

# Reconstruction of the Late Quaternary climate of Oka Plateau (East Sayan) based on sedimentary record from high-mountain freshwater lake

**Short communication**LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGYSolotchin P.A.<sup>1\*</sup>, Solotchina E.P.<sup>1</sup>, Bezrukova E.V.<sup>2</sup>,  
Shchetnikov A.A.<sup>2,3</sup>, Zhdanova A.N.<sup>1</sup><sup>1</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, pr. Koptyuga, 3, Novosibirsk, 630090, Russia<sup>2</sup>A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Favorskogo str., 1a, Irkutsk, 664033, Russia<sup>3</sup>Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lermontova str., 128, Irkutsk, 664033, Russia

**ABSTRACT.** We present the results of a comprehensive study of Holocene sediments from high-mountain Lake Sagan-Nur located in East Sayan. The lake is freshwater and has glacial origin. The sediments have been studied by X-ray diffractometry (XRD), IR spectroscopy, laser grain-size analysis, X-ray fluorescence analysis, AMS (<sup>14</sup>C) and <sup>210</sup>Pb dating. The mineral composition of lake bottom sediments is dominated by phyllosilicates, quartz and feldspars. The method of mathematical modeling of their complex XRD profiles was used for correct identification of layered silicates. It has been established that the structural characteristics and quantitative ratios of these minerals change in response to climate changes in the region. The study of sediments composition and, especially, the precision mineralogical-crystallochemical analysis of layered silicates allowed us to reconstruct the climatic conditions of sedimentation.

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

**For citation:** Solotchin P.A., Solotchina E.P., Bezrukova E.V., Shchetnikov A.A., Zhdanova A.N. Reconstruction of the Late Quaternary climate of Oka Plateau (East Sayan) based on sedimentary record from high-mountain freshwater lake // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 670-675. DOI: [10.31951/2658-3518-2024-A-4-670](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-670)

## 1. Introduction

The abrupt changes in the planet's climate and the uncertainty of its forecast even for the near future have led to the fact that the reconstruction of sedimentation conditions in a changing climate has become one of the urgent scientific problems of our time. The main attention in the world practice is paid to the Holocene climate records, since they are extremely important as close analogs of the present and/or as potential analogs of the future climate. The acute shortage of reliable data on the climate of the past is particularly perceived for the internal regions of the huge Asian continent, including the East Sayan mountainous regions. Lacustrine bottom sediments are natural archives that have recorded the history of the development of paleolandscapes and climatic conditions since the end of the Last Glacial Maximum. Academician N.M. Strakhov has repeatedly indicated the leading role of the climatic factor in the formation of continental subaqueous deposits (Strakhov et al., 1954).

\*Corresponding author.

E-mail address: [paul@igm.nsc.ru](mailto:paul@igm.nsc.ru) (P.A. Solotchin)

**Received:** June 05, 2024; **Accepted:** July 08, 2024;

**Available online:** August 26, 2024

The aim of this work was to reconstruct the Holocene climate in the Oka Plateau of the East Sayan based on the study of the substance composition of sediments, association and crystallochemical characteristics of layered silicates from high-mountain Lake Sagan-Nur. We obtained cores of bottom sediments, carried out comprehensive mineralogical and crystallochemical studies, and identified the stages in evolution of lake basin in which sedimentation occurred under the influence of climatic factors.

## 2. Materials and methods

Lake Sagan-Nur is located in the central part of the Oka Plateau and is enclosed by mountains up to 1824 m above sea level. The water surface area is about 1 km<sup>2</sup>, the maximum depth is ~ 23 m. The lake is fed mainly by atmospheric precipitation, water runoff is in the Oka River. The climate of the territory of the Oka Plateau is sharply continental. The thickness of the

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



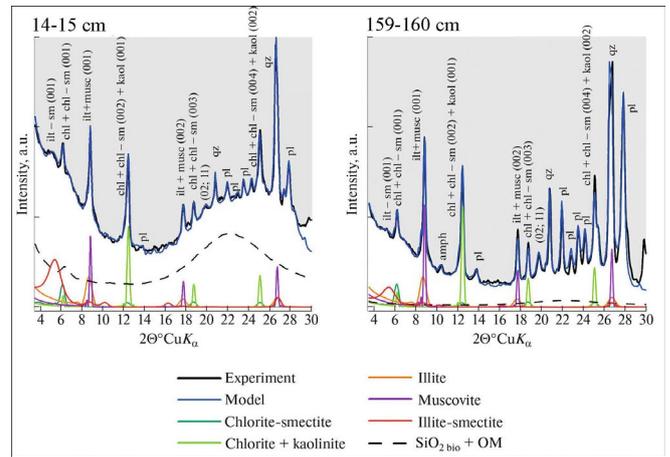
uncovered sedimentary section was 187 cm. Dating of lake sediments was carried out by AMS ( $^{14}\text{C}$ ) method on total organic matter and gamma-spectrometry ( $^{210}\text{Pb}$ ). The radiocarbon data were calibrated, the age of sediments of Lake Sagan-Nur is  $\sim 8600$  cal yrs.

Mineralogical studies of lake bottom sediments were carried out using a combination of methods including X-ray diffraction (XRD), infrared spectroscopy, laser granulometry, scanning electron microscopy (SEM), X-ray fluorescence analysis (Analytical Center for Multi-Elemental and Isotope Research, IGM SB RAS, Novosibirsk). X-ray studies were performed on an ARL X'TRA diffractometer (Cu  $K\alpha$  radiation). For the phase analysis, the samples were scanned in the range from  $2^\circ$  to  $65^\circ$  ( $2\theta$ ) with a step of  $0.05^\circ$  and counting time 3 s at each point. A qualitatively new level of studying the layered silicates in multicomponent systems was provided by using an effective method of mathematical modeling of complex XRD patterns (Solotchina, 2009). We analyzed the initial nonfraction samples. Ethylene glycol-saturated samples were scanned in the interval from  $2^\circ$  to  $35^\circ$  ( $2\theta$ ), with the same step of  $0.05^\circ$ , but with a longer scanning time (16 s) at each point. The peaks of nonlayered minerals contained in sample were described by the Pearson VII function.

### 3. Results and Discussion

The mineral composition of Lake Sagan-Nur bottom sediments is dominated by layered silicates, quartz and feldspars. The complex of layered silicates includes muscovite, illite, chlorite, mixed-layer illite-smectite and chlorite-smectite, as well as kaolinite. The structural characteristics of these minerals and their quantitative ratios are not equal in the different parts of the section and evidently reacted to changes in the environment of the region. It is known that during cold periods physical erosion of rocks is dominant in the catchment, and terrigenous minerals, including muscovite and chlorite, primarily enter the water bodies, while during warm periods, chemical weathering and soil formation processes intensify. The formation of fine-dispersed illites, mixed layer illite-smectites, and chlorite-smectites, and the concentration of smectite layers in them indicate a warm and humid climate.

The results of modeling the XRD patterns of layered silicates indicate an unstable and seasonally dry climate at the end of the Early and at the beginning of the Middle Holocene (8600–7800 cal yrs). In the lower part of the section most of the samples accumulate finely-dispersed clay minerals - illite and illite-smectite. Elevated values of organic matter content up to 20–25% imply favorable conditions for the development of aquatic vegetation. At the same time the high content (up to  $\sim 50\%$ ) of muscovite and small amount of organic matter ( $\leq 5\%$ ) in some samples indicate intermittent cooling periods (Fig. 1, sample 159–160). In the Middle Holocene, climate warming and permafrost degradation occurred. There was also a decrease in the input of terrigenous material. The Late Holocene (past  $\sim 3000$  cal yrs) is characterized by the dominant terrigenous material which is likely to have the coastal



**Fig. 1.** Results of modeling of XRD patterns of layered silicates in samples from Sagan-Nur Lake. Designations: musc – muscovite, chl – chlorite, illt – illite, illt-sm – illite-smectite, chl-sm – chlorite-smectite, kaol – kaolinite, qz – quartz, pl – plagioclase, amph – amphibole, OM – organic matter.

catchment as the main provenance area. Compared to the underlying deposits in the upper horizons of sediments contain a decreasing amount of finely dispersed illite, fewer smectite layers in illite-smectite, and an increased content of muscovite and chlorite, which indicates the colder climate of the Late Holocene. However, some samples (Fig. 1, sample 14–15 cm) were recorded to contain a significant amount of  $\text{SiO}_2\text{bio}$  (up to 15%) and organic matter (up to 20–25%), which may indicate periodic softening of climatic conditions in the Late Holocene.

### 4. Conclusions

Thus, based on the lithological and mineralogical-crystallochemical studies, the dynamics of changes in landscape-climatic conditions of sediment accumulation in Sagan-Nur Lake was reconstructed. The high potential of a number of phyllosilicates (illite, mixed-layer minerals) as indicators of the paleoclimate in the deposits of freshwater basins was shown. The obtained data confirm the results of the palynological analysis of the bottom sediments of Lake Sagan-Nur, performed earlier using the biomization method (Bezrukova et al., 2022). The comparison of the identified stages of environmental evolution in the lake basin with the subdivisions of the Holocene climate-stratigraphic scale demonstrated their good agreement, which suggested a significant influence of global climatic processes on the regional features of continental sedimentary environments at that time.

### Acknowledgements

This work was carried out under State Assignments of the Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, project no. 122041400243-9, and Institute of Geochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, project no. 0284-2021-0003, and was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 23-17-00067.

## Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

## References

Bezrukova E.V., Reshetova S.A., Volchatova E.V. et al. 2022. First reconstructions of vegetation and climate changes in the central part of the Oka plateau (East Sayan Mountains)

in the middle-late Holocene. *Doklady Earth Sciences*. 506(1): 687–693. DOI:[10.1134/s10283334x22700064](https://doi.org/10.1134/s10283334x22700064)

Solotchina E.P. 2009. Structural typomorphism of clay minerals in sediments and weathering profiles. Novosibirsk: Geo. (in Russian).

Strakhov N. M., Brodskaya N. G., Knyazeva L. M. et al. 1954. Sedimentation in modern water basins. Moscow: USSR Acad. Sci. (in Russian).

# Реконструкция позднечетвертичного климата Окинского плато на основе осадочной летописи высокогорного пресноводного озера (Восточный Саян)

Краткое сообщение

LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGYСолотчин П.А.<sup>1\*</sup>, Солотчина Э.П.<sup>1</sup>, Безрукова Е.В.<sup>2</sup>,  
Щетников А.А.<sup>2,3</sup>, Жданова А.Н.<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3, Россия<sup>2</sup>Институт геохимии СО РАН им. А.П. Виноградова, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия<sup>3</sup>Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

**АННОТАЦИЯ.** Представлены результаты комплексного исследования голоценовых отложений высокогорного озера Саган-Нур, расположенного на территории Восточного Саяна. Озеро является пресноводным и имеет ледниковое происхождение. Отложения изучались методами рентгеновской дифрактометрии (XRD), ИК-спектроскопии, лазерного гранулометрического анализа, рентгенофлуоресцентного анализа, AMS (<sup>14</sup>C) и <sup>210</sup>Pb датирования. В минеральном составе донных осадков озера преобладают филлосиликаты, кварц и полевые шпаты. Для корректной идентификации слоистых силикатов был использован метод математического моделирования их сложных XRD профилей. Установлено, что структурные характеристики и количественные соотношения этих минералов меняются в зависимости от климатических изменений в регионе. Изучение состава осадков и, особенно, прецизионный минералого-кристаллохимический анализ слоистых силикатов позволили реконструировать климатические обстановки седиментации.

**Ключевые слова:** озерные осадки, слоистые силикаты, моделирование XRD профилей, голоцен, палеоклимат, Восточный Саян

Для цитирования: Солотчин П.А., Солотчина Э.П., Безрукова Е.В., Щетников А.А., Жданова А.Н. Реконструкция позднечетвертичного климата Окинского плато на основе осадочной летописи высокогорного пресноводного озера (Восточный Саян) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 670-675. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-670

## 1. Введение

Резкие изменения климата на планете и неопределенность его прогноза даже на ближайшее будущее привели к тому, что реконструкция обстановок осадконакопления в условиях изменяющегося климата стала одной из актуальных научных проблем нашего времени. Основное внимание в мировой практике уделяется летописям климата голоцена, поскольку они исключительно важны 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 озер. На ведущую роль климатического фактора в формировании континентальных субаквальных отложений неоднократно указывал академик Н.М. Страхов (Страхов и др., 1954).

Целью работы являлась реконструкция климата голоцена на территории Окинского плато Восточного Саяна на основе изучения вещественного состава отложений, ассоциации и кристаллохимических характеристик слоистых силикатов высокогорного озера Саган-Нур. Нами был получен керн донных осадков, выполнены их комплексные минералого-кристаллохимические исследования и выделены стадии эволюции бассейна, осадконакопление в котором происходило под влиянием климатических факторов.

\*Автор для переписки.

Адрес e-mail: [paul@igm.nsc.ru](mailto:paul@igm.nsc.ru) (П.А. Солотчин)

Поступила: 05 июня 2024; Принята: 08 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



## 2. Материалы и методы

Озеро Саган-Нур расположено в центральной части Окинского плато, в окружении гор высотой до 1824 м над у.м. Площадь водной поверхности составляет около 1 км<sup>2</sup>, максимальная глубина ~ 23 м. Питание озера обеспечивается, в основном, атмосферными осадками, сток воды происходит в р. Ока. Климат территории Окинского плато резко континентальный. Мощность вскрытого осадочного разреза составила 187 см. Датирование озерных отложений выполнено методами AMS (<sup>14</sup>C) по общему органическому веществу и гамма-спектрометрией по <sup>210</sup>Pb. Данные радиоуглеродного анализа были откалиброваны, возраст отложений оз. Саган-Нур составляет ~8600 к.л.

Минералогические исследования донных отложений озера проводились комплексом методов, включающим рентгеновскую дифрактометрию (XRD), ИК-спектроскопию, лазерную гранулометрию, сканирующую электронную микроскопию, рентгенофлуоресцентный анализ (ЦКП многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Рентгеновские исследования выполнены на дифрактометре ARL X'TRA (излучение Cu K<sub>α</sub>). Для фазового анализа образцы были отсканированы в интервале от 2° до 65° (2Q) с шагом 0.05°, время сканирования в точке 3 сек. Качественно новый уровень исследований присутствующих в многокомпонентных системах слоистых силикатов обеспечен применением эффективного метода математического моделирования их сложных XRD профилей (Солотчина, 2009). Анализировались исходные нефракционные пробы. Съёмка насыщенных этиленгликолем образцов проводилась в интервале от 2° до 35° (2Q), с тем же шагом 0.05°, но увеличенным временем сканирования в точке - 16 сек. При моделировании рефлексы присутствующих в образце неслоистых минералов описывались функцией Пирсона VII.

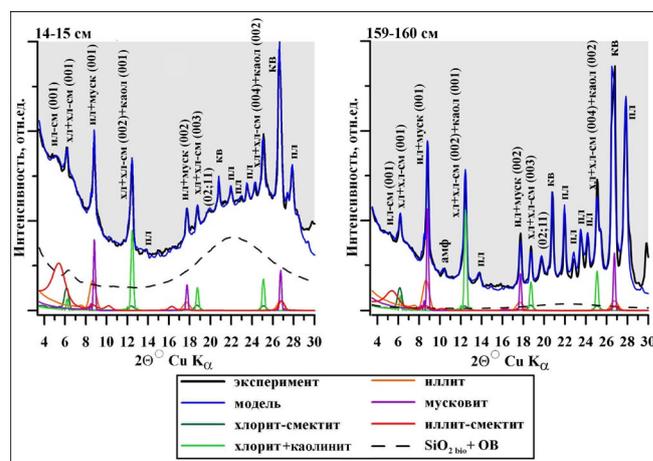
## 3. Результаты и их обсуждение

В минеральном составе донных отложений озера Саган-Нур преобладают слоистые силикаты, кварц и полевые шпаты. Ансамбль слоистых силикатов включает мусковит, иллит, хлорит, смешанослойные иллит-сметтит и хлорит-сметтит, а также каолинит. Структурные характеристики этих минералов и их количественные соотношения различаются в разных частях разреза, и активно реагируют на изменения природной обстановки в регионе. В холодные периоды преобладает физическое выветривание пород водосбора, и в водоемы поступают преимущественно терригенные минералы, в их числе мусковит и хлорит, а в теплые периоды усиливаются процессы химического выветривания и почвообразования. Формирование тонкодисперсных иллитов, смешанослойных иллит-сметтитов и хлорит-сметтитов свидетельствуют о теплом и влажном климате.

Результаты моделирования XRD профилей слоистых силикатов в осадках озера указывают на неустойчивый и сезонно засушливый климат финала раннего и начала среднего голоцена (8600-7800 к.л.н.). В низах разреза накапливаются преимущественно тонкодисперсные глинистые минералы – иллит и иллит-сметтит. Отмечаются повышенные содержания ОБ – до 20-25%, указывающие на расцвет водной растительности. В то же время в ряде образцов отмечается высокое (до ~50%) содержание мусковита и малое ОБ (≤ 5%), что свидетельствует о периодических похолоданиях (Рис.1, обр. 159-160 см). В среднем голоцене происходит потепление климата и деградация вечной мерзлоты. Отмечается снижение интенсивности потока терригенного материала при возрастании в нем доли пелитовых фракций. В позднем голоцене (последние ~3000 лет) в осадках озера преобладает терригенный материал, источником которого является прибрежная полоса водосбора, уменьшается содержание тонкодисперсного иллита и смектитовых слоев в иллит-сметтите по сравнению с подстилающими отложениями, а содержание мусковита и хлорита увеличивается, что указывает на более холодный климат позднего голоцена. Тем не менее, в ряде образцов (Рис. 1, обр. 14-15 см) установлено значительное количество SiO<sub>2</sub>bio (до 15%) и ОБ (до 20-25%), что может свидетельствовать о периодическом смягчении климата в позднем голоцене.

## 4. Заключение

Таким образом, на основе проведенных литологических и минералого-кристаллохимических исследований реконструирована динамика изменений ландшафтно-климатических условий осадконакопления в оз. Саган-Нур. Показан высокий потенциал ряда филлосиликатов (иллит, смешанослойные минералы) как индикаторов палеоклимата в отложениях пресноводных бассейнов. Полученные данные подтверждают результаты



**Рис.1.** Результаты моделирования XRD профилей слоистых силикатов в образцах оз. Саган-Нур. Обозначения: муск – мусковит, хл – хлорит, ил – иллит, ил-см – иллит-сметтит, хл-см – хлорит-сметтит, каол – каолинит, кв – кварц, пл – плагиоклаз, амф – амфибол.

палинологического анализа донных отложений оз. Саган-Нур, выполненного ранее с помощью метода биомизации (Безрукова и др., 2022). Сопоставление выделенных стадий эволюции природной среды в бассейне озера с подразделениями климатостратиграфической шкалы голоцена показало их хорошее соответствие, что свидетельствует о значительном влиянии глобальных климатических процессов на региональные особенности обстановок осадконакопления в это время.

### **Благодарности**

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИГМ СО РАН, проект № 122041400243-9 и ИГХ СО РАН, проект № 0284-2021-0003, а также за счет средств Российского научного фонда, грант № 23-17-00067.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Список литературы**

Безрукова Е.В., Решетова С.А., Волчатова Е.В., Кузьмин М.И. 2022. Первые реконструкции ландшафтно-климатических изменений в центральной части Окинского плато (Восточный Саян) в среднем-позднем голоцене. Доклады Академии Наук. 506(1): 104–110.

Солотчина Э.П. 2009. Структурный типоморфизм глинистых минералов осадочных разрезов и кор выветривания. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео».

Страхов Н.М., Бродская Н.Г., Князева Л.М. и др. 1954. Образование осадков в современных водоемах. М.: Изд-во АН СССР.