist), 1958, vol. 43, pp. 84–101.
8. Last W. M., Ginn F. M. *Saline systems* (Saline systems), 2005, vol. 1, pp. 10–17.
9. Mackenzie F. T., Bischoff W. D., Bishop F. C., Loijens M., Schoonmaker J., Wollast R. *Reviews in Mineralogy. Mineralogical Society of America* (Reviews in Mineralogy. Mineralogical Society of America), 1983, vol. 11, pp. 97–144.
10. Navrotsky A., Capobianco C. *American Mineralogist* (American Mineralogist), 1987, vol. 72, no. 7–8, pp. 782–787.

Коротко об авторах

Солотчин Павел Анатольевич, канд. геол.-минер. наук, старший научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: литология, минералогия
paul@igm.nsc.ru

Солотчина Эмилия Павловна, д-р геол.-минер. наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: минералогия, кристаллохимия
solot@igm.nsc.ru

Скляров Евгений Викторович, д-р геол.-минер. наук, член-корреспондент РАН, профессор, главный научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия. Область научных интересов: геохимия
skl@crust.irk.ru

Страховенко Вера Дмитриевна, д-р геол.-минер. наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия; профессор кафедры минералогии и петрографии, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: геохимия, минералогия
strahova@igm.nsc.ru

Жданова Анастасия Николаевна, канд. геол.-минер. наук, научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: минералогия, кристаллохимия
zhdanova@igm.nsc.ru

Даниленко Ирина Владимировна, научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: минералогия, кристаллохимия
iv_danilenko@igm.nsc.ru

Briefly about the authors

Pavel Solotchin, candidate of geological and mineralogical sciences, senior researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: lithology, mineralogy

Emilia Solotchina, doctor of geological and mineralogical sciences, leading researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: mineralogy, crystal chemistry

Evgeny Sklyarov, doctor of geological and mineralogical sciences, corresponding member of Russian Academy of Sciences, professor, chief researcher, Institute of the Earth's Crust SB RAS Irkutsk, Russia. Sphere of scientific interests: geochemistry

Vera Strakhovenko, doctor of geological and mineralogical sciences, leading researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia; professor, Mineralogy and Petrography department, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: geochemistry, mineralogy

Anastasia Zhidanova, candidate of geological and mineralogical sciences, researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: mineralogy, crystal chemistry

Irina Danilenko, researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: mineralogy, crystal chemistry

Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск. Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ № 16-05-00244, № 16-05-00132, № 18-05-00329 и в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (№ 0330-2016-0017).

Образец цитирования

Солотчин П. А., Солотчина Э. П., Скляров Е. В., Страховенко В. Д., Жданова А. Н., Даниленко И. В. Аутогенное карбонатообразование в малых озёрных бассейнах Западного Забайкалья // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2018. Т. 24. № 6. С. 45–54. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-6-45-54.

Solotchin P., Solotchina E., Sklyarov E., Strakhovenko V., Zhidanova A., Danilenko I. Authigenic carbonate formation in shallow lacustrine basins of Western Transbaikalia // Transbaikal State University Journal, 2018, vol. 24, no. 6, pp. 45–54. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-6-45-54.

Статья поступила в редакцию: 10.05.2018 г.

Статья принята к публикации: 23.05.2018 г.

