

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Солотчина Павла Анатольевича** «Литолого-минералогические летописи донных отложений озер Сибирского региона как основа палеоклиматических реконструкций», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 – геоэкология

За последние несколько десятилетий проблема изменения климата на планете стала одной из самых обсуждаемых тем в научном сообществе. Продолжается дискуссия о вкладе естественных и антропогенных процессов в современное потепление, неясна причина внезапных кратковременных климатических сдвигов и их периодичность, особенно для внутриконтинентальных областей. Тем не менее, очевидно, что достоверный прогноз дальнейшей эволюции климата, как в глобальном масштабе, так и на уровне отдельных регионов земного шара невозможен без изучения климатических событий прошлых эпох. В этой связи диссертационная работа П.А. Солотчина, посвященная реконструкциям природно-климатических изменений на территории Сибири в плейстоцен-голоценовое время, является, безусловно, актуальным научным исследованием, имеющим как теоретическую, так и практическую значимость.

В основе предложенного подхода к палеоклиматическим реконструкциям лежит комплексное изучение донных осадков озер различной минерализации. Озера, наряду с другими природными архивами (ледниками, болотами, деревьями и др.), хранят уникальные записи эволюции окружающей среды и климата на протяжении всей истории своего существования. Как показали проведенные автором исследования, в вещественном составе озерных отложений фиксируются отчетливые признаки как длительных, так и короткопериодических изменений физико-химических параметров среды и природно-климатических обстановок седиментации.

На основании детальных минералого-кристаллохимических исследований диссертанту удалось выявить целый ряд минералов-индикаторов палеоклимата. Сопоставление полученных данных с результатами литологического, геохимического, палинологического и других анализов позволило автору выделить стадии эволюции отдельных озерных бассейнов, построить региональные летописи плейстоцен-голоценового климата Сибири и провести корреляции с глобальными климатическими событиями. Следует отметить, что работа П.А. Солотчина вносит вклад в решение фундаментальной научной задачи – изучение процессов континентального седиментогенеза.

Объектами исследований послужили позднечетвертичные донные отложения 25 озер Восточной и Западной Сибири, среди которых есть и мелководные соленые водоемы площадью менее 1 км, и крупнейшие бассейны Байкальской рифтовой зоны – Байкал и Хубсугул. Собранная и проанализированная при выполнении работы база данных достаточно представительна и включает результаты изучения более 1500 образцов. По теме диссертации опубликовано 88 работ, в том числе 39 статей в рецензируемых отечественных и зарубежных изданиях, 1 коллективная монография, а также 48 публикаций в сборниках трудов международных и российских конференций.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объем работы составляет 237 страниц, включая 107 рисунков и 27 таблиц. Список литературы насчитывает 316 наименований.

Во **введении** обосновывается актуальность диссертации, определяются цель, задачи и объекты исследования, формулируются защищаемые положения и научная новизна результатов. Здесь же приводятся сведения об объеме проделанной работы, ее научной и практической значимости, апробации результатов и личном вкладе автора.

В **главе 1 «Озерный седиментогенез в Сибири: состояние изученности»** обосновывается высокая значимость изучения донных осадков озер как для решения теоретических вопросов континентального седиментогенеза, так и для проведения региональных палеоклиматических реконструкций. Далее приводится ретроспективный обзор озероведческих исследований на территории Сибири с разбиением на исторические этапы. Автор достаточно подробно останавливается на современном этапе изучения озерных отложений, справедливо замечая, что заметный рост интереса к ним, проявившийся в конце XX – начале XXI вв., во многом объясняется необходимостью получения достоверных данных о климате прошлого. Тем не менее, несмотря на возросшее число публикаций, посвященных различным аспектам исследований озер Сибири, количество работ, где рассматриваются собственно процессы седиментации и минеральный состав донных осадков, сравнительно невелико. В конец главы помещен раздел, где приводится краткая типизация озер по ряду характеристических признаков: площади, глубине, минерализации и др.

В **главе 2 «Методы исследований озерных осадков»** рассматривается использованный П.А. Солотчинным в своей работе представительный комплекс методов, включающий гранулометрический, рентгеноструктурный, ИК-спектроскопический, элементный, изотопный, электронно-микроскопический и другие виды анализов. Поскольку одной из главных задач, которые поставил перед собой диссертант, было выявление минералов-индикаторов палеообстановок осадконакопления, ведущим методом исследований стала рентгеновская дифрактометрия (XRD).

Особого внимания заслуживают описанные в **разделе 2.2.** методы математического моделирования рентгеновских дифракционных профилей, которые являются собственной разработкой, осуществленной коллективом специалистов Института геологии и минералогии СО РАН при непосредственном участии автора диссертации. Данные методики применялись в работе для дифференциальной диагностики, анализа природных ассоциаций, реальной структуры и кристаллохимических характеристик хемогенных карбонатов (солончатые и соленые озера) и слоистых силикатов (пресные озера), поскольку именно эти компоненты озерных осадков отчетливо реагируют на изменения природно-климатических обстановок. Модельный подход к анализу XRD профилей карбонатов с помощью функции Пирсона VII позволил установить, что основными климатическими маркерами в изученных отложениях являются минералы кальцит-доломитового ряда – магнезиальные кальциты (которые по содержанию $MgCO_3$ в структуре подразделяются на 3 группы: высоко-Mg, промежуточные и низко-Mg), а также Са-избыточные доломиты. Показано, что аридизация климата приводит к осаждению серии высокомагнезиальных кальцитов и Са-доломитов, в то время как теплый и влажный климат способствует формированию низкомагнезиальных и промежуточных Mg-кальцитов. С помощью метода математического моделирования исследовались также ассоциации, состав, структура, типоморфные особенности слоистых силикатов в осадках пресноводных озер. Указанные характеристики филлосиликатов отражают физико-химические обстановки выветривания и переноса вещества и позволяют восстанавливать ландшафтно-палеогеографические и палеоклиматические условия седиментации.

В **главах 3–6** излагаются конкретные результаты проведенных исследований. Главы 3, 4 и 6 посвящены изучению донных отложений преимущественно солончатоводных и соленых озер Забайкалья, Прибайкалья и юга Западной Сибири; в главе 5 рассматриваются глубоководные пресные озера Байкальской рифтовой зоны и Восточного Саяна. Каждая глава предваряется вводной частью, в которой дается характеристика физико-географических, геолого-геоморфологических, тектонических и других особенностей изучаемых территорий, а также общий обзор расположенных в их пределах озер.

Глава 3 «Донные осадки озер Забайкалья» посвящена результатам изучения позднплейстоцен-голоценовых отложений озер Бурятии и западных районов Забайкальского края. Автором были изучены датированные осадочные разрезы девяти бассейнов различной площади, глубины и минерализации. Исследования показали, что в составе кластической компоненты осадков всех озер преобладают пелит и алеврит. Обломочная часть представлена кварцем, плагиоклазами, КПШ, слоистыми силикатами,

амфиболом. Среди аутигенных минералов в отложениях солоноватоводных и соленых озер Забайкалья доминируют карбонаты кальцит-доломитового ряда, представленные Mg-кальцитами различной степени магнезиальности и Са-избыточными доломитами; встречаются также арагонит, стехиометрический кальцит и гидромагnezит. Дифференциальная диагностика карбонатов методом моделирования показала, что в образцах донных осадков может присутствовать от двух до пяти–шести карбонатных фаз, в переменных соотношениях. Утверждается, что осаждение тех или иных аутигенных карбонатов в водных бассейнах определяется совокупностью нескольких факторов: Mg/Ca-отношением в воде, ее карбонатной щелочностью, соленостью, величиной pH, температурой. Все эти факторы так или иначе зависят от климатических условий в регионе. На основе литолого-минералогических и кристаллохимических исследований аутигенных карбонатов в разрезах донных осадков, дополненных результатами элементного, изотопного, палинологического, диатомового и других анализов, автором были выделены стадии эволюции озер Забайкалья и проведена их корреляция с климатическими событиями голоцена и позднего плейстоцена.

В главе 4 «Донные осадки озер Приольхонья» рассматриваются отложения озер, расположенных на западном побережье оз. Байкал (Приольхонское плато). Характерной особенностью этой территории являются крайне засушливый климат и значительные проявления разломной тектоники. Диссертантом были изучены отложения восьми малых озерных бассейнов, имеющих тектоническую природу и привязанных к системам грабенов. Для пяти из них исследовались только верхние слои осадков возрастом не более 100 лет, в трех других было проведено бурение и получен керновый материал отложений голоцена (до второй половины бореального периода по шкале Блитта–Сернандера). Высокая аридность, закрытый характер и повышенная минерализация водоемов благоприятствовали аутигенному минералообразованию; по приведенным данным XRD анализа и ИК-спектроскопии основной компонентой осадков (проанализировано более 350 образцов) являются хемогенные карбонаты, доля которых может достигать 85–90% от минерального состава отложений. Терригенная компонента в основном представлена биотитом (эоловый привнос), кварцем, плагиоклазом, КППШ, амфиболом, хлоритом, глинистыми минералами. Методом моделирования XRD профилей аутигенных карбонатов установлено, что среди них доминируют Mg-кальциты разной степени магнезиальности и Са-избыточные доломиты; встречаются также арагонит, моногидрокальцит, родохрозит и стехиометрический кальцит. Проведенные автором комплексные исследования (литолого-минералогические, геохимические, изотопные) позволили выделить стадии эволюции озер, обусловленные колебаниями регионального

климата и провести их корреляцию с климатостратиграфическими подразделениями голоцена.

Глава 5 «Крупнейшие озера Байкальской рифтовой зоны: Байкал и Хубсугул и малое высокогорное озеро Хикушка» посвящена рассмотрению другого типа объектов – пресноводных озер Восточной Сибири с отсутствующей или незначительной карбонатной седиментацией. Автор отмечает, что реакция обширных и глубоких внутриконтинентальных водоемов на природно-климатические изменения, особенно короткопериодические, в значительной мере «сглажена» по сравнению с мелководными озерами. Тем не менее, климатические флуктуации находят определенный отклик в составе донных осадков. Проведенные диссертантом исследования показали, что в строении голоцен-позднеплейстоценовых осадочных комплексов глубоководных пресных озер Байкальского региона всегда отчетливо обособляются две толщи. Верхняя голоценовая (MIS 1) толща сложена диатомовыми илами, содержание биогенного кремнезема в которых может достигать 40% от вещественного состава. Нижние плейстоценовые (MIS 2) отложения обычно представлены смесью алевритового и пелитового материала с различным процентным содержанием фракций и могут быть как бескарбонатными (оз. Байкал, оз. Хикушка), так и карбонатными (оз. Хубсугул). Основными индикаторами палеоклимата в этих условиях выступают слоистые силикаты. Как показали исследования, обычная ассоциация филлосиликатов в донных осадках пресных озер Байкальского региона включает иллит, мусковит, хлорит, смешанослойные иллит-сметтиты и хлорит-сметтиты и каолинит. Для дифференциальной диагностики этих минералов, выявления их количественных соотношений и установления кристаллохимических и структурных характеристик отдельных фаз в работе был применен метод математического моделирования их XRD профилей. Автором показано, что главными показателями климатических обстановок являются содержание в осадках иллита и концентрация сметтитовых слоев в иллит-сметтитах. Выветривание, происходившее в холодном сухом климате ледниковых интервалов, благоприятствовало образованию иллит-сметтитов с высокой концентрацией иллитовых слоев и, соответственно, низким содержанием сметтитовой компоненты. Напротив, преимущественно теплый и влажный климат способствует образованию иллит-сметтитов с высокой концентрацией сметтитовых слоев, которые имеют тенденцию к преобразованию в иллит. Присутствие и количественные соотношения в осадках других слоистых силикатов (мусковита, хлорит-сметтитов, каолинита, вермикулита и др.), а также неслоистых минералов в ряде случаев могут служить источником дополнительной палеоклиматической информации.

В главе 6 «Донные осадки озер юга Западной Сибири» приводятся результаты изучения осадочных разрезов пяти малых минеральных озер Барабинской низменности – обширной равнины, расположенной в южной части Западной Сибири. Все рассмотренные озера относятся к категории мелководных, по степени минерализации их воды варьируют от слабо солоноватых до рассолов (соленость оз. Большой Баган – 282 г/л). Установлено, что возраст начала озерной седиментации в изученных бассейнах не выходит за пределы голоцена. Анализ кластической компоненты осадков показал, что в подавляющем большинстве она представлена глинистыми алевритами с незначительной примесью песка. Также установлено, что изученные отложения, как правило, содержат то или иное количество органического вещества, вплоть до формирования сапропелей. Согласно данным XRD анализа и ИК-спектроскопии, терригенная часть осадков сложена преимущественно кварцем, плагиоклазом, слоистыми силикатами, КППШ в различных соотношениях. Среди аутигенных минералов отложений доминируют карбонаты: Mg-кальциты различной степени магнезиальности и Ca-избыточный доломит, в подчиненных количествах присутствует арагонит, родохрозит и Mg-сидерит. Для всех изученных озер автором была проведена дифференциальная диагностика и определены количественные соотношения присутствующих в осадках карбонатных фаз. Было выполнено сопоставление результатов минералогических и кристаллохимических исследований с данными других видов анализов, что позволило выделить стадии эволюции озерных бассейнов, обусловленные изменениями климата юга Западной Сибири в голоцене. Показано, что характерной особенностью осадочных разрезов западносибирских озер является хорошее совпадение границ выделенных автором стадий с границами климатических фаз по шкале Блитта–Сернандера.

В **заключительной части** кратко излагается синтез полученных автором результатов изучения донных отложений озер Сибири и приводится обобщенная модель эволюции природной среды и климата в позднеплейстоцен-голоценовое время на севере Азиатской части континента.

По диссертации имеется несколько **замечаний**.

1. В работе достаточно подробно рассматриваются литологические характеристики озерных отложений Сибири и особенности их седиментации. В этой связи не очень понятно, почему автор уделил мало внимания оценке скоростей осадконакопления – она приведена лишь для нескольких из изученных бассейнов.

2. Отсутствует датирование донных осадков оз. Круглое (Гусиноозерская котловина Западного Забайкалья). Для всех остальных изученных озер возрастные модели есть. Данные пропущены по ошибке или возраст не определялся?

3. На мой взгляд, или во «Введении», или в «Заключении» следовало бы указать, в каких именно главах диссертации приводятся обоснования того или иного защищаемого положения.

Заключение.

Диссертация П.А. Солотчина представляет собой выполненное на высоком научном уровне исследование, содержащее ряд новых и оригинальных результатов, как в концептуальном, так и в методическом плане. Тема работы – реконструкции природной среды и климата на основе изучения озерных отложений – является актуальной. Защищаемые положения и выводы обоснованы и изложены в многочисленных работах, опубликованных в рецензируемых изданиях. Достоверность сделанных заключений не вызывает сомнений. Особое значение имеют оригинальные авторские методические подходы в области математической обработки (моделирования) результатов рентгеновского анализа, которые доказали свою эффективность при поиске минеральных индикаторов палеоклимата. Диссертационная работа П.А. Солотчина имеет несомненную теоретическую и практическую значимость. Она написана ясным научным языком и хорошо иллюстрирована. Автореферат отвечает содержанию диссертации.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация П.А. Солотчина **«Литолого-минералогические летописи донных отложений озер Сибирского региона как основа палеоклиматических реконструкций»** отвечает требованиям пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор – **Солотчин Павел Анатольевич** – заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 – геоэкология.

Официальный оппонент:

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник кафедры гидрологии суши
Географического факультета ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Савенко Виталий Савельевич



26 мая 2023 г.

Контактные данные:

тел.: 7(495)939-54-70, e-mail: Alla_Savenko@rambler.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 04.00.10 – Геология океанов и морей (25.00.28)

Адрес места работы:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1,
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
Географический факультет

Тел.: 7(495)939-54-70, e-mail: Alla_Savenko@rambler.ru

Подпись сотрудника кафедры гидрологии суши Географического факультета ФГБОУ ВО
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» В.С. Савенко
удостоверяю:

Декан Географического факультета
ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова»,
академик РАН

26.05.2023 г.



С.А. Добролюбов