ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2021, том 496, № 1, с. 22–29

ЛИТОЛОГИЯ

УДК 549.742.1: 548.3:551.312:551.583

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ГОЛОЦЕНОВЫХ ОСАДКАХ ОЗЕРА БОЛЬШИЕ ТОРОКИ

© 2021 г. Э. П. Солотчина[1,*], академик РАН М. И. Кузьмин[2], П. А. Солотчин[1], А. Е. Мальцев[1], Г. А. Леонова[1], С. К. Кривоногов[1,3]

Поступило 08.10.2020 г.
После доработки 21.10.2020 г.
Принято к публикации 22.10.2020 г.

Представлены результаты исследования голоценовых осадков оз. Большие Тороки – одного из малых минеральных озер с карбонатным типом седиментации и высокой биопродуктивностью, расположенных в Восточно-Барабинской низменности на юге Западной Сибири. Анализ минеральной составляющей донных отложений выполнен методами рентгеновской дифрактометрии (XRD), ИК-спектроскопии, лазерной гранулометрии, элементного анализа и рядом других. Математическим моделированием сложных XRD-профилей в ансамбле карбонатных минералов установлены Mg-кальциты разной степени магнезиальности и арагонит, определены их структурно-кристаллохимические особенности и количественные соотношения. Полученная карбонатная запись высокого разрешения сопоставлена с распределением в датированном разрезе зольности осадка, определяемой биопродуктивностью бассейна, и рядом геохимических индикаторов климатических изменений. Применение такого комплексного подхода позволило впервые выделить 4 стадии в развитии оз. Большие Тороки, обусловленные циклами иссушения/увлажнения регионального климата и колебаниями уровня озера во второй половине голоцена. Стадия I (середина атлантика) – образование водоема, стадия II (вторая половина атлантика) – обмеление озера в условиях сухого и теплого климата, стадия III (большая часть суббореала) – мелководный бассейн в условиях сухого и прохладного климата, стадия IV (от конца суббореала до современности) – повышение уровня воды в озере, гумидизация климата.

Ключевые слова: минеральное озеро, донные отложения, карбонаты, XRD-анализ, геохимия, голоцен, палеоклимат, Западная Сибирь

DOI: 10.31857/S2686739721010229

Значительно возросшие в последние годы частота и интенсивность экстремальных климатических событий вызвали в научном сообществе активную дискуссию относительно возможных сценариев эволюции природной среды и климата планеты. Доступные исторические данные о климате даже недавнего прошлого весьма ограничены, еще меньший период охватывают инструментальные наблюдения. Однако в рамках господствующих представлений о циклическом характере глобальных климатических изменений можно с уверенностью утверждать, что современный интергляциал не является чем-то уникальным и что его более или менее близкие аналоги уже имели место в прошлом, в том числе, в голоцене. Именно последние 11.7 тыс. лет характеризуются быстрыми и интенсивными климатическими флуктуациями. Одними из важнейших источников информации об изменении климата внутриконтинентальных областей являются разрезы донных отложений озер различной минерализации и трофности [1]. В этой связи перед исследователями стоит задача выявления в озерных осадках индикаторов природных обстановок, в числе которых температура, степень иссушения/увлажнения окружающей среды, для построения региональных палеоклиматических летописей.

На территории обширного Сибирского региона озерные бассейны встречаются повсеместно и в большом количестве, их размеры, соленость и преобладающие типы седиментации варьируют чрезвычайно широко. Вместе с тем нельзя не от-

[1] *Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия*
[2] *Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия*
[3] *Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*
**E-mail: solot@igm.nsc.ru*

метить, что разные районы Сибири отличаются по степени изученности как отдельных озер, так и их систем. В Байкальском регионе интенсивные исследования озерных осадков начались в 90-х годах в связи с выполнением международной программы "Байкал-бурение", что послужило началом изучения палеоклимата Восточной Сибири [2]. На территории Западной Сибири подобные исследования начались несколько позже, и их результаты представлены в довольно ограниченном числе научных публикаций.

Целью настоящей работы является получение климатической записи голоцена на основании детальных минералого-кристаллохимических исследований донных осадков озера Большие Тороки – одного из малых озер юга Западно-Сибирской равнины.

Озеро Большие Тороки находится на территории Восточно-Барабинской низменности, представляющей собой аллювиально-озерную равнину в лесостепной ландшафтной зоне Новосибирской области. Отложения четвертичной системы сложены речными, озерными и субаэральными осадками, варьирующими от пелитовых до песчаных разновидностей. Среди верхних горизонтов четвертичного разреза значительную роль играют почвенно-лессовые последовательности [3], где лессы отвечают этапам оледенений, а почвы – межледниковьям. Грунтовые воды здесь залегают достаточно близко к поверхности, что нередко вызывает заболачивание низин. Климат региона континентальный, среднее количество осадков составляет 390–400 мм/год, средние температуры января: –19.8°С, июля: +18.4°С.

Озеро солоноватоводное с общей минерализацией 1081 мг/л. Расположено оно в пологой котловине, длина водоема составляет 4.2 км, ширина – 2.9 км, глубина от 0.5 до 1.5 м, площадь водного зеркала – 9.5 км^2, площадь водосбора – 49.2 км^2. Воды озера относятся к гидрокарбонатным магниево-натриевым и имеют следующий ионный состав (мг/л): HCO_3^- (646.6), Cl^- (164.6), SO_4^{2-} (26.8), Na^+ (147.4), Mg^{2+} (65.6), Ca^{2+} (15.2), K^+ (13.3); pH = 9.5 [4]. Сам озерный бассейн является бессточным, водное питание осуществляется за счет атмосферных осадков, подземных и паводковых вод.

В центральной части озера, в точке с координатами 55°39′35″ с.ш., 80°61′86″ в.д. был поднят керн длиной 180 см, из которых озерные осадки составили 160 см, а нижние 20 см отнесены к подстилающим лессовидным отложениям [5]. Интервал 160–180 см сложен голубовато-серыми опесчаненными глинами, представляющими собой так называемую "гривную толщу", повсеместно развитую на территории Барабинской низменности (рис. 1). Озерные отложения представляют собой органоминеральные илы, в которых содержание минеральной составляющей может достигать ~65%.

В интервале 120–160 см залегают темно-серые до черных, массивные илы, в которых присутствуют раковины гастропод; содержание Сорг. составляет 15–16%, уменьшаясь до 6% к подошве разреза. В интервале 0–120 см осадки зеленовато-серые, массивные и горизонтально-слоистые с редкими раковинами двустворчатых моллюсков, остракод и растительными остатками, количество которых повышено на уровне 60–72 см (рис. 1). Содержание Сорг. в этой толще колеблется в пределах 10–15%. По данным радиоуглеродного датирования (получены 4 даты) возраст осадков на глубине 140–142 см составляет 5740 ± 95 лет ^{14}C (около 6500–6600 кал. лет), т.е. озерная седиментация в бассейне началась в среднем голоцене [6], в середине атлантической климатической фазы по шкале Блитта–Сернандера.

Литологическое и минералого-кристаллохимическое изучение образцов выполнено в "ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований" Института геологии и минералогии СО РАН комплексом методов, включающим рентгеновскую дифрактометрию (XRD), ИК-спектроскопию, лазерную гранулометрию, рентгенофлуоресцентный анализ и др. Гранулометрический анализ терригенного компонента осадков проводился на лазерном микроанализаторе частиц ANALYSETTE 22 MicroTec с предварительным удалением карбонатов и органики. Рентгеновские исследования проведены на дифрактометре ARL X'TRA (излучение CuK_α). Для фазового анализа отложений образцы были отсканированы в интервале от 2° до 65° (2Θ) с шагом 0.05°, время сканирования в точке 3 сек, для моделирования XRD-профилей карбонатной составляющей осадка – в интервале от 25° до 32° (2Θ) с тем же шагом, но увеличенным временем сканирования в точке (15 сек). ИК-спектры были записаны на спектрометре VERTEX 70 FT I. Образцы готовились методом прессования таблеток с KBr. Химический состав образцов определялся на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL-9900-XP. Изучение микроморфологии и вещественного состава образцов проводилось в сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU. Датирование керна выполнено в радиоуглеродной лаборатории ЦКП "Геохронология кайнозоя" СО РАН с использованием прибора QUANTULUS-1220 (Liquid Scintillation Counters).

По данным XRD-анализа и ИК-спектроскопии минеральная часть отложений сложена преимущественно кальцитами разной степени магнезиальности, а также кварцем, плагиоклазом, калиевым полевым шпатом, слоистыми силикатами (слюдой и хлоритом), пиритом, родохрозитом $MnCO_3$ (рис. 2). На уровне 98–100 см выявлено су-

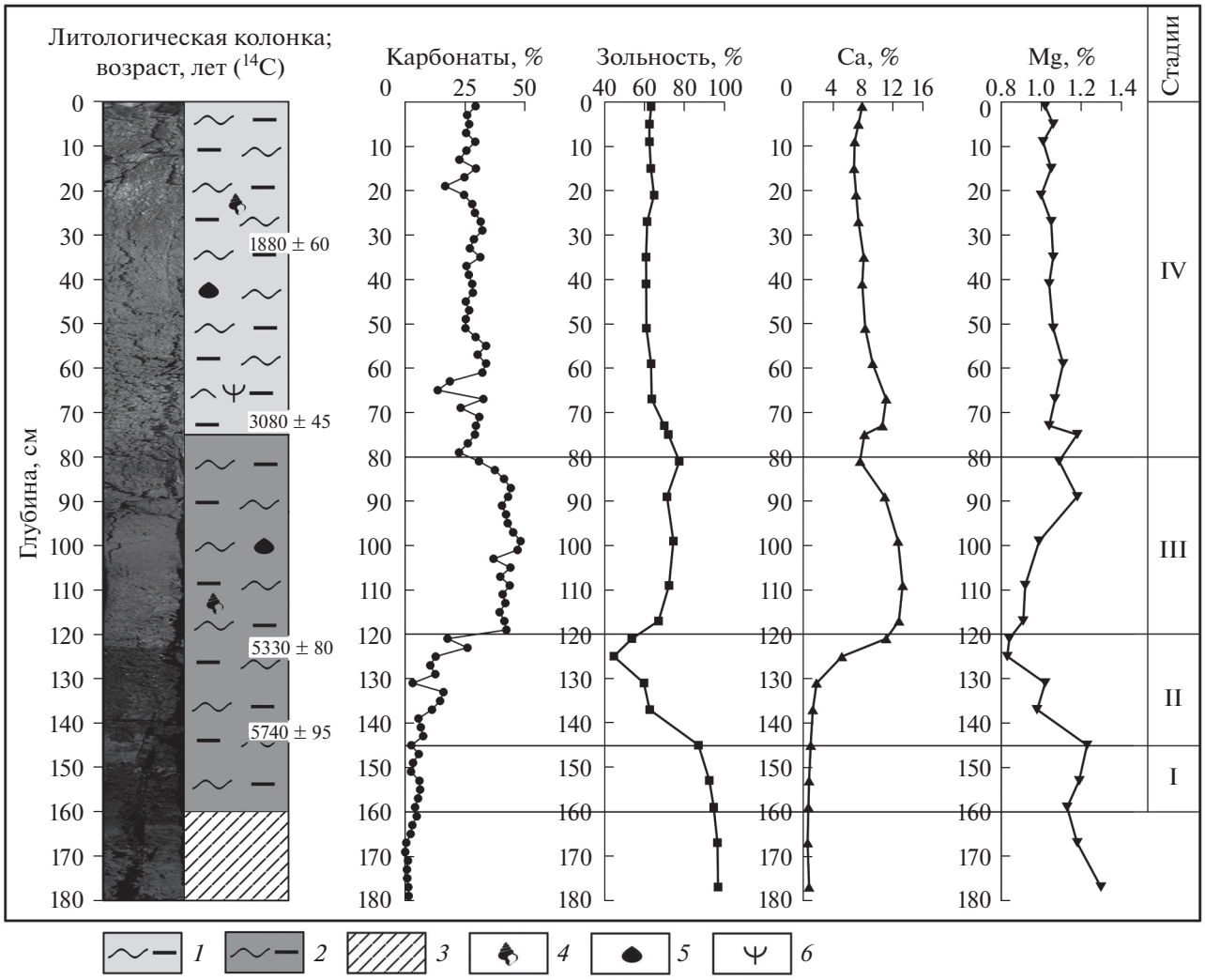

Рис. 1. Литологическая колонка голоценового разреза осадков оз. Большие Тороки, возрастная модель, распределение карбонатных минералов, зольности, геохимических индикаторов палеоклиматических изменений (Ca, Mg) и выделенные стадии эволюции озера. *1* – органоминеральные илы с преимущественно макрофитогенным ОВ, *2* – органоминеральные илы с преимущественно торфянистым ОВ, *3* – глины гривной толщи, *4* – раковины моллюсков, *5* – остракоды, *6* – растительный детрит. Стадия I – образование водоема; стадия II – сухой и теплый климат (включая событие Бонда 4); стадия III – сухой и прохладный климат; стадия IV – гумидизация климата.

щественное количество арагонита (ромбическая модификация $CaCO_3$), связанное с появлением в осадках раковин моллюсков. В верхнем интервале (0–75 см) содержание карбонатов составляет 27–30% от вещественного состава органоминерального осадка, а в среднем интервале (80–120 см) оно максимально (до 50%). Здесь же установлены и самые высокие содержания кальция. Интервал 120–160 см характеризуется низким содержанием карбонатов от 0 до 20%.

Магнезиальные кальциты донных осадков оз. Большие Тороки представлены мелкозернистыми агрегатами плохо окристаллизованных частиц низкой структурной упорядоченности и имеют в основной своей массе хемогенное происхождение. Приуроченность озера к лесостепной зоне, его закрытость и минерализация вод способствуют тому, что водоем тяготеет к “семиаридному” или даже “аридному” типу седиментации, благоприятному для хемогенного осаждения карбонатов. В отложениях присутствует также биогенный карбонатный материал. Это остатки кальцифицированных погруженных растений и водорослей, а также раковины моллюсков и остракод. Вклад последних в суммарное содержание карбонатов невелик, за исключением прослоя 98–100 см с повышенным содержанием арагонита (рис. 2). Изучение элементного состава макрофитов и планктона озера показало, что содержание кальция в них незначительно и варьирует в пределах 0.15–2.9%. Роль обломочных карбонатов в данном случае также невелика, поскольку для по-

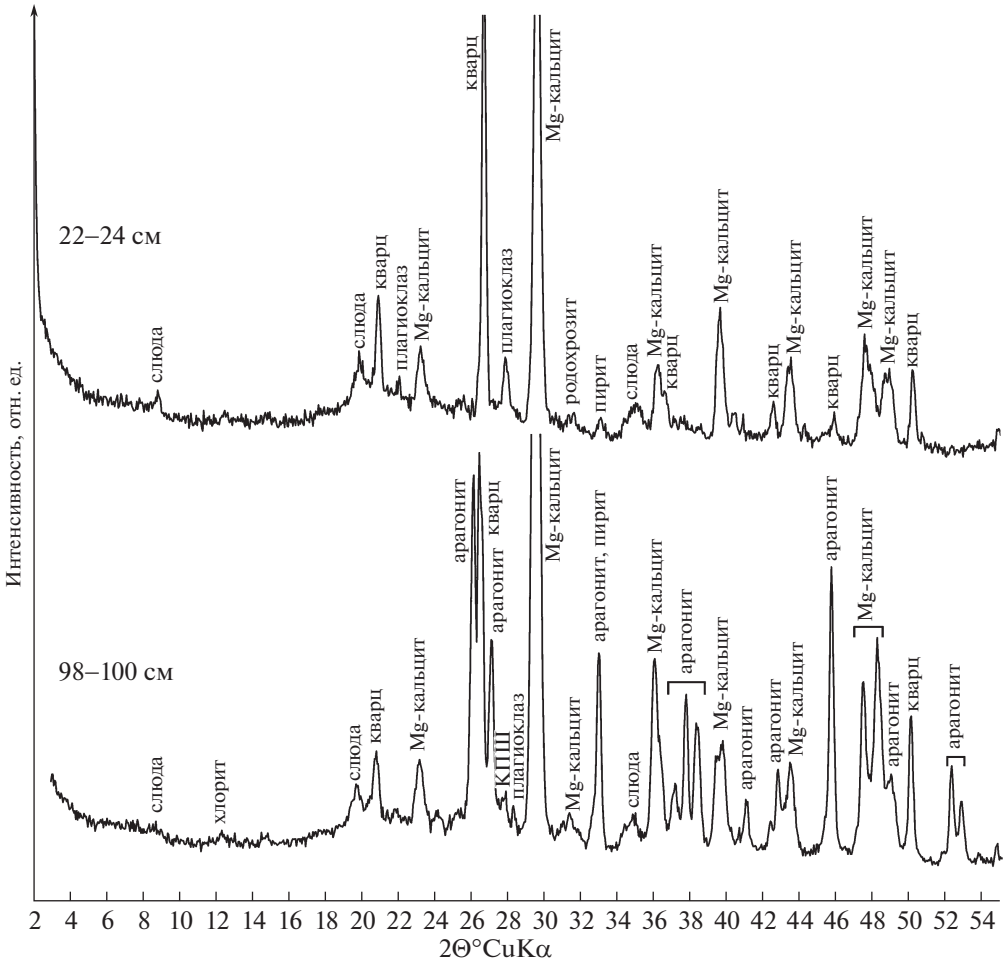

Рис. 2. Дифрактограммы образцов донных осадков оз. Большие Тороки из верхней и нижней частей разреза. Обр. 98–100 см содержит значительное количество арагонита.

явления их заметного количества нет объективных предпосылок: водосбор озера невелик, и в нем отсутствуют источники сноса карбонатного материала.

В настоящее время Mg-кальциты рассматриваются как смешанные кристаллы ряда кальцит–доломит без постоянного химического состава [7, 8]. При пониженных содержаниях магния ($MgCO_3$ < 18 мол. %) они являются истинными твердыми растворами. В остальных случаях это “доменные” кристаллы нанометровой размерности, представляющие собой смешаннослойные образования, состоящие из последовательности кальцитовых и магнезитовых слоев, чередующихся с разной степенью порядка [9, 10]. Диагностика Mg-кальцитов методом XRD-анализа проводилась по наиболее интенсивным у тригональных карбонатов отражениям $hkl = 104$ в области углов 28.5–30.5° 2Θ CuK_α (рис. 3). По величине d_{104} аутигенные Mg-кальциты, отлагающиеся во внутриконтинентальных водоемах, подразделяются на три группы: низкомагнезиальные кальциты с содержанием $MgCO_3$ в структуре <4–5 мол. % (3.036 Å > d_{104} > 3.02 Å), промежуточные магнезиальные кальциты с 5–18 мол. % $MgCO_3$ в структуре (3.02 Å > d_{104} > 2.98 Å) и высокомагнезиальные кальциты с содержанием 18–43 мол. % $MgCO_3$ (2.98 Å > d_{104} > 2.91 Å). Осаждение тех или иных карбонатных фаз определяется совокупностью целого ряда факторов: Mg/Ca-отношением в воде, ее общей карбонатной щелочностью, соленостью, величиной pH, температурой и органической продуктивностью водоема [11]. Все эти параметры контролируются водным балансом, зависящим, в свою очередь, от климатических условий. В целом сравнительно влажный климат и высокое стояние воды в бассейне ведут к осаждению преимущественно низко-Mg-кальцитов, а его аридизация сопровождается осаждением карбонатных фаз с более высоким содержанием магния.

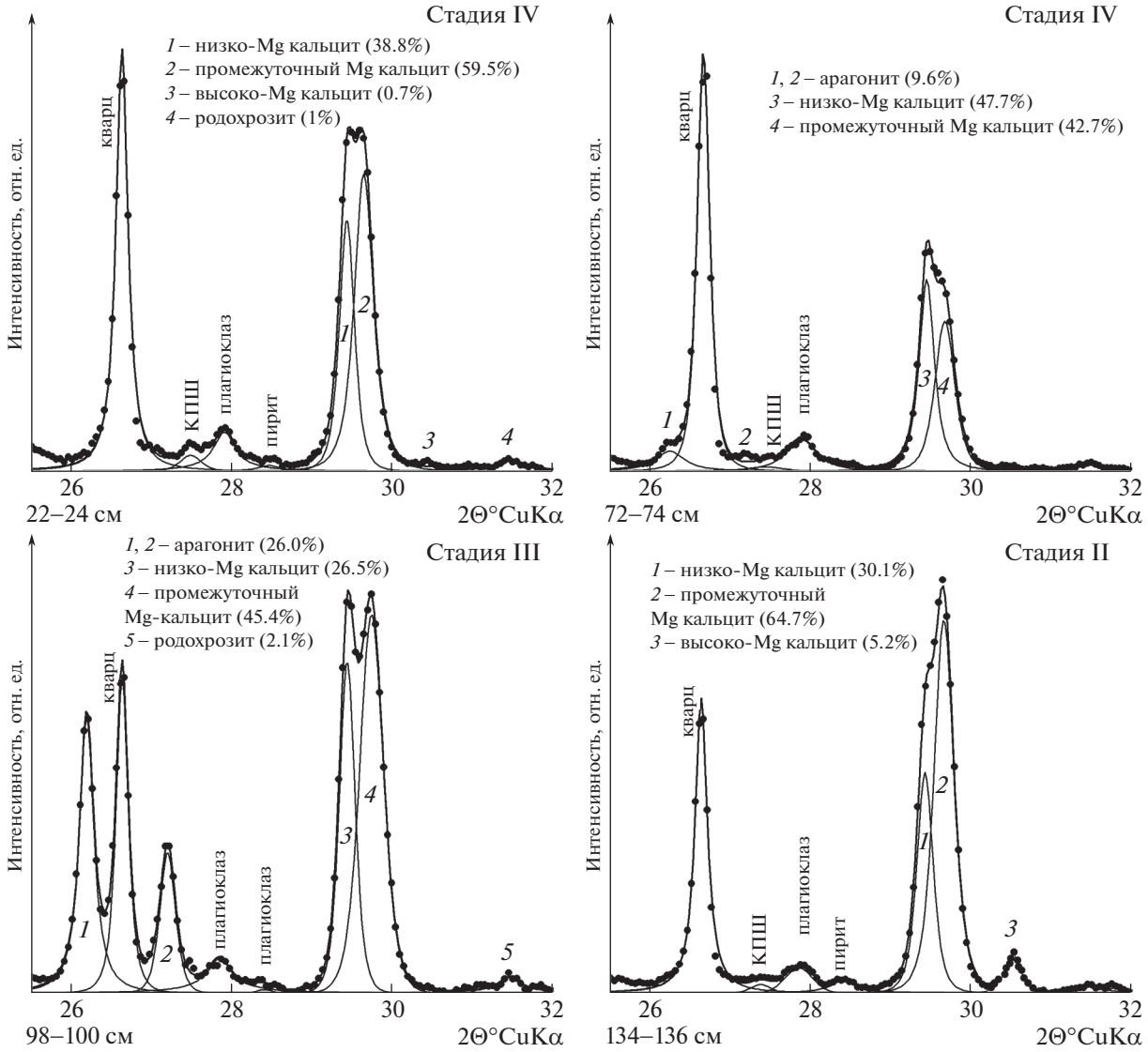

Рис. 3. Результаты моделирования экспериментальных XRD-профилей карбонатов осадков оз. Большие Тороки. Очевидно хорошее соответствие суммарных модельных профилей (сплошная линия) с экспериментальными (точки). Дифракционные пики индивидуальных фаз описаны функцией Пирсона VII. Общее содержание карбонатов в образце принимается за 100%.

Дифференциальная диагностика карбонатных минералов в осадках озера выполнена с помощью математического моделирования XRD-профилей, записанных с высоким разрешением (рис. 3). Разложением дифракционных максимумов в интервале углов 2Θ° на индивидуальные пики с помощью функции Пирсона VII установлены положение, интегральная интенсивность и количественные соотношения карбонатов (табл. 1). Определение содержания $MgCO_3$ проводилось по калибровочным графикам зависимости величины d_{104} от содержания мол. % $MgCO_3$ [8, 12]. В осадках оз. Большие Тороки среди аутигенных карбонатов преобладают промежуточные и низкомагнезиальные кальциты (табл. 1, рис. 3). В небольшом количестве эпизодически встречаются высоко-Mg-кальциты. Кроме Mg-кальцитов в ряде образцов установлен арагонит, содержание которого может достигать 26% от карбонатной составляющей осадка, а также иногда присутствует малая примесь родохрозита до 2%.

На основе минералого-кристаллохимического изучения карбонатов донных осадков озера выделено 4 стадии его эволюции (рис. 1). Стадия I (145–160 см) отвечает начальному этапу образования водоема, осадки которого залегают на гривной толще. Судя по имеющейся дате 5740 ± ± 95 л. н. (^{14}C) на уровне 140–142 см, озерная котловина начала наполняться водой в середине атлантической фазы. Проведенные нами ранее ис-

Таблица 1. Параметры модельных XRD-профилей карбонатов ряда образцов осадков оз. Большие Тороки, представленных на рис. 3

Глубина, см	Карбонаты	№ линии	$2\Theta°CuK_\alpha$	d, Å	Содержание	
					фазы, %	$MgCO_3$, мол. %
Стадия IV 22-24	Низко-Mg-кальцит	1	29.461	3.033	38.8	0.75
	Промежуточный Mg-кальцит	2	29.817	2.998	59.5	12.5
	Высоко-Mg-кальциты	3	30.389	2.942	0.7	31.2
	Родохрозит	4	31.456	2.845	1.0	–
Стадия IV 72-74	Арагонит	1	26.221	3.396	9.6	–
	Низко-Mg-кальцит	2	29.544	3.024	47.7	3.5
	Промежуточный Mg-кальцит	3	29.817	2.998	42.7	12.5
Стадия III 98-100	Арагонит	1	26.213	3.400	26.0	–
		2	27.224	2.273		
	Низко-Mg-кальцит	3	29.471	3.032	23.3	1.0
	Промежуточный Mg-кальцит	4	29.919	2.988	43.4	17.0
	Родохрозит	5	31.461	2.844	2.1	–
Стадия II 134-136	Низко-Mg-кальцит	1	29.515	3.028	30.1	2.5
	Промежуточный Mg-кальцит	2	29.768	3.003	64.7	10.0
	Высоко-Mg-кальцит	3	30.495	2.933	5.2	33.0

Примечания. Сумма карбонатных минералов в образце принята за 100%. При съемке XRD-профилей в качестве внутреннего стандарта использовался Si металлический.

следования донных осадков оз. Иткуль [13], расположенного в том же районе Восточно-Барабинской низменности, показали, что региональный климат в описываемый период был засушливым. Это позволяет предполагать существование интенсивного притока подземных вод в котловину оз. Большие Тороки, тогда как атмосферное поступление играло второстепенную роль. Стадия I характеризуется высокой (90–95%) зольностью осадков, указывающей на слабую органическую продуктивность бассейна. Воды озера, скорее всего, были пресными, поскольку содержание карбонатов очень невелико – до 5–6%.

Стадия II соответствует интервалу 120–145 см. Возраст осадков на уровне 122–125 см составляет 5330 ± 80 лет (^{14}C), что указывает на совпадение верхней границы стадии с переходом от атлантика к суббореалу. На протяжении стадии II происходит резкое падение зольности отложений до 40% от вещественной части осадка, что свидетельствует о значительном росте органической продуктивности в мелководном хорошо прогреваемом солнцем бассейне. Приток пресных вод сокращается, увеличивается минерализация озера. Содержание Ca возрастает вверх по разрезу, в то время как содержание Mg понижается (рис. 1). На протяжении всей стадии наблюдаются вариации в количестве карбонатов, что указывает на колебания уровня озера; вероятно, в конце атлантика оно имело плайевый характер вплоть до полного осушения котловины. Среди карбонатов доминируют промежуточные Mg-кальциты, отмечается также присутствие высоко-Mg-кальцита (табл. 1, рис. 3, гл. 134–136 см). Можно полагать, что данный период господства сухого и теплого климата на территории Восточно-Барабинской низменности являлся проявлением (с определенным временным лагом) глобального климатического события, известного как событие Бонда 4 [14]. Эта климатическая флуктуация сопровождалась установлением засушливых обстановок в различных частях земного шара.

Стадия III охватывает большую часть суббореала и соответствует интервалу 80–120 см. Эта стадия характеризуется высоким содержанием карбонатов в разрезе (до 50% от минеральной части осадка), и лишь в верхней части интервала наблюдается его плавное снижение (рис. 1). Судя по увеличению зольности отложений, климат стал более прохладным, однако влажность его не увеличилась, о чем свидетельствует достаточно интенсивное осаждение хемогенных карбонатов. Помимо Mg-кальцитов в осадках (гл. 98–100 см) обнаружено значительное количество фрагментов раковин остракод, сложенных арагонитом с примесью стронция в структуре (табл. 1, рис. 3).

Стадия IV является наиболее продолжительной и в соответствии с имеющейся датой 3080 ± ± 45 лет (^{14}C) на уровне 70–72 см охватывает временной интервал от конца суббореальной клима-

тической фазы до настоящего времени. Содержание карбонатов колеблется в районе 25–30% от минерального состава. Зольность осадков, в начале стадии составлявшая ~70%, снижается и держится на одном уровне. В нижней части стадии по данным XRD-моделирования возрастает количество низко-Mg-кальцита (табл. 1, рис. 3, гл. 72–74 см), что соответствует росту содержания Ca и синхронному падению Mg в осадке (рис. 1). Выше по разрезу соотношение низко-Mg- и промежуточного кальцитов меняется на обратное, обнаруживаются следы высоко-Mg-кальцита (табл. 1, рис. 3, гл. 22–24 см). В целом падение содержания карбонатной составляющей в осадке по сравнению с предыдущей стадией указывает на повышение уровня воды в озере и некоторое уменьшение ее минерализации, а снижение зольности – на увеличение биопродуктивности бассейна. Все это позволяет утверждать, что стадия IV характеризуется большей гумидностью регионального климата, нежели стадии II и III. Однако некоторый рост содержаний Ca и карбонатов в последних сантиметрах осадка может свидетельствовать об увеличении аридности на современном этапе.

Таким образом, комплексные исследования карбонатсодержащих отложений оз. Большие Тороки показали, что во второй половине голоцена на территории Восточно-Барабинской низменности имели место значительные изменения природно-климатических обстановок. Они нашли свое отражение в литолого-минералогических и геохимических особенностях донных осадков озера, изучение которых позволило выделить 4 стадии его эволюции за последние примерно 7000 кал. лет, определяемые циклами аридизации/гумидизации регионального климата. Полученная в ходе исследований палеоклиматическая информация способствует более глубокому пониманию современных процессов изменения климата на территории Сибирского региона.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН, при поддержке РФФИ (гранты № 18-05-00329, № 19-05-00219, № 19-05-00403).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Last W.M.* Geolimnology of Salt Lakes // Geosciences Journal. 2002. V. 6. № 4. P. 347–369.
2. *Кузьмин М.И., Карабанов Е.Б., Каваи Т., Вильямс Д., Бычинский В.А., Кербер Е.В., Кравчинский В.А., Безрукова В.Е., Прокопенко А.А., Гелетий В.Ф., Калмычков Г.В., Горегляд А.В., Антипин В.С., Хомутова М.Ю., Сошина Н.М., Иванов Е.В., Хурсевич Г.К., Ткаченко Л.Л., Солотчина Э.П., Йошида Н., Гвоздков А.Н.* Глубокое бурение на Байкале – основные результаты // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 1–2. С. 8–34.
3. *Зыкина В.С., Волков И.И., Дергачева М.И.* Верхнечетвертичные отложения и ископаемые почвы Новосибирского Приобья. М.: Наука, 1981. 204 с.
4. *Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Бобров В.А., Меленевский В.Н., Лазарева Е.В., Кривоногов С.К.* Диагенетическое преобразование органо-минеральных сапропелей озера Большие Тороки (Западная Сибирь) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. № 3. С. 65–76.
5. *Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Бобров В.А., Кривоногов С.К.* Геохимия сапропелей голоценовых разрезов из малых озер юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья. Новосибирск: Академ. изд-во “ГЕО”, 2019. 443 с.
6. *Roberts N.* The Holocene. An Environmental History. Blackwell Publishers Inc., Malden, Massuchusets, USA. 1998. 316 p.
7. *Navrotsky A., Capobianco C.* Enthalpies of Formation of Dolomite and of Magnesian Calcites // American Mineralogist. 1987. V. 72 (7–8). P. 782–787.
8. *Deelman J.C.* Low-temperature Formation of Dolomite and Magnesite. Open-access e-book. 2011. 512 p. http://www.jcdeelman.demon.nl/dolomite/bookprospectus.html.
9. *Solotchina E.P., Sklyarov E.V., Solotchin P.A., Vologina E.G., Stolpovskaya V.N., Sklyarova O.A., Ukhova N.N.* Reconstruction of the Holocene Climate Based on a Carbonate Sedimentary Record from Shallow Saline Lake Verkhnee Beloe (Western Transbaikalia) // Russian Geology and Geophysics. 2012. V. 53. № 12. P. 1351–1365.
10. *Solotchina E.P., Solotchin P. A.* Composition and Structure of Low-temperature Natural Carbonates of the Calcite-dolomite Series // Journal of Structural Chemistry. 2014. V. 55. № 4. P. 779–785.
11. *Нечипоренко Г.О., Бондаренко Г.П.* Условия образования морских карбонатов. М: Наука, 1988. 133 с.
12. *Goldsmith J.R., Graf D.L., Goldsmith J.R.* Relation Between Lattice Constants and Composition of the Ca-Mg Carbonates // American Mineralogist. 1958. V. 43. P. 84–101.
13. *Solotchina E.P., Kuzmin M.I., Solotchin P.A., Maltsev A.E., Leonova G.A., Danilenko I.V.* Authigenic Carbonates from Holocene Sediments of Lake Itkul (South of West Siberia) as Indicators of Climate Changes // Doklady Earth Sciences. 2019. V. 487. Part 1. P. 745–750.
14. *Bond G.C., Shower S.W., Cheseby M., Lotti R., Almasi P., deMenocal P., Priore P., Cullen H., Hajdas I., Bonani G.* A Pervasive Millennial-scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates // Science. 1997. V. 278. P. 1257–1266.

MINERALOGICAL INDICATORS OF SOUTHERN WEST SIBERIA CLIMATE CHANGES IN HOLOCENE SEDIMENTS OF LAKE BOLSHYE TOROKI

E. P. Solotchina[a,#], Academician of the RAS M. I. Kuzmin[b], P. A. Solotchin[a], A. E. Maltsev[a], G. A. Leonova[a], and S. K. Krivonogov[a,c]

[a] *V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

[b] *A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

[c] *Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation*

[#] *E-mail: solot@igm.nsc.ru*

We present the results of the study of Holocene sediments of Lake Bolshye Toroki, one of the shallow brackish lakes with carbonate sedimentation and high bioproductivity located in the east part of Baraba lowland in the southern West Siberia. The mineral component of bottom sediments was studied by X-ray diffraction (XRD) analysis, IR spectroscopy, laser granulometry, elemental analysis and a number of other methods. By the mathematical modeling of complex XRD patterns Mg-calcites with different Mg contents and aragonite have been established in the assemblage of carbonate minerals. Their structural and crystallochemical features and quantitative ratios were determined. The obtained high-resolution carbonate record was compared in the dated section with the distribution of ash content which is determined by the basin's bioproductivity and with the number of geochemical indicators of climate changes. The use of such complex approach allowed for the first time to recognize 4 stages in the evolution of Lake Bolshoye Toroki caused by cycles of drying/wetting of the regional climate and fluctuations of the lake level in the second half of Holocene. Stage I (middle of the Atlantic) – formation of the lake, stage II (second half of the Atlantic) – shallowing of the lake in a dry and warm climate, stage III (most of the Subboreal) – shallow basin in a dry and cool climate, stage IV (from the end of the Subboreal to the present) – increasing the water level of the lake, climate humidization.

Keywords: brackish lake, bottom sediments, carbonates, XRD analysis, geochemistry, Holocene, paleoclimate, Western Siberia