На правах рукописи

ДАНИЛЕНКО Ирина Владимировна

МИНЕРАЛОГИЯ АУТИГЕННЫХ КАРБОНАТОВ В ГОЛОЦЕНОВЫХ ДОННЫХ ОСАДКАХ МАЛЫХ СОЛЁНЫХ ОЗЁР ЗАБАЙКАЛЬЯ

1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Новосибирск - 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН), г. Новосибирск

Научный руководитель: **СОЛОТЧИН Павел Анатольевич**
доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории №224 Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

Официальные оппоненты: **БОРЗЕНКО Светлана Владимировна**
доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геоэкологии и гидрогеохимии, главный научный сотрудник Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита

КИСЕЛЕВА Дарья Владимировна
кандидат геолого-минералогических наук, и.о. заведующего лабораторией физических и химических методов исследования, старший научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН), г. Иркутск

Защита состоится **«16» декабря 2025 г.** в 10-00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.050.02 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (в конференц-зале).
Адрес: 630090, г. Новосибирск, просп. ак. Коптюга, 3
Факс: 8 (383) 333-21-30, 333-27-92
e-mail: gaskova@igm.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГМ СО РАН и на официальном сайте Института по ссылке: https://www.igm.nsc.ru/images/diss/loadfiles_dzubenko/danilenko/dis-Danilenko.pdf.

Автореферат разослан «14» ноября 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.г.-м.н. О.Л. Гаськова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Карбонаты различного генезиса слагают до 20% осадочной оболочки Земли и играют важнейшую роль в геохимическом цикле углерода. Одной из актуальных задач современной минералогии осадочных образований является изучение состава, структурных особенностей, ассоциаций и процессов формирования низкотемпературных хемогенных карбонатных минералов в морских и внутриконтинентальных бассейнах. И если изученность морских карбонатов как у нас в стране, так и за рубежом находится на достаточно высоком уровне [Lippmann, 1973; Карбонаты, 1987; Нечипоренко, Бондаренко, 1988; и др.], то процессы и продукты карбонатообразования в озёрных бассейнах исследованы в значительно меньшей степени. Во многом это обусловлено тем, что природные низкотемпературные карбонаты озёрных осадков плохо окристаллизованы и представляют собой тонкозернистые, пелитоморфные агрегаты. Среди них отсутствуют монокристаллы необходимого размера и качества, что затрудняет изучение их структурных характеристик. Кроме того, в большинстве трудов, посвящённых решению генетических вопросов карбонатообразования, используется в основном геологическая система аргументации, что, однако, не позволяет вскрыть физико-химическую сущность процесса. Актуальность выполненных исследований обусловлена также и тем, что аутигенная карбонатная компонента донных осадков малых минеральных озёр отчётливо реагирует на вариации окружающих природно-климатических обстановок. Ассоциации, структурные и кристаллохимические особенности карбонатов в голоценовых отложениях солоноватых и солёных озёр Забайкалья могут быть использованы в качестве надёжных индикаторов климатических изменений и основы для региональных палеоклиматических реконструкций.

Цель исследования – минералого-кристаллохимическая характеристика аутигенных карбонатов в голоценовых донных осадках малых солёных озёр Забайкалья для выявления закономерностей их формирования и последовательности осаждения в зависимости от изменений региональных природно-климатических обстановок. Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих **задач:**

1. Изучить вещественный состав голоценовых донных отложений ряда минеральных озёр Забайкалья с помощью комплекса литологических, минералогических и геохимических методов анализа; 2. Выявить ассоциации хемогенных карбонатов донных осадков, их кристаллохимические и структурные особенности, закономерности формирования и количественные соотношения отдельных минеральных фаз; 3. Установить характер зависимости карбонатообразования в изученных разрезах от региональных природно-климатических обстановок седиментации; 4. На основе детальных минералого-кристаллохимических исследований аутигенных карбонатов из датированных осадочных разрезов изучаемых минеральных озёр Забайкалья получить летописи регионального климата голоцена (последние 10 тыс. лет), определить периоды его увлажнения и аридизации.

Фактический материал. Керновый материал озёр Большое Алгинское (длина керна 75 см), оз. Долгое (st2-02-2014, 96 см), оз. Большое Окунёвое (st1-

02-2014, 66,5 см), оз. Сульфатное (57,1 см), оз. Верхнее Белое (66 см) был получен бурением как в зимний (со льда), так и в летний периоды и предоставлен нам для исследования чл.-корр. РАН Е.В. Скляровым (ИЗК СО РАН) и д.г.-м.н. В.Д. Страховенко (ИГМ СО РАН). Основные аналитические работы по изучению вещественного состава донных осадков озёр проводились в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований Института геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск. В общей сложности было проанализировано порядка 500 образцов.

Личный вклад автора. Основная работа над материалами к диссертации проводилась автором в период с 2014 по 2019 гг. Предоставленный керновый материал озёрных осадков и полевые литологические описания были тщательно изучены. Для каждого озера были отобраны пробы с шагом в 1 см для дальнейшего детального исследования аналитическими методами. Была проведена пробоподготовка образцов для рентгеноструктурного и ИК-спектроскопического исследования. Рентгенограммы и спектры были расшифрованы, определён минеральный состав всех изучаемых донных осадков озёр. Карбонатные минералы были детально исследованы количественным методом ИК-спектроскопии, а также методом моделирования их XRD-профилей функцией Пирсона VII, что позволило определить их кристаллохимические, структурные особенности и количественное соотношение в изучаемых донных отложениях. Кроме осадков озёр, которые являются непосредственными объектами исследования, автором также изучались донные отложений других озёр Забайкалья (оз. Круглое, оз. Арахлей), озёр Западной Сибири (Ярковский плёс оз. Чаны, оз. Большой Баган, оз. Большое Яровое), пресноводных водоёмов острова Ольхон (Байкал) и Кулундинской равнины (Западная Сибирь), Онежского озера. Для работы в качестве объектов исследования были выбраны осадки пяти озёр одного региона Восточной Сибири – Забайкалья как наиболее информативные и охватывающие всё многообразие хемогенных карбонатов. При обсуждении истории формирования данных озёр для сравнения были привлечены более поздние материалы климатических моделей озёр Большое Яровое и Большой Баган (Западня Сибирь), полученные совсем недавно.

Научная новизна.

1. Для всех изучаемых озёр Западного Забайкалья выполнено литологическое описание голоценовых донных отложений, определён их гранулометрический и минеральный состав, построены кривые распределения в разрезах аутигенных минералов, некоторых макро- и микроэлементов, а также величин стабильных изотопов кислорода $\delta^{18}O$ и углерода $\delta^{13}C$ карбонатов;

2. Проведён детальный минералогический анализ аутигенных карбонатов, определены их структурные и кристаллохимические характеристики, на которых базируются последующие реконструкции физико-химических и природно-климатических обстановок их образования;

3. В работе применён уникальный современный метод математического моделирования рентгеновских дифракционных спектров карбонатов, разработанный в лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата. Модельный подход позволяет проводить дифференциальную диагностику минеральных фаз, определять

положение, интегральную интенсивность основного аналитического пика каждой фазы, определять количественные соотношения минералов в образце и их распределение в разрезе, обусловленное сменой обстановок осадконакопления в водоёме. Данный метод не имеет аналогов в мировой практике;

4. На основании проведённых литолого-минералогических исследований, дополненных результатами геохимических и других видов анализов, для всех изучаемых озёр Забайкалья была воссоздана история их эволюции и получены детальные летописи региональных климатических обстановок на протяжении голоцена.

Основные защищаемые положения:

1. В донных отложениях малых солёных озёр Забайкалья низкотемпературные хемогенные карбонаты представлены преимущественно минералами кальцит-доломитового ряда (кальцит $CaCO_3$, Mg-кальциты $(Ca_{0.57-0.9}Mg_{0.1-0.43})CO_3$, Ca-избыточные доломиты $Ca(Ca_{0.5-0.57}Mg_{0.43-0.5})(CO_3)_2$. В отдельных пробах озёрных осадков также были обнаружены арагонит и гидромагнезит;

2. Магнезиальные кальциты широкого диапазона составов: низко-Mg-кальциты ($MgCO_3$ < 4-5 мол.%), промежуточные Mg-кальциты (5-18 мол.% $MgCO_3$), высоко-Mg-кальциты (18-43 мол.% $MgCO_3$), а также Ca-избыточные доломиты (43-50 мол.% $MgCO_3$) постоянно присутствуют в изученных отложениях. В разрезах донных осадков их набор и количественные соотношения изменяются закономерным образом и отражают смену обстановок седиментации;

3. Аутигенные карбонаты изученных отложений мелководных солёных озёр Забайкалья являются надёжными индикаторами региональных палеоклиматических изменений. Интервалы озёрных осадков голоценового возраста, обогащённые низко-Mg-кальцитами и промежуточными Mg-кальцитами маркируют эпизоды гумидизации климата, в то время как интервалы с преобладанием высоко-Mg-кальцитов и Ca-избыточных доломитов указывают на аридизацию климата.

Публикации и апробация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 16 работ, из них 9 статей, входящие в международные реферативные базы данных Web of Science, Scopus, ВАК. Основные результаты работы были представлены на 7 российских и международных конференциях и совещаниях.

Соответствие результатов работы научным специальностям. Результаты работы соответствуют пунктам 2, 8, 11 и 13 паспорта научной специальности 1.6.4.

Структура и объем диссертации. Общий объём диссертации составляет 159 страниц и включает в себя введение, 5 глав и заключение. Работа проиллюстрирована 55 рисунками, 17 таблицами и 5 приложениями. Список использованной литературы составляет 161 наименований.

Благодарности. Работа выполнена в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева в лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата (№ 224) под руководством д.г.-м.н. Солотчина Павла Анатольевича. Я выражаю искреннюю благодарность и

глубокую признательность своему научному руководителю за многолетнее плодотворное сотрудничество, активное участие и помощь на различных этапах выполнения работы. Отдельно хочу поблагодарить д.г.-м.н. Э.П. Солотчину, д.г.-м.н. Э.В. Сокол, д.г.-м.н. В.Д. Страховенко, д.г.-м.н. С.Б. Бортникову, к.г.-м.н. Некипелову А.В., к.г.-м.н. А.Н. Жданову за ценные советы и критическое обсуждение материалов диссертации.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАБАЙКАЛЬЯ

Забайкалье представляет собой обширную природную территорию практически в центре азиатской части материка восточнее озера Байкал [Намсараев и др., 2007, Солоноватые…, 2009]. На большей части территории преобладают сильно расчленённые средневысотные горы, равнинные поверхности встречаются только в долинах больших рек и тектонических впадинах, среди которых выделяют два основных вида: внутригорные впадины (байкальский тип) и межгорные впадины (забайкальский тип). К первому типу относятся: впадина, занятая озером Байкал, Верхнеангарская, Баргузинская, Муйско-Куандинская, Баунтовская, Верхнечарская котловина. Ко второму типу относятся: Гусиноозёрская, Чикойско-Хилокская, Удинская и др.

Забайкалье характеризуется резко континентальным климатом с большими годовыми и суточными колебаниями температур воздуха и неравномерным распределением атмосферных осадков по сезонам года [Намсараев и др., 2007, Солоноватые…, 2009]. Зима очень холодная и продолжительная, лето тёплое, но короткое. Средняя годовая сумма осадков по территории составляет в среднем от 200 до 1000 мм, горный рельеф местности обуславливает их сложное распределение. Большая часть осадков выпадает во 2-й половине лета. Такой климат обусловлен удаленностью от океанов, горным рельефом, влиянием Азиатского максимума зимой. Зимы малоснежные, средние температуры января -25˚С - -30˚С. Мощность снежного покрова к началу марта не превышает 20 см. Лето теплое, средние температуры июля +15˚С - +20˚С. Летом выпадает в 2-3 раза больше осадков (ливни), чем зимой. За год в котловинах и на плоскогорьях выпадает 350-400 мм осадков.

Территория Забайкалья имеет хорошо развитую речную сеть, насчитывающую в общей сложности около 37000 рек, большинство из которых приходится на малые и самые малые реки [Ресурсы…, 1973]. Преобладают здесь водоёмы площадью водной поверхности менее 1 км^2 и располагаются они, как правило, группами. Более половины озёр сосредоточено в бассейнах рек Верхней Ангары и Баргузина. Преобладают пресные озёра с минерализацией 100-150 мг/л, в засушливых районах встречаются группы минеральных озёр. В целом мелкосопочный рельеф Юго-Восточного Забайкалья с большим количеством депрессий, которые служат коллектором атмосферных осадков, благоприятствует формированию озёрных систем.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для работы послужили донные отложения малых солёных озёр Забайкалья: Долгое, Большое Окунёвое, Большое Алгинское, Сульфатное, Верхнее Белое (рис. 1). Осадки представлены преимущественно глинисто-алевритовыми отложениями с незначительной примесью песка и

грубообломочного материала. Присутствуют створки раковин моллюсков и диатомеи, а также растительные остатки. В минеральном составе доминируют: кварц, полевые шпаты, слюда, каолинит, смектит и карбонаты. Встречаются гипс, тенардит, пирит. В рамках диссертационных исследований было проанализировано порядка 500 образцов отложений всех представленных озёр.

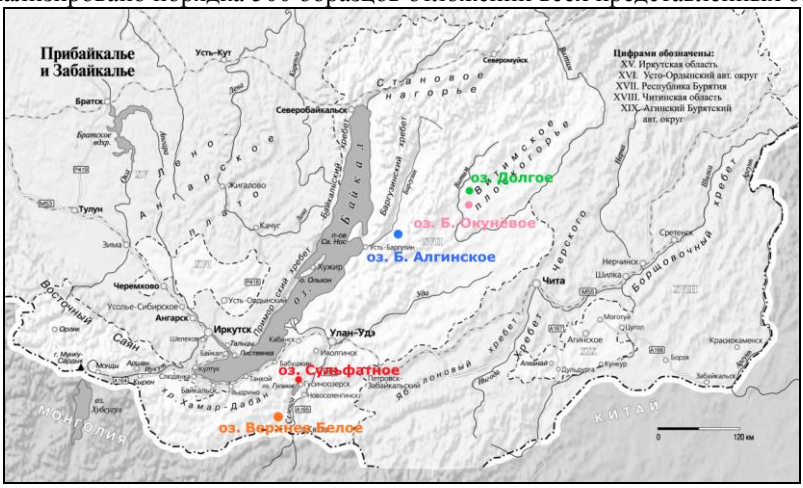


Рис.1. *Карта Забайкалья, на которую схематически нанесены выбранные для изучения озёра (Источник: URL: https://info.wikireading.ru/298249): - озеро Сульфатное; - озеро Большое Алгинское; - озеро Большое Окунёвое; - озеро Долгое; - озеро Верхнее Белое.*

Частота опробования кернов 1 см. Литолого-минералогическое изучение образцов проводилось в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) комплексом методов, включающим лазерную гранулометрию (Analysette-22), рентгеновскую дифрактометрию (ARL X'TRA, излучение CuK_{α}), ИК-спектроскопии (Фурье-спектрометр VERTEX 70 FTI) сканирующую электронную микроскопию (LEO 1430 VP с приставкой EDX OXFORD). Элементный состав установлен методами РФА СИ (Сибирский центр синхротронного излучения, Новосибирск) и атомной абсорбции ААС (SOLAAR M6). Изотопный состав кислорода $\delta^{18}O$ и углерода $\delta^{13}C$ был получен на масс-спектрометре Finnigan MAT 253 с использованием метода Continious Flow и применением устройства пробоподготовки GasBench II. Погрешность анализа для $\delta^{18}O$=0,02‰, для $\delta^{13}C$=0,01‰. Определение возраста осадков проводилось методом радиоуглеродного (^{14}C) датирования по карбонатному и органическому веществу (AMS). Исследования выполнялись в: радиоуглеродной лаборатории ЦКП «Геохронология кайнозоя» СО РАН (г. Новосибирск), радиоуглеродной лаборатории г. Познань (Польша), Центре прикладных изотопных исследований (CATS) университета Джорджии (США), Институте геологии и минералогии университета г. Кельна (Германия), Корейском институте наук о Земле и минеральных ресурсов KIGAM (Южная Корея). Для большинства озёр ^{14}C-датировки были приведены в соответствие с календарным возрастом с использованием калибровочной кривой INTCAL 13 [Reimer et al., 2013]. Калиброванный возраст рассчитывался по программе OxCal 4.2 [Ramsey, 2009]. Для всех образцов было проведено моделирование

карбонатных рентгеновских (XRD) профилей и получена количественная оценка карбонатов с помощью метода ИК-спектроскопии.

ГЛАВА 3. СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВЯ ОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АУТИГЕННЫХ КАРБОНАТОВ (КЛАСС 05 - КАРБОНАТЫ)

При описании карбонатов использовалась классификация Никеля-Штрунца [Strunz, Nickel, 2001], которая принята за основу Комиссией по классификации минералов (CCM) Международной минералогической ассоциацией (IMA). Она основана на химико-структурном принципе. Критерием выделения отделов являются стехиометрическое соотношение атомов элементов, структурный тип, наличие H_2O, OH, дополнительных анионов и т.п. Для выделения подотделов используется положение катиона в периодической таблице. Критерием объединения минералов в группы служит общность кристаллических структур или состава [Смирнов и др., 2015]. Диагностика аутигенных карбонатов проводилась методом рентгеновской дифрактометрии по наиболее интенсивному (I=100%) отражению hkl: для минералов кальцит-доломитового ряда и родохрозита hkl = 104, для арагонита – hkl = 111, для гидромагнезита – hkl = 022, для моногидрокальцита – hkl = 112. Величина межплоскостного расстояния d_{104} (Å) была использована в качестве меры магнезиальности безводных карбонатов кальцит-доломитового ряда, и эта зависимость имеет характер, близкий к линейному [Goldsmith, Graf, 1958; Bischoff et al., 1985]. Значения межплоскостных расстояний для всех представленных карбонатов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Данные межплоскостных расстояний для пика наиболее интенсивного отражения (I=100 %) при диагностике карбонатов методом рентгеновской дифрактометрии.

hkl 104	**Кальцит**	**Mg-кальцит**		**Родохрозит**		**Стехиометрический доломит**	
	d, Å = 3,035	d, Å = 3,004		d, Å = 2,817		d, Å = 2,886	
Ca-избыточный доломит		**Арагонит**		**Гидромагнезит**		**Моногидрокальцит**	
hkl 104	2,91Å>d_{104}>2,89 Å	hkl 111	d, Å = 3,140	hkl 022	d, Å = 2,91	hkl 112	d, Å = 3,074

В данной главе рассмотрены аутигенные карбонаты, обнаруженные в осадках исследуемых малых солёных озёр Забайкалья.

3.1. Отдел 05A – карбонаты без дополнительных анионов и H_2O. Подотдел 05.AB – щелочноземельные карбонаты и другие карбонаты с M^{2+} ионами. 05.AB.05 – группа кальцита.

Кальцит $CaCO_3$

Для описания структуры кальцита традиционно используется структура NaCl в качестве исходной модели. Примитивная элементарная ячейка гранецентрированной кубической структуры NaCl представляет собой ромбоэдр, у которого оси третьего порядка совпадают с такими же осями кубической элементарной ячейки, но объем этого ромбоэдра на одну четверть меньше куба. Если атомы Na заменить атомами Ca, а атомы Cl - на группы CO_3, то

структура станет весьма похожей на кальцитовую. В связи с необходимостью разместить «плоские» группы CO_3 перпендикулярно оси третьего порядка ромбоэдр следует несколько сжать в этом направлении. На рисунке 2 схематически показана модель структуры кальцита, где видно, что слои атомов Ca вдоль оси *c* чередуются с карбонатными слоями.

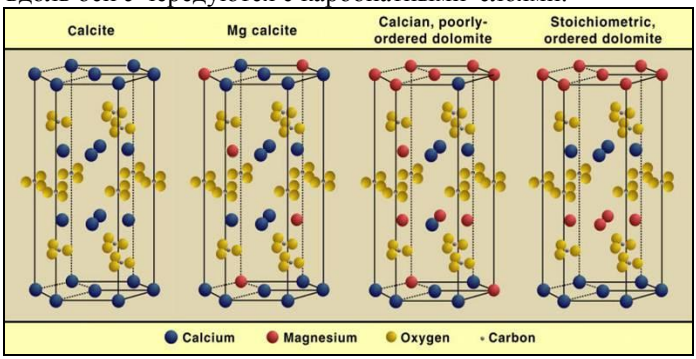


Рис.2. *Схематические изображения структур кальцита, Mg-кальцита, Ca-избыточного доломита и стехиометрического доломита [Deelman, 2011].*

Mg-кальциты

Mg-кальциты являются твёрдыми растворами $MgCO_3$ в кальците. В структуре Mg-кальцитов атомы Ca и Mg беспорядочно распределены по катионным позициям, что сопровождается позиционным беспорядком анионной группы $(CO_3)^{2-}$ [Paquette, Reeder, 1990] (рис. 2). По составу Mg-кальциты разделяются на низко-Mg-кальциты (более стабильные) с содержанием $MgCO_3$ менее 4-5 мол. % (3,036Å>d_{104}>3,02Å), промежуточные Mg-кальциты с 5-18 мол.% $MgCO_3$ в структуре (3,02 Å > d_{104} > 2,98 Å) и высоко-Mg-кальциты кальциты с 18-43 мол.% $MgCO_3$ (2,94Å>d_{104}>2,91Å) [Карбонаты, 1987, Нечипоренко, Бондаренко, 1988; Veizer, 1983; Deelman, 2011]. В настоящее время Mg-кальциты рассматриваются как смешанные кристаллы, без постоянного химического состава, структура которых меняется в ряду кальцит-доломит от истинных твёрдых растворов до смешанослойных структур [Navrotsky, Capobianco, 1987; Deelman, 2011]. При низких содержаниях магния ($MgCO_3$ <18 мол. %) они являются истинными твёрдыми растворами. В остальных случаях - это наноразмерные «доменные» кристаллы, состоящие из последовательности кальцитовых и магнезитовых слоёв, чередующихся с разной степенью порядка, вплоть до составов Ca-избыточных доломитов, что обеспечивает устойчивость Mg-кальцитов в поверхностных условиях (рис. 3).

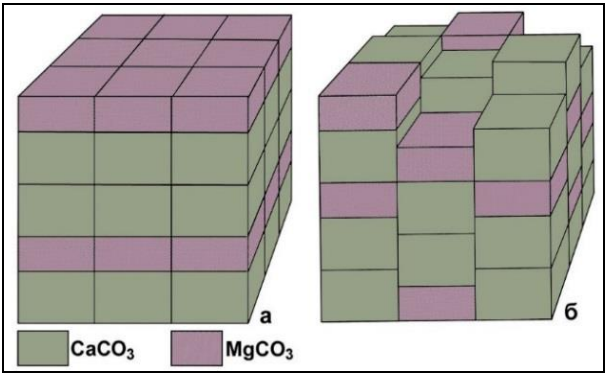


Рис.3. *Различные модели структуры Mg-кальцитов: а – неупорядоченное чередование кальцитовых и магнезитовых слоёв ($MgCO_3$<18 мол.%); б – «доменные» кристаллы нанометрической размерности (30 мол.%<$MgCO_3$<43 мол.%). Зелёные и бордовые ячейки обозначают надмолекулярные структурные единицы [Deelman, 2011].*

Родохрозит $MnCO_3$

Кристаллическая структура родохрозита аналогична структуре кальцита, но отличается меньшими межплоскостными расстояниями, поскольку ионы Mn (0,80 Å) меньше ионов Ca (1,14 Å). Эти минералы образуют между собой ряд смесимости и по мере замещения марганца кальцием ребро элементарной ячейки увеличивается. Карбонатные ионы $(CO_3)^{2-}$ расположены в треугольной плоской конфигурации, а ионы марганца (Mn^{2+}) окружены шестью ионами кислорода в октаэдрической конфигурации. Октаэдры MnO_6 и треугольники CO_3 связаны между собой, образуя трёхмерную структуру.

3.2. Отдел 05A – карбонаты без дополнительных анионов и H_2O. Подотдел 05.AB – щелочноземельные карбонаты и другие карбонаты с M^{2+} ионами. 05.AB.10 – группа доломита.

Стехиометрический доломит $CaMg(CO_3)_2$

Растворимость доломита в воде меньше, чем растворимость кальцита, но в воде, насыщенной углекислым газом, значительно увеличивается вследствие образования бикарбонатов магния и кальция. Пространственная группа доломита ($R\bar{3}$) отличается от кальцитовой ($R\bar{3}c$) отсутствием трансляции вдоль оси c и осей второго порядка. Наиболее просто структуру доломита можно описать как кальцитовую, в которой атомы Ca в каждом втором слое катионов замещены на Mg. Чередование катионов ликвидирует направление трансляции вдоль оси *c* (рис. 2).

Ca-избыточные доломиты

Ca-избыточные доломиты (2,91Å>d_{104}>2,89Å), избыток $CaCO_3$ в которых по разным данным составляет до 7 мол.% по сравнению со стехиометрическим доломитом, обладают более сложной смешанослойной структурой, чем Mg-кальциты. В структуре Ca-избыточных доломитов различное количество нестехиометрических доломитовых слоев чередуется с небольшим количеством кальцитоподобных и стехиометрических доломитовых слоёв в различных пропорциях и с разной степенью порядка [Drits et al., 2005; McCarty et al., 2006]

(рис. 2). Исходя из того, что смешанослойная структура Ca-избыточного доломита более близка к структуре высоко-Mg-кальцита, нежели доломита, можно полагать, что этот смешанный кристалл является крайним членом ряда Ca-Mg безводных карбонатов и образуется в иных условиях, нежели стехиометрический доломит [Deelman, 2011].

3.3. Отдел 05A – карбонаты без дополнительных анионов и H_2O. Подотдел 05.AB – щелочноземельные карбонаты и другие карбонаты с M^{2+} ионами. 05.AB.10 – группа арагонита.

Арагонит $CaCO_3$

Арагонит является второй после кальцита широко распространённой полиморфной модификацией $CaCO_3$. Он образуется при более высоких давлениях и более низких температурах по сравнению с кальцитом. Ромбическая структура арагонитового типа имеет пространственную группу Pmcn с рёбрами элементарной ячейки, подчиняющейся неравенству $a < c < b$. Структуру арагонита можно описать как слои псевдогексагонально сложенных атомов Ca, параллельные оси *c* как ABAB. Слои атомов Ca разделяются слоями групп CO_3, которые имеют псевдогексагональную компоновку в плоскости ab. Обнаружен в середине осадочного разреза оз. Верхнее Белое.

3.4. Отдел 05D – карбонаты с дополнительными анионами и H_2O. Подотдел 05.DA – с катионами среднего размера. 05.DA.05 – группа гидромагнезита.

Гидромагнезит $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$

Гидромагнезит был обнаружен в верхах разреза озера Долгое (впервые в осадках малых озёр Байкальского региона) и является сравнительно редким в природе минералом [Солотчина и др., 2017]. Согласно данным М. Акао и других соавторов [Akao et al., 1974], описавших структуру гидромагнезита, её можно представить как псевдослоистую со слоями, ориентированными параллельно плоскости (100) [Нечипоренко, Бондаренко, 1988]. Особенность этой структуры – наличие крупных полостей размером 4,6x4,6x4,1 Å.

Факторы образования аутигенных карбонатов:

1.) Общая солёность раствора; 2) Отношение $[Mg]^{2+}/[Ca]^{2+}$; 3) Карбонатная щёлочность; 4) Значение pH раствора; 5) Температура; 6) Присутствие органических и неорганических примесей.

Кинетика осаждения карбонатов кальция и магния, минеральный состав определяются величиной Mg/Ca отношения и содержанием CO_3^{2-}, находящихся в прямой зависимости от солёности, pH и общей карбонатной щёлочности ($HCO_3^- + CO_3^{2-}$). Содержание Mg в кальцитах, упорядоченность их структуры, а также степень однородности состава карбонатного осадка находятся в прямой зависимости от скорости кристаллизации этих минералов, определяемой общей концентрацией карбонатных ионов и присутствием примесей в форме органических и неорганических соединений. Увеличение солёности уменьшает энергию гидратации Mg^{2+}, что облегчает включение ионов Mg в карбонатный минерал. Высокая концентрация ионов Mg^{2+} и стабильное пресыщение воды приводит к увеличению $[Mg]^{2+}/[Ca]^{2+}$ отношения и осаждению более магнезиальных карбонатов. Образование в поверхностных условиях вместо стабильного кальцита метастабильных фаз арагонита, а также

моногидрокальцита и гидромагнезита обусловлено высокой концентрацией Mg в растворе. Образование Mg-кальцитов и Ca-избыточных доломитов зависит также от величины $[Mg]^{2+}/[Ca]^{2+}$ отношения.

ГЛАВА 4. МИНЕРАЛОГИЯ ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ СОЛЁНЫХ ОЗЁР ЗАБАЙКАЛЬЯ

В Забайкалье широко распространены озёра с минерализацией более 1 г/л. Согласно классификации А.М. Овчинникова (Овчинников, 1947) их называют минеральными или солёными озёрами. Озёра объединяются в группы, которые, в свою очередь, образуют озёрные системы. Представленные в работе озёра находятся в четырёх группах (Алгинская, Белоозёрская, Гусиноозёрская, Еравнинская), принадлежащие двум основным озёрным системам (Баргузинская, Еравнинско-Гусиноозёрская) (рис. 4).

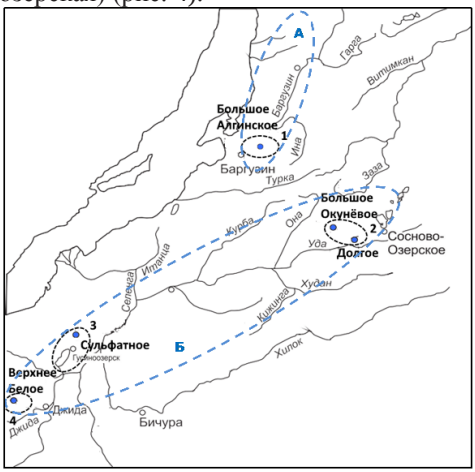


Рис.4. *Схема размещения малых солёных озёр Забайкалья по группам и озёрным системам: А – Баргузинская система малых озёр, Б – Еравнинско-Гусиноозёрская система малых озёр; 1 – Алгинская группа, 2 – Еравнинская группа, 3 – Гусиноозёрская группа, 4 – Белоозёрская группа [Скляров и др., 2011, Плюснин и др., 2020]*.

Водно-солевое питание озёра получают в основном за счёт атмосферных осадков, а также за счёт разгрузки подземных вод. Различные комбинации главных анионов (CO_3^{2-}, HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^-) с главными катионами (Ca^{2+}, Mg^{2+} и Na^+) формируют три основных типа солоноватых и солёных озёрных вод: карбонатные, сульфатные и хлоридные (Валяшко, 1939). А с учётом некоторых геохимических параметров, таких как pH, солёность и карбонатная щёлочность, С.Л. Шварцев выделяет три геохимических типа озёр: содовые, сульфатные и хлоридные (Шварцев и др., 2014). На рисунке 5 приведена диаграмма анионно-катионного состава воды исследованных автором малых солёных озёр Забайкалья. Главными анионами является HCO_3^- и SO_4^{2-}, а катионом – Na^+. По этим параметрам озёра были объединены в две группы: I – группа содовых озёр, II – группа сульфатных озёр.

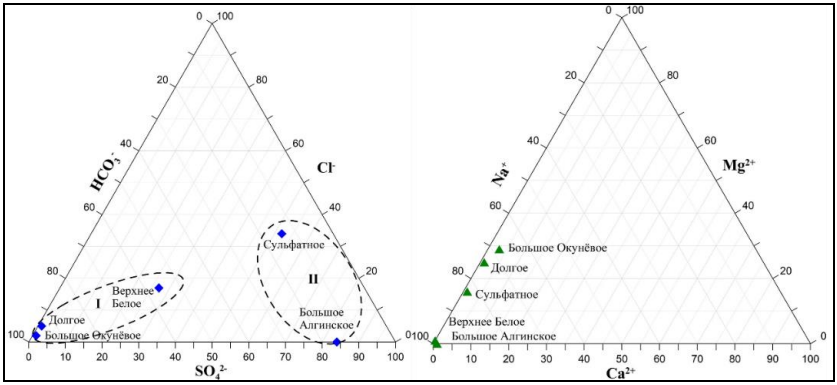


Рис.5. *Диаграмма анионного и катионного состава воды малых солёных озёр Забайкалья. Область I объединяет группу содовых озёр, II – группу сульфатных озёр (пунктирная линия).*

В группу содовых озёр входят Верхнее Белое, Долгое и Большое Окунёвое. Концентрации в них основного HCO_3^- аниона составляют 54, 94 и 96 мг-экв % соответственно. В водах оз. Верхнее Белое отмечается также присутствие 27 мг-экв % SO_4^{2-} аниона и 17 мг-экв % аниона Cl^-. Концентрации главного катиона Na^+ составляют соответственно 99, 74 и 68 мг-экв %. В озёрах Долгое и Большое Окунёвое присутствуют также 25 и 29 мг-экв % катиона Mg^{2+}. Озёра Большое Алгинское и Сульфатное относятся к сульфатной группе озёр. Концентрации главного аниона SO_4^{2-} здесь составляют 84 и 52 мг-экв %. В водах оз. Сульфатное содержится 34 мг-экв % Cl^-. В обоих озёрах также присутствует и HCO_3^- анион, 16 и 14 мг-экв % соответственно. Na^+ является основным катионом, его содержания составляю 99 и 83 мг-экв %. Для оз. Сульфатное отмечается 16 мг-экв % катиона Mg^{2+}.

Разложением XRD многокомпонентных профилей карбонатов на индивидуальные пики функцией Пирсона VII были диагностированы в образцах отложений *оз. Верхнее Белое* положения максимумов, интегральная интенсивность основных аналитических пиков (hkl=104) отдельных карбонатных фаз и получены их количественные соотношения. Диагностировано до 6 карбонатных фаз, которые в основном представленны минералами кальцит-доломитового ряда (рис.6).

Вдоль линии вертикального профиля наблюдаются заметные изменения в количественном соотношении между Mg-кальцитами разной степени магнезиальности и Ca-избыточными доломитами. Также в ряде образцов на глубине 22-55 см был обнаружен в следовых количествах арагонит, диагностированный по основному пику в области углов $2\Theta^o CuK_\alpha$ ~26.2 (d_{111}= 3,40Å) (рис. 7).

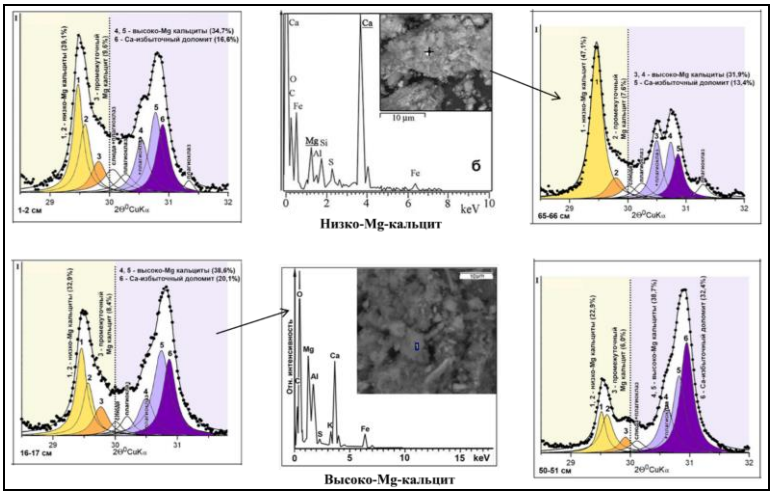


Рис.6. *Результаты моделирования экспериментальных XRD профилей (hkl= 104) аутигенных карбонатов и энергодисперсионные спектры с морфологией частиц низко-Mg-кальцита (гл. 65-66 см) и высоко-Mg-кальцита (гл. 16-17 см) в осадках содового озера Верхнее Белое. 1-6 – индивидуальные модельные профили XRD. Наблюдается хорошее соответствие суммарных модельных профилей (сплошная линия) с экспериментальными (пунктирная линия). Общее содержание карбонатов в образце принимается за 100%.*

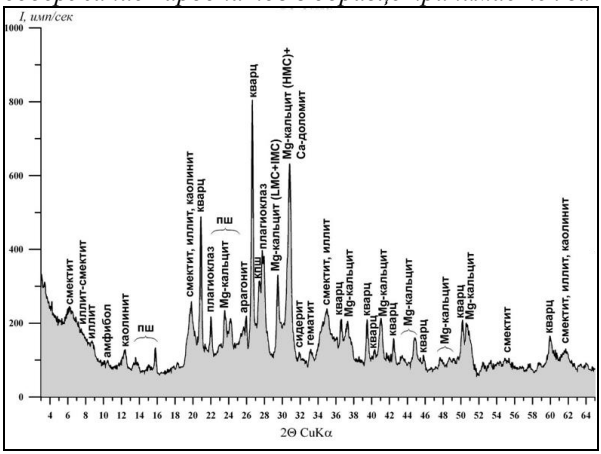


Рис. 7. *Дифрактограмма образца из нижнего горизонта осадочного разреза содового озера Верхнее Белое. LMC – низко-Mg-кальцит, IMC – промежуточный Mg-кальцит, HMC – высоко-Mg-кальцит.*

В отложениях *оз. Долгое* было установило присутствие до 5 минеральных фаз. Это Mg-кальциты разной степени магнезиальности и Ca-избыточные доломиты, содержание которых заметно меняется вдоль всего разреза. В отдельных образцах нижних горизонтов обнаружен в следовых количествах родохрозит. В отложениях верхних 12 см осадочного разреза впервые в осадках малых солёных озёр Байкальского региона обнаружен гидромагнезит.

Основными аутигенными карбонатами донных осадков *оз. Большое Окунёвое* также являются минералы кальцит-доломитового ряда. На модельных XRD спектрах карбонатов доминируют низко-Mg-кальциты и промежуточные Mg-кальциты. В небольшом количестве присутствуют высоко-Mg-кальциты и Ca-избыточные доломит, общее содержание которых вдоль линии вертикального профиля не превышает 1,5 мас. % от минерального состава осадков.

Установлено, что аутигенные карбонаты *оз. Сульфатное* представлены Mg-кальцитами разной степени магнезиальности и Ca-избыточными доломитами, содержание которых меняется вдоль линии вертикального профиля (рис. 8). В осадках *оз. Большое Алгинское* помимо аутигенного кальцита также были обнаружены низко-Mg-кальциты, которые появляются в осадочной толще с глубины ~47 см. По данным электронно-микроскопического изучения образцов осадков озёр, Mg-кальциты и Ca-избыточные доломиты представляют собой плохо окристаллизованные, тонкозернистые, пелитоморфными агрегаты, изучение структурных особенностей которых стало возможным благодаря методу математического моделирования (XRD) спектров (рис. 6, 8).

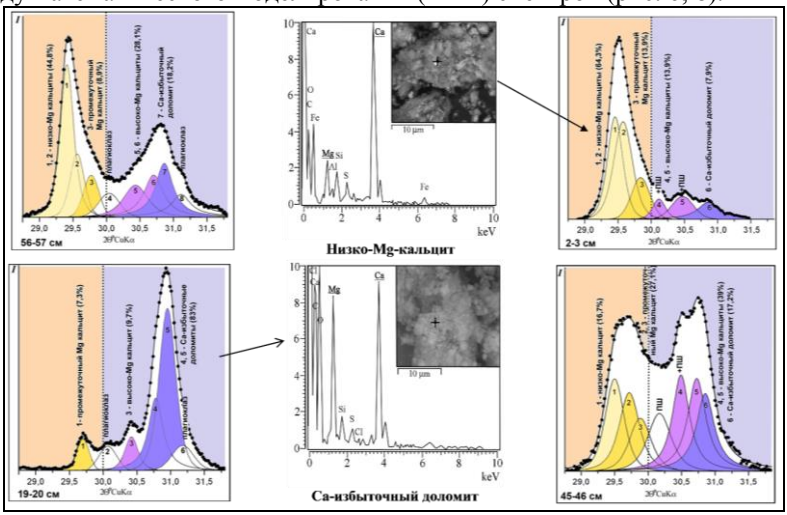


Рис.8. *Результаты моделирования экспериментальных XRD профилей (hkl= 104) аутигенных карбонатов и энергодисперсионные спектры с морфологией частиц низко-Mg-кальцита (гл. 2-3см) и Ca-избыточного доломита (гл. 19-20 см) в осадках сульфатного озера Сульфатное. 1-8 – индивидуальные модельные профили XRD. Общее содержание карбонатов в образце принимается за 100%. I – относительная интенсивность***.**

ГЛАВА 5. АУТИГЕННЫЕ КАРБОНАТЫ — МИНЕРАЛЬНЫЕ ИНДИКАТОРЫ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

Хронологическая основа для расчленения голоцена впервые была создана Г. Де Геером (De Geer, 1940) на основе варвометрических исследований озёрных отложений в Швеции. При этом нижняя граница голоцена проводилась по времени распада Скандинавского ледника на две части (около 8.7 тыс. кал.

л.н.). Сейчас эта граница проводится в начале резкого потепления, около 10.3 тыс. к.л.н. (^{14}C), что соответствует 11.5 тыс. к.л.н.

Сравнивая нижние возрастные границы осадочных разрезов можно выделить две группы озёр, близкие по времени начала их формирования и находящиеся в одних или соседних озёрных группах: I – озеро Верхнее Белое (Джидинская котловина, ~10800 к.л.) и озеро Сульфатное (Гусиноозёрская котловина, 6636 к.л.), начало формирования в бореальный-атлантический периоды голоцена; II – озеро Большое Алгинское (Баргузинская котловина, ~5600 к.л.), озёра Долгое и Большое Окунёвое (Еравнинская котловина, 1070 к.л. и 563 к.л. соответственно), начало формирования в суббореальный-субатлантический периоды голоцена (рис. 9).

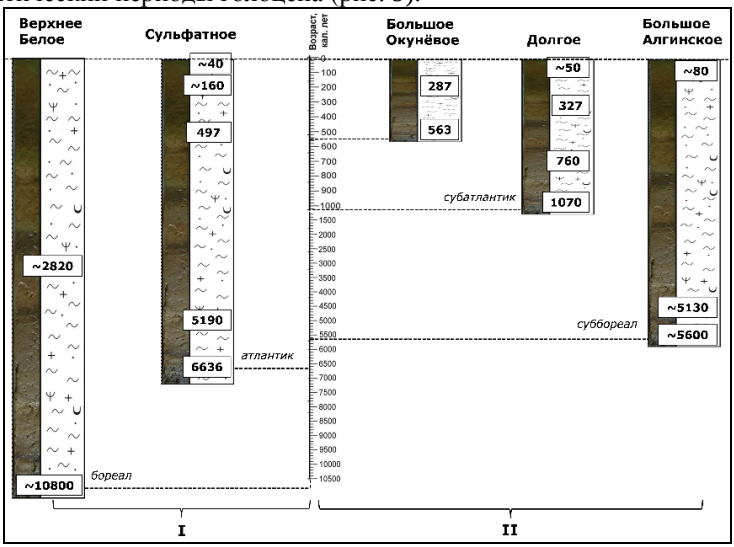


Рис.9. *Корреляция осадочных разрезов, исследованных малых солёных озёр Забайкалья, по возрастным границам: I – Начало формирования в бореальный-атлантический периоды голоцена (Сульфатное, Верхнее Белое), II – Начало формирования в суббореальный-субатлантический периоды голоцена (Долгое, Большое Окунёвое, Большое Алгинское).*

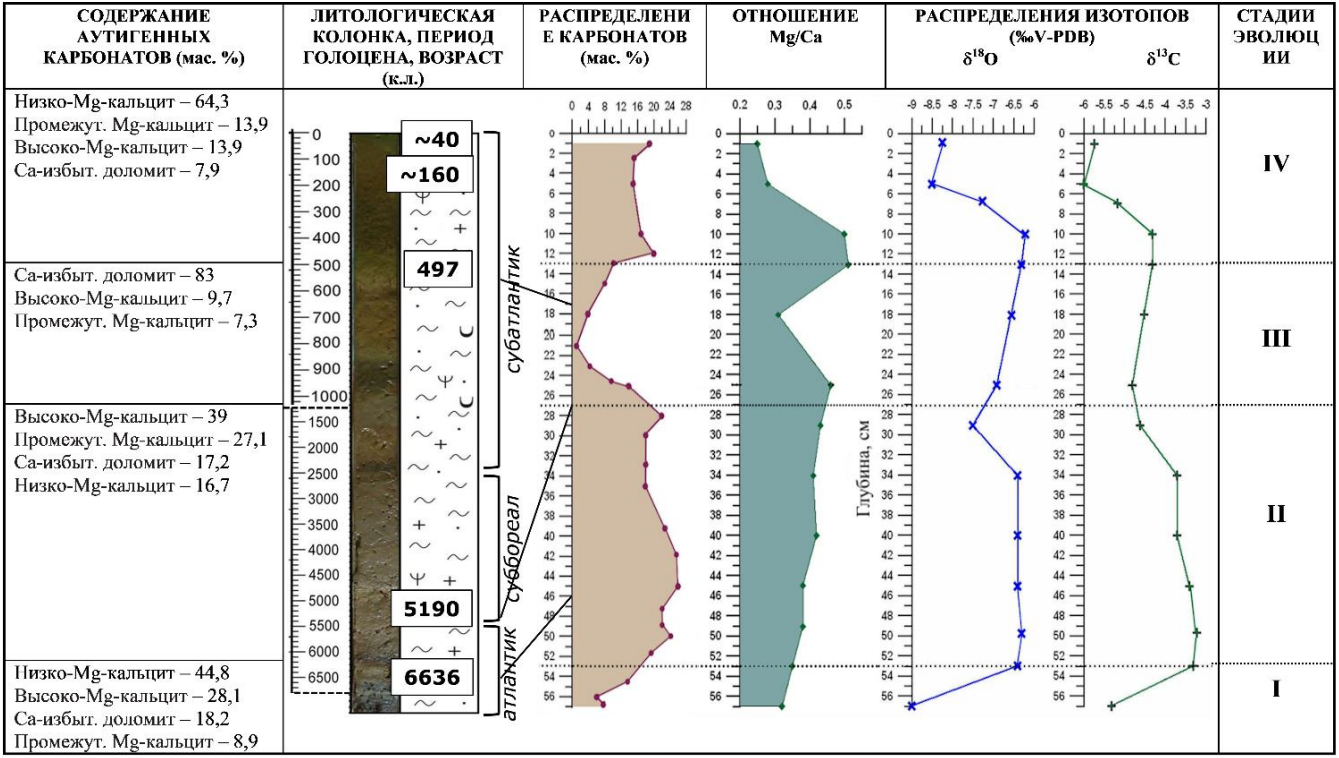
В первую возрастную группу для сравнения добавлены более поздние материалы климатических моделей озёр Большое Яровое и Большой Баган (Западная Сибирь), полученные совсем недавно.

По результатам исследования выделены стадии эволюции водных бассейнов исследованных малых солёных озёр и области преимущественной аридизации/гумидизации климата голоцена (таблица 2-6).

Самым молодым из исследованных озёр является Большое Окунёвое, оно образовалось примерно ~ 560 к.л.н в поздний субатлантический период голоцена. В подошве осадочного разреза преобладают низко-Mg-кальциты (до 84 мас. %). На глубине 45 см наблюдается максимум карбонатонакопления в осадках, возрастная отметка составляет 287 к.л.н., осаждаются преимущественно промежуточные Mg-кальциты (до 74 мас. %),

свидетельствующие об усилении аридности климата голоцена на данном этапе формирования озера. В завершающую стадию его формирования обстановка в озере улучшается, происходит опреснение водоёма, осаждаются в основном низко-Mg-кальциты (до 63 мас. %). Начало формирования озера Долгое началось 1070 к.л.н. в среднем субатлантическом периоде голоцена, который характеризуется в общем влажным и прохладным климатом, близким к современному. В низах осадочного разреза преобладают низко-Mg-кальциты (31 мас. %) и промежуточные Mg-кальциты (32 мас. %), которые с глубины 45 см сменяются преимущественным осаждением высоко-Mg-кальцитов (66 мас. %), климат становится суше. Выше по разрезу появляется гидромагнезит, который в кровле разреза становится доминирующим карбонатным минералом (~70-75 мас. %). Озеро Большое Алгинское сформировалось около ~5600 к.л.н., на границе атлантического и суббореального периодов. Хемогенные карбонаты представлены кальцитом с минимальным (5-10 мас. %) содержание в подошве осадочного разреза, озеро было мелководным. Вверх по разрезу карбонатонакопление увеличивается. В интервале глубины 10-47 см в осадках отмечается низко-(~32 мас. %). В верхнем горизонте осадочной толщи низко-Mg-кальцит исчезает, содержание аутигенного кальцита достигает максимального количества 45-50 мас. % минеральной компоненты осадка. Возраст начала образования озера Сульфатное составляет 6630 к.л.н. и образовалось оно в средний атлантический период голоцена. Климат в данный период времени умеренно-континентальный, в осадках преобладают низко-Mg-кальциты (~45 мас. %). Во вторую половину атлантического периода климат становится засушливым, преобладают высоко-Mg-кальциты (39 мас. %) и промежуточные Mg-кальциты (27 мас. %). В суббореальный период карбонатонакопление уменьшается, образуются преимущественно Ca-избыточные доломиты (до 83 мас. %), происходит усиление аридности. В результате увлажнения климата в субатлантический период, происходит обводнение озёрной котловины, формируются преимущественно низко-Mg-кальциты (до 64 мас. %). Самым древним из исследованных озёр является Верхнее Белое, начала формирования которого происходит 10810±280 к.л.н., дата перехода от пребореального к бореальному периоду голоцена. В низах осадочного разреза преобладают низко-Mg-кальциты (47 мас. %), осаждение которых сопровождается самыми низкими значениями Mg/Ca и Sr/Ca отношений, что указывает на высокий уровень стояния воды в озере. Вверх по разрезу скорость осадконакопления уменьшается, происходит увеличение содержания высоко-Mg-кальцитов и Ca-доломита, на долю которых в общей сложности приходится ~70-75 мас. % от суммы карбонатов. Также вместе с ними образуется небольшое количество арагонита, что указывает на повышенные концентрации в воде Mg^{2+} и ее солёность. Затем озёрная котловина постепенно начинает обводняться, о чём можно судить по увеличению содержания в осадках низко-Mg и промежуточных Mg-кальцитов.

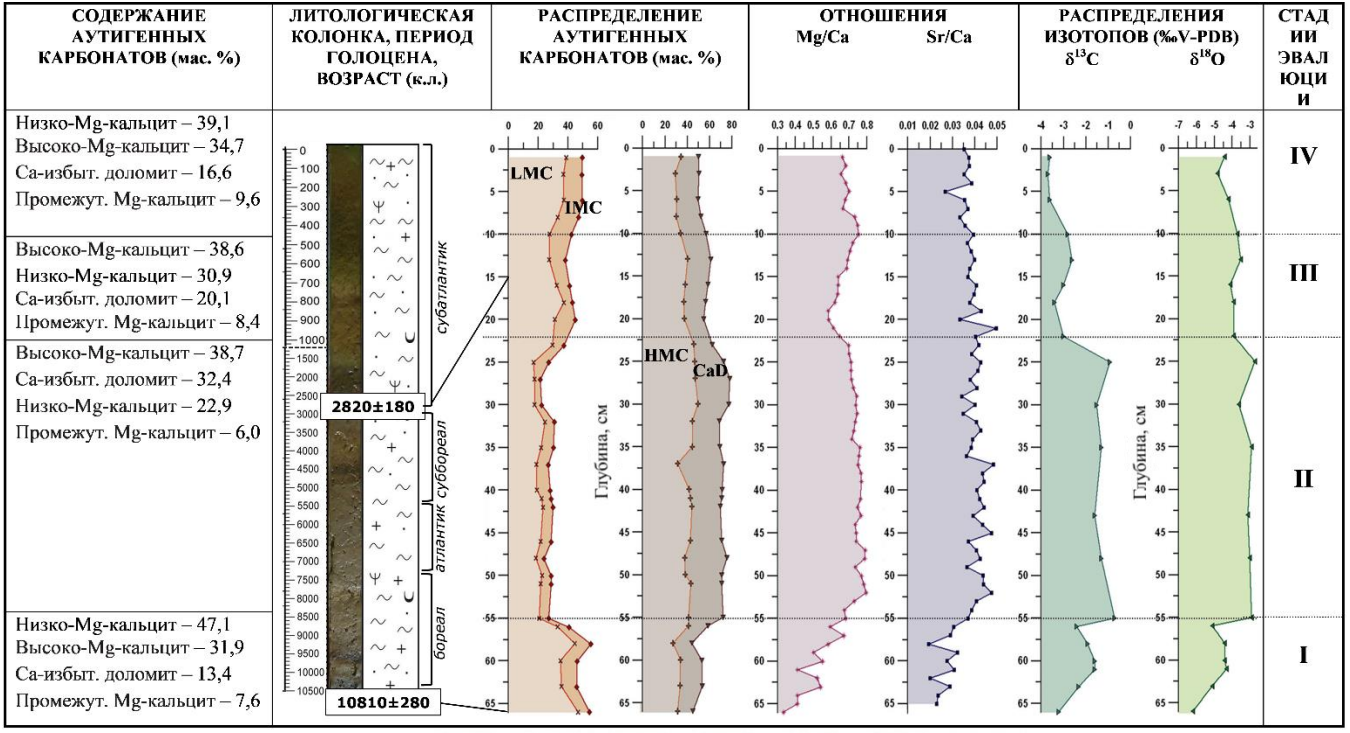
Таблица 2. Сводная таблица основных характеристик карбонатной компоненты осадков сульфатного озера **СУЛЬФАТНОЕ.**



ПРИМЕЧАНИЕ: условные обозначения 1 2 3 4 5 6 7

1 - пелит, 2 – алеврит, 3 – песок, 4 – гравий, 5 – диатомеи, 6 – раковины моллюсков, 7 - растительные остатки.

Таблица 3. Сводная таблица основных характеристик карбонатной компоненты осадков содового озера **ВЕРХНЕЕ БЕЛОЕ.**

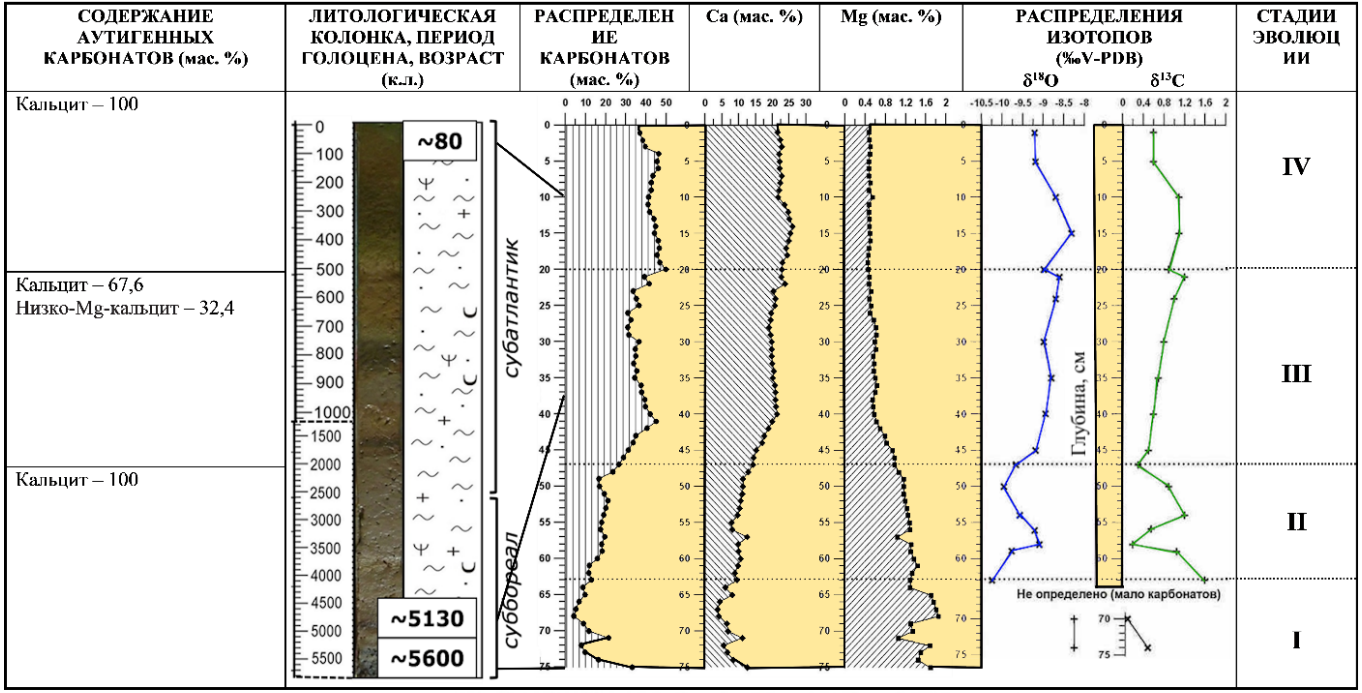


ПРИМЕЧАНИЕ: условные обозначения 1 2 3 4 5 6 7

1 - пелит, 2 – алеврит, 3 – песок, 4 – гравий, 5 – диатомеи, 6 – раковины моллюсков, 7 - растительные остатки.

LMC – низко-Mg-кальцит, IMC – промежуточный Mg-кальцит, HMC – высоко-Mg-кальцит, CaD – Са-избыточный доломит.

Таблица 4. Сводная таблица основных характеристик карбонатной компоненты осадков сульфатного озера **БОЛЬШОЕ АЛГИНСКОЕ.**

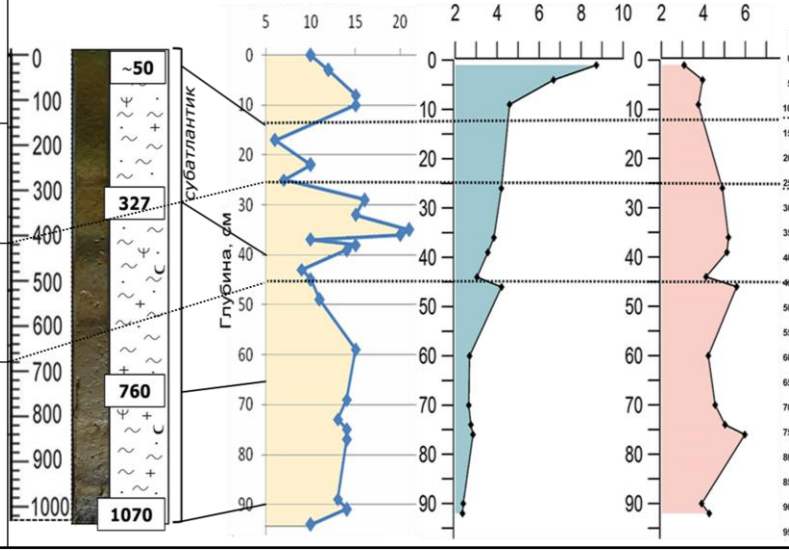


ПРИМЕЧАНИЕ: условные обозначения 1 2 3 4 5 6 7

1 - пелит, 2 – алеврит, 3 – песок, 4 – гравий, 5 – диатомеи, 6 – раковины моллюсков, 7 - растительные остатки.

Таблица 5. Сводная таблица основных характеристик карбонатной компоненты осадков содового озера **ДОЛГОЕ.**

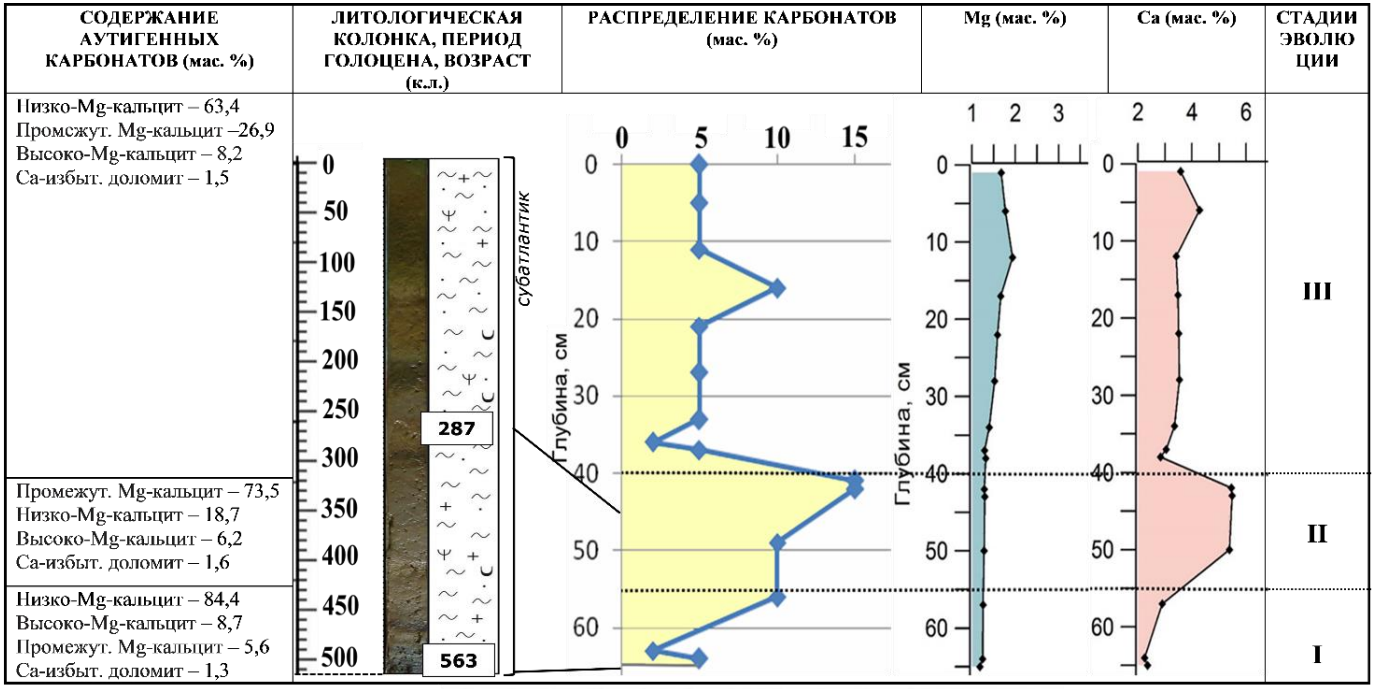
СОДЕРЖАНИЕ АУТИГЕННЫХ КАРБОНАТОВ (мас. %)	ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА, ПЕРИОД ГОЛОЦЕНА, ВОЗРАСТ (к.л.)	РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАРБОНАТОВ (мас. %)	Mg (мас. %)	Ca (мас. %)	РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ (‰V-PDB) $\delta^{18}O$ $\delta^{13}C$	СТАДИИ ЭВОЛЮЦИИ
Гидромагнезит – 70 Высоко-Mg-кальцит +Са-избыт. доломит – 11,5 Промежут. Mg-кальцит – 11,2 Низко-Mg-кальцит – 7,3						IV
Высоко-Mg-кальцит – 48,8 Са-избыт. доломит – 17,8 Промежут. Mg-кальцит – 17,1 Низко-Mg-кальцит – 16,2						III
Высоко-Mg-кальцит – 65,6 Низко-Mg-кальцит – 15,8 Промежут. Mg-кальцит – 15 Са-избыт. доломит – 3,6						II
Промежут. Mg-кальцит – 32 Высоко-Mg-кальцит – 31,1 Низко-Mg-кальцит – 30,8 Са-избыт. доломит – 5,7 Родохрозит – 0,5						I



ПРИМЕЧАНИЕ: условные обозначения 1 2 3 4 5 6 7

1 - пелит, 2 – алеврит, 3 – песок, 4 – гравий, 5 – диатомеи, 6 – раковины моллюсков, 7 - растительные остатки.

Таблица 6. Сводная таблица основных характеристик карбонатной компоненты осадков содового озера **БОЛЬШОЕ ОКУНЁВОЕ.**



ПРИМЕЧАНИЕ: условные обозначения 1 2 3 4 5 6 7

1 - пелит, 2 – алеврит, 3 – песок, 4 – гравий, 5 – диатомеи, 6 – раковины моллюсков, 7 - растительные остатки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе изучалась хемогенная составляющая голоценовых озёрных отложений малых солёных озёр Забайкалья, а именно низкотемпературные карбонаты кальцит-доломитового ряда, а также ряд других карбонатных минералов, эпизодически присутствующих в осадках в подчиненных количествах. Аутигенные карбонаты исследуемых озёр, содержание которых в осадках колеблется в интервале 5-50 мас. % от минерального состава, в основном относятся к кальцит-доломитовому ряду и сложены кальцитом, Mg-кальцитами $(Ca,Mg)CO_3$ разной степени магнезиальности и Ca-избыточными доломитами. В низах разреза оз. Долгое обнаружен родохрозит, а в верхах разреза, впервые в осадках малых озёр Байкальского региона, обнаружен гидромагнезит $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$. Встречаются и более метастабильные хемогенные карбонаты – арагонит и моногидрокальцит. Аридизация климата сопровождается снижением уровня воды и ростом Mg/Ca отношения. Вследствие роста этого отношения происходит осаждение высоко-Mg-кальцитов и Ca-избыточных доломитов. Гумидизация климата приводит к снижению степени магнезиальности карбонатов кальцит-доломитового ряда (осаждение промежуточных и низко-Mg-кальцитов). Образование гидромагнезита обусловлено высокой концентрацией ионов Mg в растворе и высокой карбонатной щёлочностью, а также pH ≈ 9.

На основании проведенных комплексных исследований, базирующихся на детальном анализе минералогии и кристаллохимии низкотемпературных карбонатов осадков малых солёных озёр Забайкалья и озёр Большой Баган и Большое Яровое юга Западной Сибири, были выделены стадии эволюции изученных озёрных бассейнов в голоцене, отвечающие циклам иссушения/увлажнения регионального климата.

Список публикаций по теме диссертации.

Статьи в рецензируемых научных журналах по списку ВАК:

1. **Даниленко И.В.**, Солотчин П.А., Солотчина Э.П. Минералогические и кристаллохимические индикаторы изменений климата голоцена в осадках озера Долгое (Западное Забайкалье). Вопросы Естествознания, 2015. т. 3, № 7, с. 88-95.
2. **Даниленко И.В.**, Солотчин П.А., Солотчина Э.П. Минералогия голоценовых осадков малых озер Байкальского региона: связь с палеоклиматом. Известия РАН. Серия географическая. 2015. № 4, с. 107–112.
3. Солотчина Э.П., Скляров Е.В., Солотчин П.А., Замана Л.В., **Даниленко И.В.**, Склярова О.А., Татьков П.Г. Аутигенное карбонатообразование в озерах Еравнинской группы (Западное Забайкалье): отклик на изменения климата голоцена. Геология и геофизика, 2017, т. 58, № 11, 1749-1763.
4. Жданова А.Н., Солотчина Э.П., Солотчин П.А., Кривоногов С.К., **Даниленко И.В.** Отражение изменений климата голоцена минералогии донных осадков Ярковского плеса озера Чаны (юг Западной Сибири). Геология и геофизика, 2017, т. 58, № 6, с. 856-868.
5. Солотчин П.А., Солотчина Э.П., Скляров Е.В., Страховенко В.Д., Жданова А.Н., **Даниленко И.В.** Аутигенное карбонатообразование в малых озёрных бассейнах Западного Забайкалья. Вестник Забайкальского государственного университета, 2018, т. 24, № 6, 45-54.

6. Солотчин П.А., Солотчина Э.П., Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Кривоногов С.К., Жданова А.Н., **Даниленко И.В.** Карбонатная седиментация в высокоминерализованном озере Большой Баган (юг Западной Сибири): зависимость от изменений климата голоцена. Геология и геофизика, 2023, т. 64, № 9, с. 1318-1329.
7. Солотчина Э.П., Солотчин П.А., Безрукова Е.В., Жданова А.Н., Щетников А.А., **Даниленко И.В.**, Кузьмин М.И. Минералогические индикаторы климата голоцена в осадках высокогорного озера Саган-Нур (Восточный Саян). Доклады Российской академии наук, 2024, т. 517, № 2, с. 262-270.
8. Солотчин П.А., Солотчина Э.П., Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Жданова А.Н., Кривоногов, С.К., **Даниленко И.В.** Минералогия голоценовых осадков озера Большое Яровое (юг Западной Сибири): роль климатического фактора // Геология и геофизика, 2025, DOI: 10.15372/GiG2025156.
9. Даниленко И.В, Солотчин П.А. Минеральные индикаторы климата в голоценовых донных осадках соленых озер Западного Забайкалья // Вестник Евразийской науки, 2025, т. 17, № 4, URL: https://esj.today/PDF/29NZVN425.pdf (дата обращения: 01.10.2025).

Тезисы докладов:

1. **Даниленко И.В.**, Солотчин П.А., Солотчина Э.П. Минералогические индикаторы климатических изменений в голоценовых осадках малых озер аридных зон Байкальского региона. Тезисы докладов Международной школы-конференции молодых ученых «Изменения климата и природной среды Северной Евразии: анализ, прогноз, адаптация». Москва-Кисловодск, 2014, с. 239-242.
2. **Даниленко И.В.**, Бердюгина К.Р., Солотчин П.А., Солотчина Э.П. Минералогия хемогенных карбонатов голоценовых осадков озера Сульфатное (Западное Забайкалье). Тезисы докладов VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле, Новосибирск, 2014, с. 71-72.
3. Солотчин П.А., **Даниленко И.В.**, Бердюгина К.Р. Минералогия и кристаллохимия озерных карбонатов кальцит-доломитового ряда как основа для региональных палеоклиматических реконструкций. Материалы XVIII Международного совещания по кристаллохимии, рентгенографии и спектроскопии минералов. Екатеринбург, 2014, с. 180-182.
4. Solotchina E.P., Solotchin P.A., **Danilenko I.V.,** Markova Yu.N. Carbonate mineralogy of sediments from shallow lakes of Baikal region: water balance and paleoclimatic conditions. Paleolimnology of Northern Eurasia. Experience, Methodology, Current Status: Proceedings of the International Conference, Yakutsk, 22 -27 August, 2016, p. 152-155.
5. Солотчина Э.П., Солотчин П.А., **Даниленко И.В.**, Жданова А.Н. Аутигенное минералообразование в донных отложениях озера Арахлей (Центральное Забайкалье): роль природно-климатических факторов. Материалы минералогического семинара с международным участием «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения – 2018)», Сыктывкар, 2018, с. 63-64.
6. Solotchina E.P., Solotchin P.A., Sklyarov E.V., **Danilenko I.V.** Mineralogy and crystal chemistry of authigenic carbonates from calcite-dolomite series of shallow lakes sediments (Baikal region). Proceedings of the 3rd International conference "Paleolimnology of Northern Eurasia: experience, methodology, current status and young scientists school in microscopy skills in paleolimnology" Kazan, Republic of Tatarstan, Russia, 1–4th of October, 2018, p. 115-118.
7. Солотчин П.А., Солотчина Э.П., **Даниленко И.В.** Особенности хемогенного карбонатообразования в донных отложениях малых озер аридных и семиаридных зон Северной Азии. Материалы 12-го Уральского литологического совещания «Осадочная геология Урала и прилежащих регионов: сегодня и завтра», Екатеринбург, 2018, с. 329-331.