

УДК 549.02:551.3.051:551.583

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ КЛИМАТА ГОЛОЦЕНА В ОСАДКАХ ВЫСОКОГОРНОГО ОЗЕРА САГАН-НУР (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

© 2024 г. Э. П. Солотчина^{1,*}, П. А. Солотчин¹, Е. В. Безрукова², А. Н. Жданова¹,
А. А. Щетников^{2,3}, И. В. Даниленко¹, академик РАН М. И. Кузьмин²

Поступило 21.03.2024 г.

После доработки 08.04.2024 г.

Принято к публикации 15.04.2024 г.

Представлены результаты исследования донных отложений высокогорного озера Саган-Нур, расположенного на территории малоизученного Окинского плато (Восточный Саян). Озеро пресноводное и имеет гляциальное происхождение. Нами впервые проведены комплексные исследования минерального состава отложений озера, сформировавшихся в последние ~8600 кал. лет. Методы исследований: рентгеновская дифрактометрия (XRD), ИК-спектроскопия, лазерная гранулометрия, определение SiO_2bio , AMS и ^{210}Pb датирование. В минеральном составе донных осадков преобладают слоистые силикаты, кварц и плагиоклаз, присутствует рентгеноаморфная компонента, состоящая из биогенного кремнезёма и органического вещества. Для корректной идентификации слоистых силикатов применялся метод математического моделирования их сложных XRD-профилей. Установлено, что ансамбль слоистых силикатов стабилен и представлен мусковитом, хлоритом, иллитом, смешанослойными иллит-сметтитом и хлорит-сметтитом, каолинитом. В то же время структурные характеристики этих минералов и их количественные соотношения в отложениях существенно изменялись в ответ на изменения природной среды региона, что раскрывает потенциал ряда филлосиликатов (иллит, смешанослойные минералы) как индикаторов палеоклимата в донных осадках пресноводных бассейнов. Результаты изучения вещественного состава осадков и, в особенности, прецизионный минералого-кристаллохимический анализ слоистых силикатов позволили восстановить ландшафтно-климатические обстановки седиментации и соотнести их с подэтапами голоцена.

Ключевые слова: озёрные отложения, слоистые силикаты, моделирование XRD-профилей, голоцен, палеоклимат, Восточный Саян

DOI: 10.31857/S2686739724080083

ВВЕДЕНИЕ

Нестабильность климата на планете, его катастрофические аномалии и неопределённость климатического прогноза привели к заметному росту в последние годы палеоклиматических исследований. В этой связи особое значение приобретают исследования климата недавнего прошлого Земли, поскольку именно обстановки позднего кайнозоя можно рассматривать как близкие аналоги современности и/или как

потенциальные аналоги климата будущего. Острый недостаток достоверных данных о климате прошлого особенно ощущается для внутренних областей огромного Азиатского континента, в том числе для горных районов Восточного Саяна. Естественными архивами, в которых зафиксирована история развития природно-климатических обстановок со времени окончания последнего ледникового максимума, являются донные отложения озёр. На ведущую роль климатического фактора в формировании континентальных субаквальных отложений неоднократно указывал академик Н.М. Страхов [1]. Именно высокая степень влияния региональных природно-климатических обстановок на осадконакопление во внутриконтинентальных водоёмах обуславливает необходимость всестороннего изучения их донных отложений. Ценную

¹Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия

²Институт геохимии имени А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск, Россия

³Институт земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск, Россия

*E-mail: solot@igm.nsc.ru

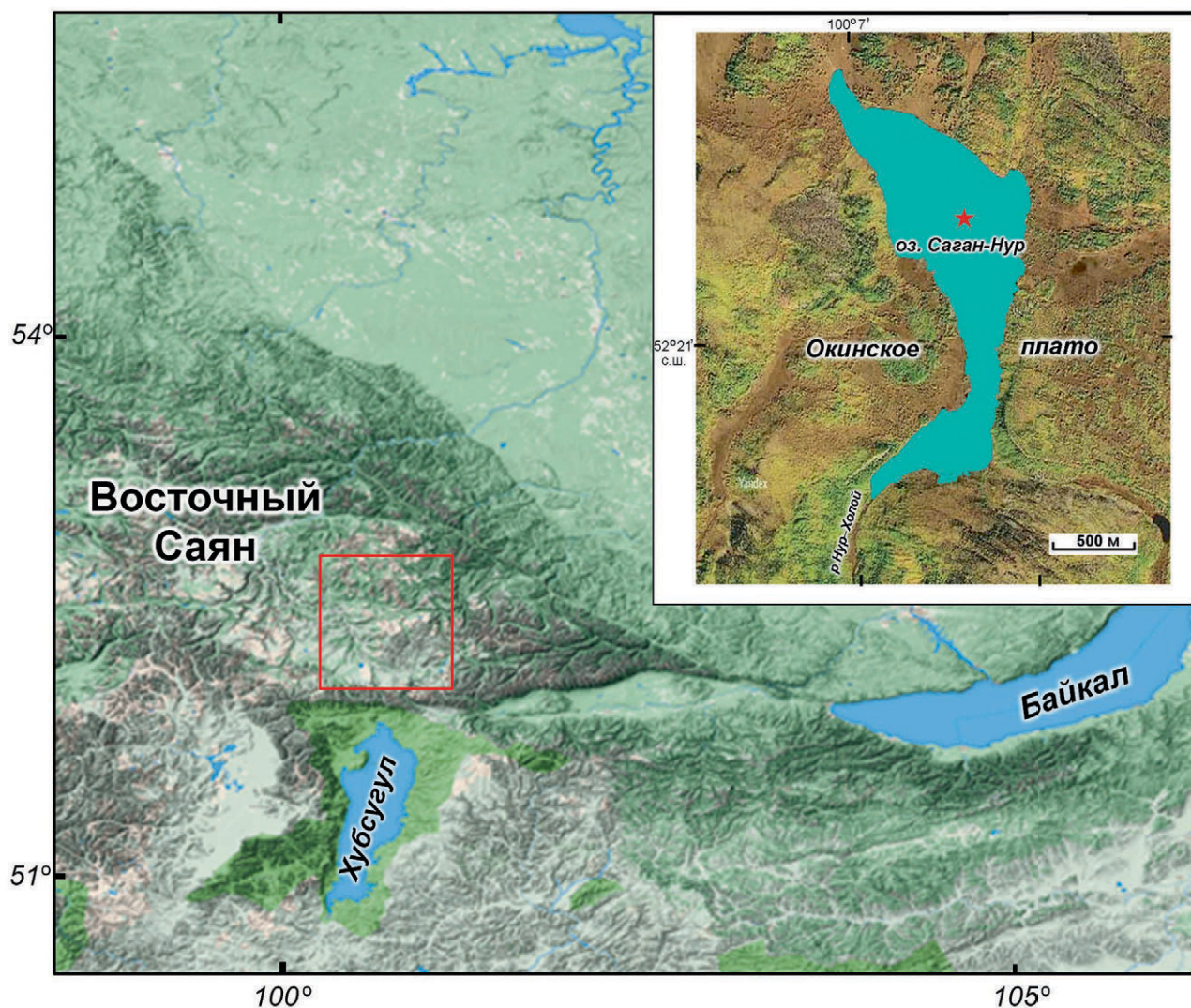


Рис. 1. Обзорная карта юго-западной секции Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) и прилегающих территорий. Район исследований выделен красным. На врезке — оз. Саган-Нур (фото Yandex) с обозначением точки бурения.

информацию содержат минералогические и кристаллохимические характеристики отложившихся фаз, так как их состав и структура напрямую зависят от химического состава озёрных вод, их солёности и температуры, биологической продуктивности палеобассейна, которые, в свою очередь, контролируются региональным климатом. Несмотря на трудную доступность горного массива Восточного Саяна, в последние годы получены литологические, биостратиграфические, геохимические данные из голоцен-позднеплейстоценовых разрезов донных отложений нескольких высокогорных озёр Жом-Болокского вулканического района [2, 3]. Нашему авторскому коллективу удалось выполнить минералого-кристаллохимические исследования донных отложений оз. Хикушка из этого района и

выделить ряд стадий эволюции бассейна, осадконакопление в котором происходило под влиянием как климатических, так и геологических факторов [4]. Целью настоящей работы является реконструкция природной среды и климата голоцена на территории Окинское плато Восточного Саяна на основе изучения вещественного состава донных отложений, ассоциаций и кристаллохимических характеристик слоистых силикатов высокогорного озера Саган-Нур.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Озеро Саган-Нур расположено в центральной части Окинское плоскогорья, в окружении гор высотой до 1824 м над у.м. в междуречье р. Оки и р. Сорок (рис. 1). Плоскогорье представляет

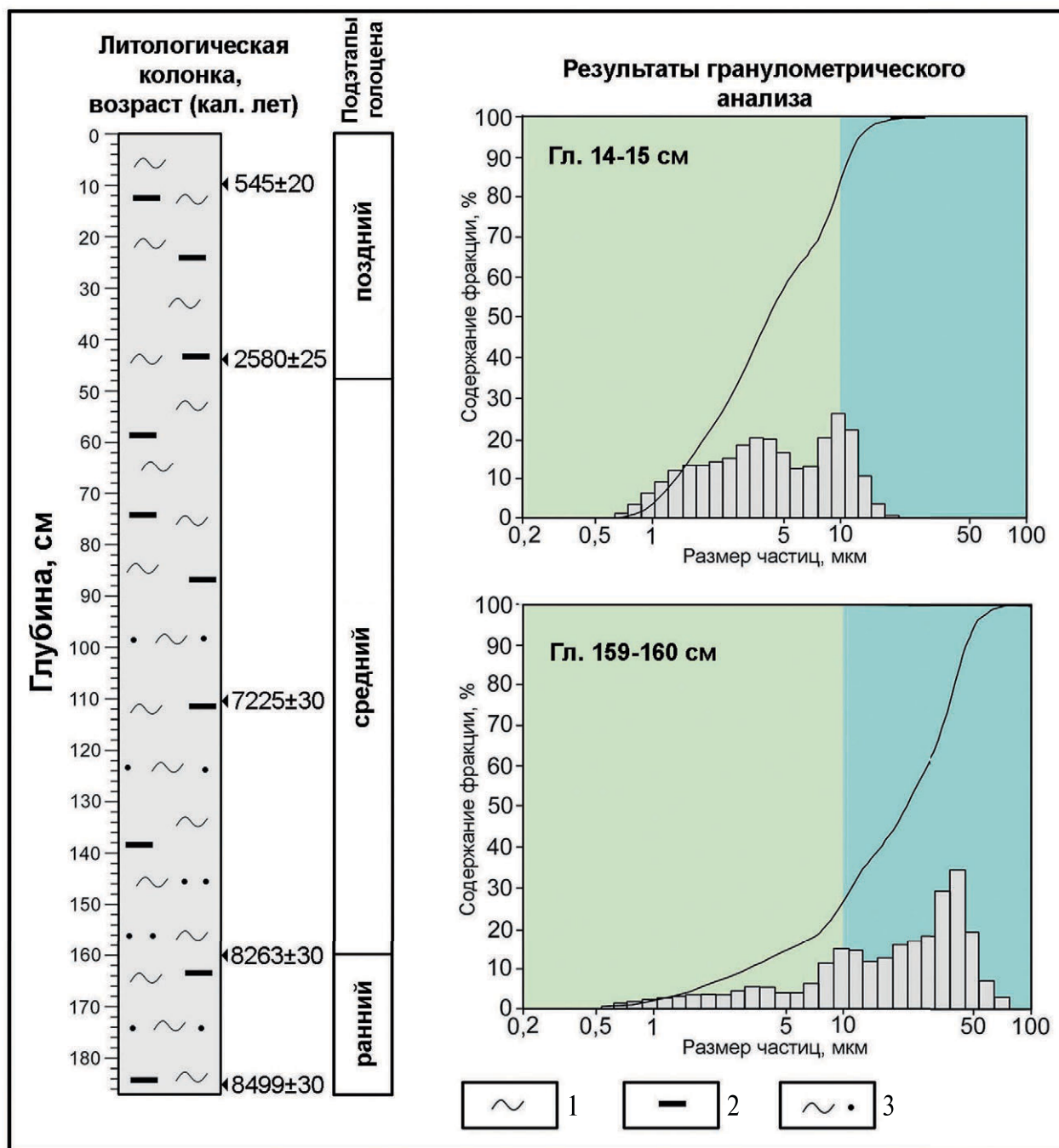


Рис. 2. Литологическая колонка голоценовых отложений оз. Саган-Нур, возраст, климатические стадии, результаты гранулометрического анализа. Условные обозначения: 1 — преимущественно пелиты; 2 — органическое вещество; 3 — алевропелиты и глинистые алевролиты.

собой древнюю поверхность выравнивания южного обрамления Сибирской платформы, характеризующуюся сложным, зачастую глубоко расчленённым рельефом. На формирование морфологического облика района значительное влияние оказали активные экзогенные процессы, главным образом, активная эрозионная

деятельность рек и ледников, а также кайнозойский вулканизм. В геологическом строении Окинского плоскогорья участвуют неоген-четвертичные базальты, палеозойские граниты, породы протерозоя, сложенные кристаллическими сланцами, известняками и доломитами [5].

Озеро имеет ледниковое происхождение, с участием в его развитии тектонической составляющей. Водоразделы и борта озёрной котловины, которая в морфогенетическом аспекте представляет собой углублённый ледниками участок днища речной долины, сложены метаморфическими сланцами, неогеновыми платобазальтами; отмечается присутствие обломочного материала валунно-глыбово-галечной размерности преимущественно гранитного состава [6]. Площадь водной поверхности составляет около 1 км², с севера на юг озеро простирается на 3.2 км, площадь водосборного бассейна 8.5 км². Озеро состоит из двух котловин: северной (гл. до 23 м) и южной (гл. до 19 м), соединённых более мелководным перешейком (рис. 1, врезка).

Питание озера обеспечивается, в основном, атмосферными осадками, небольшой вклад вносят грунтовые воды. Сток воды происходит в ручей Нур-Холой и далее в р. Ока. Воды озера и ручья прозрачные, имеют буроватый оттенок, ультрапресные (минерализация менее 0.01 мг/дм³), нейтральные (рН = 6.5–7.5), гидрокарбонатные кальциево-магниево-натриевые [5]. Климат территории Окинского плато резко континентальный с холодной продолжительной зимой и коротким относительно тёплым летом. Температурный режим связан в первую очередь с характером атмосферной циркуляции [7]. Зимой в регионе доминирует Сибирский антициклон, летом погоду контролирует западный атмосферный перенос. Средняя годовая сумма атмосферных осадков не превышает 325 мм.

Бурение отложений проведено керноотборным устройством ударно-канатного типа UWITEC (Австрия). Осадочный разрез озера был вскрыт на глубину 187 см (рис. 2). Интервал опробования составил 1 см. Датирование отложений выполнено методом AMS¹⁴C по общему органическому веществу в лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии ЦКП Института географии РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США). Значения радиоуглеродного возраста откалиброваны в программе OxCal с использованием калибровочной кривой Int Cal20 [7]. Согласно полученным данным, возраст отложений в основании разреза составляет около 8600 кал. лет, что соответствует финалу раннего голоцена [8] (рис. 2).

Радиометрическое датирование верхнего слоя отложений с использованием неравновесного свинца ²¹⁰Pb в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск), выполненное

позднее, показало отсутствие резервуарного эффекта для донных осадков оз. Саган-Нур, принятого ранее в объёме 470 лет [7].

Минералогические исследования донных отложений оз. Саган-Нур проводились комплексом методов, включающим рентгеновскую дифрактометрию (XRD), ИК-спектроскопию, лазерную гранулометрию, выполненных в “ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН” Института геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск. Гранулометрический анализ проводился на лазерном гранулометре “Analysette 22”. Рентгеновские исследования осуществлены на дифрактометре ARL X’TRA (излучение Cu K_α). Для фазового анализа образцы были отсняты в интервале от 2° до 65° (2) с шагом 0.05°, время съёмки в точке 3 секунд. Качественно новый уровень исследований присутствующих в многокомпонентных системах слоистых силикатов обеспечен применением эффективного авторского метода математического моделирования сложных рентгеновских дифракционных профилей [9]. Анализировались исходные нефракционные порошковые пробы, нанесённые на стеклянную подложку. Съёмка насыщенных этиленгликолем образцов проводилась в интервале от 2° до 35°, с тем же шагом 0.05°, но увеличенным временем сканирования в точке – 16 сек. При моделировании линии присутствующих в образце неслоистых минералов описывались функцией Пирсона VII. ИК-спектры были записаны на спектрометре VERTEX 70 FT I. Образцы готовились методом прессования таблеток с KBr. Содержание в осадках биогенного кремнезёма (в % масс.) выполнено в АЦ Института земной коры СО РАН (г. Иркутск).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным гранулометрического анализа отложения оз. Саган-Нур представлены пелитами, алевропелитами и глинистыми алевролитами; последние отмечаются в виде прослоев только в нижней части керна (рис. 2). В целом можно отметить тенденцию к снижению количества алевроитового материала снизу вверх по разрезу.

Методом XRD-анализа в отложениях установлены слоистые силикаты, кварц и плагиоклаз (рис. 3). В переменных количествах в образцах присутствует рентгеноаморфная компонента, состоящая из биогенного кремнезёма SiO₂bio (до 25% от валового состава пробы) и органического вещества до 30% (по данным ИК-спектроскопии). В частности, в верхах

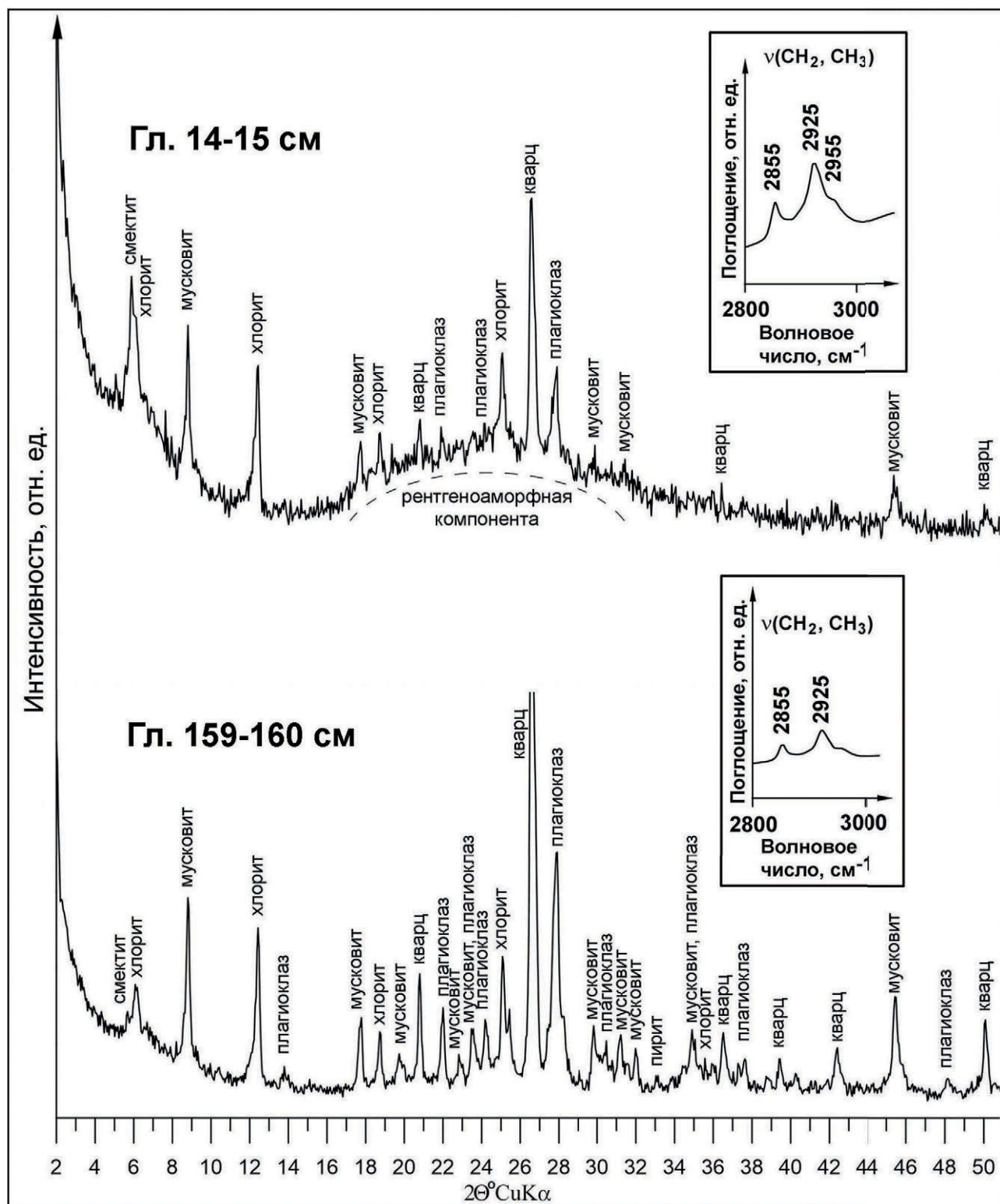


Рис. 3. Дифрактограммы образцов из верхней и нижней частей разреза отложений оз. Саган-Нур. На врезке фрагменты валентных колебаний $\nu(\text{CH}_2)$ и $\nu(\text{CH}_3)$ водной части ИК-спектров.

разреза рентгеноаморфная компонента состоит из SiO_2 bio ~15% и ОВ ~20%, а в ряде образцов нижней части разреза содержание ОВ составляет $\leq 5\%$ (рис. 3, врезки).

Прецизионный минералого-кристаллохимический анализ слоистых силикатов, выполненный методом математического моделирования XRD-профилей [9], выявил ассоциации

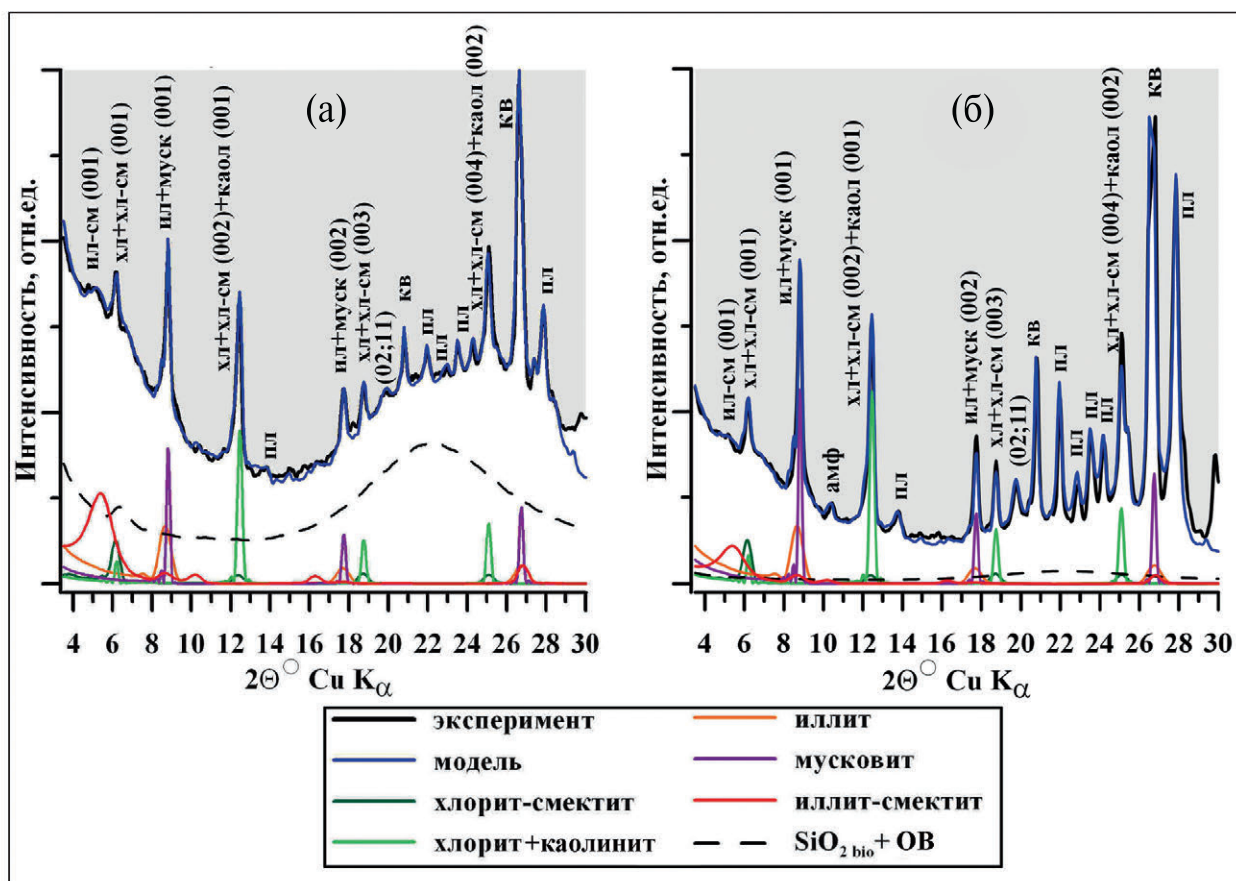


Рис. 4. Результаты моделирования XRD-профилей ассоциации слоистых силикатов в образцах оз. Саган-Нур: (а) — 14–15 см, (б) — 159–160 см. Обозначения: муск — мусковит, хл — хлорит, ил — иллит, ил-см — иллит-сметтит, хл-см — хлорит-сметтит, као — каолинит, кв — кварц, пл — плагиоклаз, амф — амфибол. При съемке XRD-профилей в качестве внутреннего стандарта использовался Si металлический ($d_{100} = 3.135\text{\AA}$).

слоистых силикатов, их структурные характеристики и количественные соотношения, что позволило восстановить ландшафтно-климатические условия, в которых осуществлялись процессы седиментации. Идентифицированные таким образом обстановки осадконакопления были соотносены с подэтапами голоцена, соответствующими его трёхчленному делению [10].

Исследования показали, что ансамбль слоистых силикатов в осадках оз. Саган-Нур стабилен на всём протяжении разреза и представлен мусковитом, иллитом, хлоритом, смешанослойными иллит-сметтитом и хлорит-сметтитом, каолинитом (рис. 4). В то же время структурные характеристики этих минералов и их количественные соотношения неодинаковы в различных частях разреза и, очевидно, реагировали на изменения природной обстановки в регионе (табл. 1). Известно, что в холодные периоды преобладает физическая эрозия пород в водосборе, и в водоёмы поступают

преимущественно терригенные минералы, в их числе мусковит и хлорит, в тёплые — интенсифицируются процессы химического выветривания и, соответственно, почвообразования [11, 12]. Формирование тонкодисперсных иллитов, смешанослойных иллит-сметтитов, хлорит-сметтитов, концентрация в них сметтитовых слоёв, являются показателем тёплого и влажного климата [9, 13].

Выяснилось, что в исследуемых образцах дифракционные максимумы слюды 001 не могут быть смоделированы одним компонентом, это обстоятельство указывает на присутствие в осадках, по крайней мере, двух её разновидностей. Одна — хорошо окристаллизованная диоктаэдрическая слюда политипа $2M_1$ с высоким содержанием межслоевого калия (1.0 ф.е.) и низким — октаэдрического железа (0.1 ф.е.). Её модельный спектр характеризуется узкими интенсивными дифракционными пиками, средний размер доменов по оси Z составляет 35 слоёв, в отдельных

Таблица 1. Количественные и структурные характеристики слоистых силикатов в образцах отложений озера Саган-Нур

Глубина, см	14–15 поздний голоцен	59–60 средний голоцен (верх)	159–160 средний голоцен (низ)	169–170 ранний голоцен
Слоистые силикаты				
Иллит-сметтит, %	15,6	14,5	6,6	14,1
Кол-во смектитовых межслоев, %	50	60	50	60
Содержание К, ф.е.	0,3	0,3	0,3	0,3
Fe, ф.е.	0,3	0,3	0,3	0,3
Средний размер доменов	9	5	9	9
Иллит, %	21,1	29,0	18,8	43,3
Кол-во смектитовых межслоев, %	5,0	7,0	5,0	7,0
Содержание К, ф.е.	0,5	0,5	0,5	0,5
Fe, ф.е.	0,1	0,1	0,1	0,1
Средний размер доменов	9	7	9	7
Мусковит, %	38,9	32,2	49,6	22,1
Содержание К, ф.е.	1,0	1,0	1,0	1,0
Fe, ф.е.	0	0	0	0
Средний размер доменов	35	35	40	35
Хлорит, %	11,6	7,7	12,9	7,0
Содержание Fe, ф.е.	1,2	1,5	1,2	1,2
Средний размер доменов	20	21	21	21
Хлорит-сметтит, %	7,9	11,6	7,0	8,6
Кол-во смектитовых межслоев, %	3,0	5,0	3,0	5,0
Содержание Fe, ф.е.	0,1	0,1	0,1	0,1
Средний размер доменов	10	10	10	10
Каолинит, %	5,0	5,0	5,0	5,0

Примечание. ф.е. — *формульная единица*.

образцах 40 (рис. 4, табл. 1). Мы идентифицируем эту фазу как “мусковит”, поскольку именно мусковит является наиболее устойчивым к выветриванию слоистым силикатом, и считаем её обломочной. Другая — высокодисперсная диоктаэдрическая слюдястая фаза с размером доменов в 7–9 слоёв и дефицитом межслоевого калия (0.5 ф.е.). Для неё характерно широкое основание дифракционных максимумов слюды, и для неё используется термин “иллит” как групповое название всех высокодисперсных слюдястых минералов, в которых количество разбухающих смектитовых межслоёв не превышает 15% [14, 15].

Кроме того, в образцах присутствуют смешанослойные иллит-сметтиты с размерами доменов 5–9 слоёв, в структуре которых содержание смектитовых межслоёв составляет 50–60%, содержание калия ~0.3 ф.е., железа ~0.3 ф.е. Дифракционные максимумы хлорита, подобно слюде, обладают чрезмерной шириной в области низкой интенсивности. Для воссоздания характерной геометрии профиля в дополнение к хорошо окристаллизованному триоктаэдрическому (Mg, Fe)-хлориту с содержанием железа

~1.2–1.5 ф.е. на ячейку и размерами доменов в 20 слоёв моделирование предполагает присутствие дисперсной хлоритоподобной фазы. Эта фаза с размерами доменов в 10 слоёв, содержанием железа 0.1 ф.е. и малым количеством (<5%) смектитовых межслоёв представляет собой тонкодисперсный смешанослойный хлорит-сметтит. Каолинит присутствует во всех образцах в явно подчинённом количестве ~5%, что следует из модельных рентгеновских профилей и подтверждается данными ИК-спектроскопии.

Результаты моделирования XRD-профилей слоистых силикатов указывают на неустойчивый и сезонно засушливый климат финала раннего и начала среднего голоцена (8600–7800 к.л.н.). В низах разреза в большинстве образцов накапливаются тонкодисперсные глинистые минералы — иллит и иллит-сметтит — при довольно низком содержании хорошо окристаллизованного мусковита, что свидетельствует о незначительном притоке обломочного материала в воды озера (табл. 1, обр. 169–170 см). Отмечаются повышенные содержания ОВ — до 20–25% от валового состава, указывающие на благоприятные

для развития водной растительности условия. В то же время отсутствие или малое количество в ряде образцов ОВ ($\leq 5\%$), пониженное содержание тонкодисперсных глинистых минералов и повышенное (до $\sim 50\%$) содержание мусковита (рис. 4, табл. 1, обр. 159–160) свидетельствуют о периодических похолоданиях, в которые процессы физического выветривания коренных пород водосбора усиливались. Это могло быть результатом более высокой, чем в настоящее время, степени континентальности климата, обусловленной низким глобальным уровнем моря, высокой летней и низкой зимней инсоляцией. Гранулометрический состав ряда образцов (рис. 2, обр. 159–160 см) указывает на периодическое поступление в оз. Саган-Нур значительного количества терригенного материала алевритовой размерности, вероятно, из-за частых паводков. Они являлись следствием активного таяния снега, ледников и многолетней мерзлоты, связанного с тёплыми летними сезонами [16].

В среднем голоцене продолжается потепление климата и связанная с ним деградация вечной мерзлоты на изучаемой территории. Происходит снижение интенсивности потока терригенного материала при возрастании в нём доли пелитовых фракций, заметно уменьшается объём поступающих в озеро талых вод в связи с общим падением водности рек и временных водотоков Окинского плато. Таким образом, в среднем и большей части позднего голоцена реконструируется постепенная аридизация климата в регионе, на что указывают также данные палинологических исследований [7]. Для позднего голоцена (последние ~ 3000 лет) характерно преобладание в осадках озера терригенного материала пелитовой размерности, основным источником которого является, по всей видимости, прибрежная территория водосбора. В голоценовых осадках верхних горизонтов разреза (рис. 4, табл. 1, обр. 14–15 см) по сравнению с подстилающими отложениями (табл. 1, обр. 59–60 см) уменьшается количество тонкодисперсного иллитита, наблюдается более низкое содержание смектитовых слоёв в иллит-смектитах, а доля мусковита и хлорита увеличивается, что указывает на более холодный климат позднего голоцена. Тем не менее, в ряде образцов установлено значительное количество SiO_2bio (до 15%) и ОВ (до $20\text{--}25\%$), что может свидетельствовать о периодическом смягчении климатических условий в позднем голоцене.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании проведённых литологических и минералого-кристаллохимических

исследований реконструирована динамика изменений природно-климатических условий осадконакопления в оз. Саган-Нур. Показан высокий потенциал ряда филлосиликатов (иллит, смешанослойные минералы) как индикаторов палеоклимата в однородных разрезах отложений пресноводных бассейнов. Сопоставление выделенных стадий эволюции природной среды в бассейне озера с подразделениями климатостратиграфической шкалы голоцена демонстрирует их хорошее соответствие, что позволяет предполагать значительное влияние глобальных климатических процессов на региональные особенности континентальных обстановок осадконакопления в это время.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИГМ СО РАН, проект № 122041400243-9 и ИГХ СО РАН, проект № 0284-2021-0003, а также за счёт средств Российского научного фонда № 23-17-00067 (бурение донных отложений оз. Саган-Нур и свинцово-цезиевое датирование).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страхов Н. М., Бродская Н. Г., Князева Л. М., Разживина А. Н., Ратеев М. А., Сапожников Д. Г., Шишова Е. С. Образование осадков в современных водоемах. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 792 с.
2. Безрукова Е. В., Щетников А. А., Кузьмин М. И., Шарова О. Г., Кулагина Н. В., Летунова П. П., Иванов Е. В., Крайнов М. А., Кербер Е. В., Филинов И. А., Левина О. В. Первые данные об изменении природной среды и климата Жомболокского вулканического района (Восточный Саян) в среднем-позднем голоцене // ДАН. 2016. Т. 468. № 3. С. 323–327.
3. Shchetnikov A. A., Bezrukova E. V., Krivonogov S. K. Late Glacial to Holocene volcanism of Jom-Bolok Valley (East Sayan Mountains, Siberia) recorded by microtephra layers of the Lake Kaskadnoe-1 sediments // Journal of Asian Earth Science. 2019. V. 173. P. 291–303.
4. Solotchin P. A., Kuzmin M. I., Solotchina E. P., Bezrukova E. V., Strakhovenko V. D., Shchetnikov A. A., Zhdanova A. N. New Data on Late Quaternary Sedimentation in High-Mountain Khikushka Lake (Eastern Sayan): The Role of Climatic and Volcanic Factors // Doklady Earth Sciences. 2021. V. 501. Iss. 1. P. 938–944.
5. Vladimirov I. N., Vyrkin V. B., Ilyicheva E. A., Kobylkin D. V., Pavlov M. V., Zehong Li. Natural Conditions and Ecological Potential of Geosystems in the Central Part of the Oka Plateau (Eastern Sayan) // Geography and Natural Resources. 2019. V. 40. № 3. P. 264–274.
6. Щетников А. А. Озера Окинское плоскогорья // Геоморфология. 2002. № 3. С. 88–95.

7. Безрукова Е. В., Решетова С. А., Волчатова Е. В., Кузьмин М. И. Первые реконструкции ландшафтно-климатических изменений в центральной части Окинского плато (Восточный Саян) в среднем-позднем голоцене // Доклады РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 506. № 1. С. 104–110.
8. Walker M., Head M. J., Lowe J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L. C., Fisher D., Gkinis V., Long A., Newnham R., Rasmussen S. O., Weiss H. Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalization of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes // Journal of Quaternary Science. 2019. V. 34. № 3. P. 173–186.
9. Солотчина Э. П. Структурный типоморфизм глинистых минералов осадочных разрезов и кор выветривания. Новосибирск: Академ. изд-во “Гео”, 2009. 234 с.
10. Walker M., Head M. J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L., Fisher D., Gkinis V., Long A., Lowe J., Newnham R., Rasmussen S. O., Weiss H. Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): Two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries // Episodes. 2018. V. 41. № 4. P. 213–223.
11. Chamley H. Clay Sedimentology. Springer-Verlag, 1989. 623 p.
12. Righi D., Meunier A. Origin of clays by rock weathering and soil formation // Origin and mineralogy of clays. Velde B. (Ed.). Springer-Verlag, 1995a. P. 43–157.
13. Solotchina E. P., Prokopenko A. A., Kuzmin M. I., Solotchin P. A., Zhdanova A. N. Climate signals in sediment mineralogy of Lake Baikal and Lake Hovsgol during the LGM-Holocene transition and the 1-Ma carbonate record from the HDP-04 drill core // Quatern. Intern. 2009. V. 205. P. 38–52.
14. Bailey S. W., Brindley G. W., Fanning D. S., Kodama H., Martin R. T. Report of the Clay Minerals Society Nomenclature Committee for 1982 and 1983 // Clays and Clay Minerals. 1984. V. 32. P. 239–240.
15. Дриц В. А., Коссовская А. Г. Глинистые минералы: слюды, хлориты. М.: Наука, 1991. 175 с.
16. Marcott Sh. A., Shakun J. D., Clark P. U., Mix A. C. Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11, 300 Years // Science. 2013. V. 339. P. 1198–1201.

MINERALOGICAL INDICATORS OF HOLOCENE CLIMATE IN SEDIMENTS OF THE HIGH-MOUNTAIN LAKE SAGAN-NUR (EAST SAYAN MOUNTAINS)

E. P. Solotchina^{a, #}, P. A. Solotchin^a, E. V. Bezrukova^a, A. N. Zhdanova^a, A. A. Shchetnikov^{b, c},
I. V. Danilenko^a, Academician of the RAS M. I. Kuzmin^b

^aV.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation

^bA.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russian Federation

^cInstitute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

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

We present the first results of study of bottom sediments taken from the high-mountain freshwater Lake Sagan-Nur of glacial origin which is located on the Oka plateau (East Sayan Mountains). Comprehensive investigations of the mineral composition of Lake Sagan-Nur sediments accumulated during the last ~8600 cal. years were carried out. The research methods include X-ray diffractometry (XRD), infrared spectroscopy, laser grain size analysis, SiO₂bio determination, AMS and 210Pb dating. The mineral composition of the bottom sediments is dominated by layered silicates, quartz and plagioclase; and also, the X-ray amorphous component consisting of biogenic silica and organic matter is constantly present. The method of mathematical modeling of XRD profiles was used for correct identification of the layered silicates. It was found that the clay mineral assemblage was stable comprising muscovite, chlorite, illite, mixed-layer illite-smectite and chlorite-smectite, kaolinite. At the same time, the quantitative ratios of these minerals and their structural characteristics were modified significantly in response to paleoenvironmental changes in the region. This feature reveals the potential of a number of phyllosilicates (illite, mixed-layer minerals) as indicators of paleoclimate in sedimentary sections of freshwater basins. The study of sediment composition and, especially, the precision mineralogical-crystallochemical analysis of layered silicates allowed us to reconstruct the paleolandscapes and climatic conditions of sediment accumulation for different Holocene sub-stages.

Keywords: lacustrine sediments, layered silicates, modeling of XRD patterns, Holocene, paleoclimate, Eastern Sayan