

## Голоценовые донные осадки малых озер Сибири как летописи региональных климатических событий

© *П. А. Солотчин*<sup>1</sup>, *Э. П. Солотчина*<sup>1</sup>, *Е. В. Скляр*<sup>2</sup>, *А. Н. Жданова*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. E-mail: solot@igm.nsc.ru

<sup>2</sup>Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия. E-mail: skl@crust.irk.ru

Приводятся результаты детальных минералогических и кристаллохимических исследований голоценовых донных осадков ряда мелководных соленых и солоноватых озер с карбонатным типом седиментации, расположенных в Байкальском регионе и Западной Сибири. Показана высокая значимость этих исследований для проведения палеоклиматических реконструкций. Минеральный состав отложений изучен комплексом методов, включающим XRD анализ, ИК-спектроскопию, электронную микроскопию и др. Установлено присутствие в осадках аутигенных карбонатов кальцит-доломитового ряда. Математическим моделированием сложных XRD спектров в ансамбле карбонатных минералов выявлены магнезиальные кальциты разной степени магнезиальности и Ca-избыточные доломиты. Показано, что количество и соотношение фаз с различной магнезиальностью определяются региональными климатическими циклами и колебаниями уровня озера.

**Ключевые слова:** минералообразование; карбонаты; донные отложения; малые озера; XRD анализ; моделирование; голоцен; климат; Сибирь.

### Holocene bottom sediments of shallow lakes of Siberia as records of regional climatic events

*P. A. Solotchin*<sup>1</sup>, *E. P. Solotchina*<sup>1</sup>, *E. V. Sklyarov*<sup>2</sup>, *A. N. Zhdanova*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: paul@igm.nsc.ru

<sup>2</sup>Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia. E-mail: skl@crust.irk.ru

We present results of detailed mineralogical and crystallochemical studies of Holocene bottom sediments from number of the shallow saline and brackish lakes with carbonate sedimentation situated in Baikal region and Western Siberia and substantiate their high significance for paleoclimatic reconstructions. The mineral composition of sediments was studied by complex of methods, including XRD analysis, IR spectroscopy, electron microscopy, etc. The presence of authigenic carbonates from calcite-dolomite series was established. 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 carbonate minerals. It is established that the number and proportion of phases with different Mg contents are determined by regional climatic cycles and lake level fluctuations.

**Keywords:** mineral formation; carbonates; bottom sediments; shallow lakes; XRD analysis; modeling; Holocene; climate; Siberia.

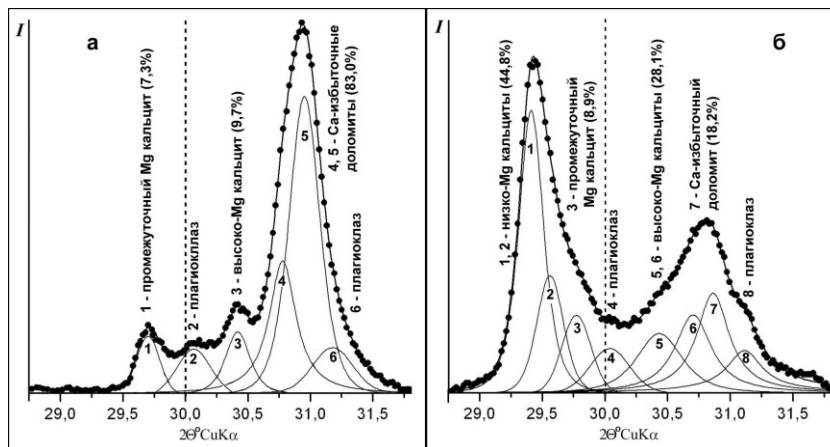
Дискуссионность проблемы глобального потепления и неопределенность климатических прогнозов привела к заметному росту палеоклиматических исследований. Зарубежные специалисты, занимающиеся палеоклиматическими реконструкциями, уделяют повышенное внимание современным системам малых соленых озер аридных и семиаридных зон [1]. Голоценовые эвапоритовые разрезы донных осадков этих озер представляют собой палеоклиматические архивы высокого разрешения, так как, во-первых, голоценовый период по своим климатическим особенностям является наиболее близким аналогом современности, и, во-вторых, малые размеры водоемов обуславливают их высокую чувствительность к короткопериодическим изменениям в окружающей среде. В качестве одного из надежных индикаторов палеоклимата мы предлагаем минералого-кристаллохимические характеристики аутигенных минеральных фаз, поскольку состав и структура осаждающихся минералов непосредственным образом зависят от химизма озерных вод, который в свою очередь контролируется климатом региона.

Цель работы — исследование ассоциаций аутигенных карбонатов голоценовых донных осадков ряда бессточных мелководных минеральных озёр, нередко плайевых, располагающихся в засушливых районах Сибири, кристаллохимических и структурных особенностей карбонатных фаз, закономерностей их формирования и последовательности осаднения в зависимости от прошлых изменений климата и окружающей среды. Методы исследований — рентгеновская дифрактометрия (XRD), ИК-спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, анализ стабильных изотопов  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$ , РФА СИ и атомная абсорбция. Возраст осадков определялся методом AMS ( $^{14}\text{C}$ ) по карбонатному материалу. Качественно новый уровень исследований обеспечен применением современных методов математической обработки XRD профилей [2].

Были изучены отложения ряда озер с карбонатным типом седиментации, расположенных как в Байкальском регионе (оз. Цаган-Тырм, Холбо-Нур, Намши-Нур, Верхнее Белое, Большое Алгинское, Киран, Сульфатное), так и на территории Западной Сибири (Чановская озерная система). Аутигенные карбонатные минералы голоценовых осадков этих озер представлены кальцитом, Mg-кальцитами разной степени магнезиальности, Ca-избыточными доломитами, реже арагонитом, моногидрокальцитом и родохрозитом. Наиболее распространены Mg-кальциты, обладающие необычными и ещё далеко не изученными свойствами. По химическому составу, положению аналитических пиков на рентгенограммах и ряда полос поглощения в ИК-спектрах Mg-кальциты располагаются между кальцитом  $\text{CaCO}_3$  и доломитом ( $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ ). Из значительного различия ионных радиусов  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  следует, что твердые растворы системы  $\text{CaCO}_3$ - $\text{MgCO}_3$  должны существовать лишь в ограниченном интервале содержания в них магния. Это означает, что Mg-кальциты, содержащие в структуре более чем несколько мол.%  $\text{MgCO}_3$ , должны быть метастабильны. Тем не менее, они широко распространены в природе и содержание  $\text{MgCO}_3$  в Mg-кальцитах может достигать 43 мол.%, вплоть до состава Ca-избыточного доломита. В настоящее время Mg-кальциты рассматриваются как смешанные кристаллы, структура которых меняется в ряду кальцит–доломит от истинных твердых растворов до смешанослойных структур, определяя их устойчивость. Эти структуры представляют собой последовательности кальцитовых и магнезитовых слоев, чередующихся с разной степенью порядка, образуя домены нанометрической размерности [3].

В отличие от Mg-кальцитов Ca-избыточные доломиты обладают более сложной системой структурного порядка. Их структура описывается как смешанослойная, в которой различное количество нестехиометрических доломитовых слоев чередуется с небольшим количеством кальцитоподобных и стехиометрических доломитовых слоев [4]. Этот смешанный кристалл является крайним членом ряда Ca-Mg карбонатов и имеет генезис, отличный от доломита *sensu stricto* [3].

По содержанию  $\text{MgCO}_3$  в структуре Mg-кальциты делятся на три группы: 1) низко-Mg кальциты ( $\text{MgCO}_3 < 4\text{--}5\text{ мол.}\%$ ); 2) промежуточные Mg-кальциты ( $5\text{--}18\text{ мол.}\%$   $\text{MgCO}_3$ ); 3) высоко-Mg кальциты (до 43 мол.%  $\text{MgCO}_3$ ). Ca-избыточные доломиты характеризуются избытком  $\text{CaCO}_3$  до 7 мол.%. На дифрактограммах 104-пики Ca-Mg карбонатов образуют два широких максимума сложной формы и переменной интенсивности (рис. 1).



**Рис. 1.** Результаты моделирования экспериментальных XRD профилей карбонатов в области проявления  $d_{104}$  пиков. Содержание карбонатов в образце принимается за 100%.

Первый максимум формируют низкомагнезиальные и промежуточные кальциты, второй — высокомагнезиальные кальциты и Ca-избыточные доломиты. Условная граница между ними располагается на  $30^\circ 2\theta \text{ CuK}\alpha$ . Для выявления присутствующих карбонатных фаз нами используется разложение их сложных XRD профилей на индивидуальные пики функцией Пирсона VII. Определение содержания  $\text{MgCO}_3$  в структуре проводится по калибровочным графикам зависимости величины  $d_{104}$  от содержания мол.%  $\text{MgCO}_3$  [3]. Модельный подход позволяет идентифицировать карбонатные фазы кальцит-доломитового ряда и устанавливать их количественные соотношения.

Проведенные исследования показали, что присутствие тех или иных аутигенных карбонатов в осадках во многом контролируется степенью иссушения/увлажнения регионального климата. Аридизация, сопровождающаяся падением уровня вод, приводит к осаждению высоко-Mg кальцитов и Ca-

доломитов (рис. 1а) и наоборот — теплый и влажный климат способствует формированию низкомагнезиальных и промежуточных кальцитов (рис. 1б). Таким образом, из осадков малых соленых и солоноватоводных озер Сибири получен ряд карбонатных записей высокого разрешения, содержащих сведения о стратиграфическом распределении аутигенных карбонатов кальцит-доломитового ряда. Количество и соотношение в них карбонатных фаз различной степени магнезиальности определяются величиной Mg/Ca-отношения, соленостью и общей щелочностью вод в прошлом и другими параметрами, меняющихся в соответствии с региональными климатическими циклами и колебаниями уровня озера.

*Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № 0330-2016-0017 и при поддержке РФФИ, проекты №16-05-00244 и № 18-05-00329. Основная часть аналитических работ выполнена в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.*

#### *Литература*

1. Last W. M., Ginn F. M. // Saline Systems. 2005. V. 1. P. 10. DOI: 10.1186/1746-1448-1-10.
2. Реконструкция климата голоцена на основе карбонатной осадочной летописи малого соленого озера Верхнее Белое (Западное Забайкалье) / Э. П. Солотчина [и др.] // Геология и геофизика. 2012. Т. 53 № 12. С. 1756–1775.
3. Deelman J. C. Low-temperature formation of dolomite and magnesite. Open-access e-book. 2011. 512 p., URL: <http://www.jcdeelman.demon.nl/dolomite/bookprospectus.html>.
4. New insight into structural and compositional variability in some ancient excess-Ca dolomite / V. A. Drits [et al.] // Canadian Mineralogist. 2005. V. 43. P. 1255–1290.

**Солотчин Павел Анатольевич**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В. С.Соболева СО РАН, г. Новосибирск.