

Reconstruction of the geochemical evolution of the saline lake Shira (Southern Siberia, Russia) in the late Holocene

Short communication

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Amosova A.A.*, Chubarov V.M., Bezrukova E.V.

Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Favorsky St., 1A, Irkutsk, 664033, Russia

ABSTRACT. The paper presents reconstruction of the geochemical evolution of the saline lake Shira (South Siberia, Russia) over the past 3000 years based on the elemental composition of bottom sediments. Based on the rock-forming element contents obtained by X-ray fluorescence analysis, the main geochemical indices were calculated to assess the degree of deformation and weathering of the rocks in the catchment basin, paleosalinity, paleoclimate, paleoproductivity and input of clastic materials. Changes in Al_2O_3 and TiO_2 contents reflect the influence of the terrigenous contribution in the lake basin and demonstrate four decreases in the terrigenous removal contribution in the age intervals of 40-135, 580-800, 1900-2020 and 2780-2850 cal. a BP. These intervals are characterized by decreases of Na_2O , SiO_2 , K_2O and Fe_2O_3 contents and increases of MgO and CaO contents. The deceleration in the processes of physical weathering of terrigenous material from banks into the lake and its removal by watercourses is confirmed by the increase of the paleosalinity index and the decrease of chemical weathering. The four considered intervals are characterized by high values of the Ti/Zr ratio, which corresponds to rocks formed close to the provenance area. For the interval 2780-2850 cal. a BP, the change of the Ti/Zr ratio value is not so contrasting in comparison to the intervals 40-135, 580-800 and 1900-2020 cal. a BP. The mineral composition of the bottom sediments of saline lake Shira corresponds to young and immature clay mineral with a high percentage of primary silicate minerals, formed under cold climate conditions.

Keywords: Bottom sediments, saline lake, geochemical indices, rock-forming elements, wavelength dispersive X-ray fluorescence analysis

For citation: Amosova A.A., Chubarov V.M., Bezrukova E.V. Reconstruction of the geochemical evolution of the saline lake Shira (Southern Siberia, Russia) in the late Holocene // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 239-243. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-239

1. Introduction

The study of saline lake sediments makes it possible to assess the changes of environment condition of the catchment basin, especially for contrasting climatic conditions: wet and dry. In terms of their physico-chemical conditions and species composition, salt lakes have a certain proximity to marine ecosystems, but less attention is paid to the study of saline lakes. Sediments of the saline lake Shira with established seasonal sedimentation represent a valuable archive of natural and climate changes of the Holocene on the northern edge of the Altai-Sayan mountain system (Khakass-Minusinsk Hollow, southern Siberia).

2. Material and methods

The saline meromictic lake Shira (354 m a.s.l.) without outflow is located in the "Khakasskii State

Nature Reserve". The water surface area is 36 km², the Son River flows into the lake from the south, other sources of water are groundwater and precipitation (Kalugin et al., 2013). According to X-ray diffraction analysis, the mineral composition of the terrigenous component is represented by muscovite, albite, clinocllore, anorthite, calcite, calcium sulfate hydrate, ankerite. In 2021 the core with undisturbed structure was taken from a depth of 25.3 m using the UWITEC drilling station (Austria). The age-depth model is based on ¹⁴C dating using accelerator mass spectrometry. To determine the elemental composition of sediments (rock-forming oxides contents), the X-ray fluorescence method was used (Amosova et al., 2019). Values of loss on ignition at 550 °C (LOI⁵⁵⁰), characterizing the organic matter, and loss on ignition at 950 °C (LOI⁹⁵⁰), characterizing the total carbonate and organic matter, were determined by gravimetry.

*Corresponding author.

E-mail address: amosova@igc.irk.ru (A.A. Amosova)

Received: June 05, 2024; **Accepted:** June 28, 2024;

Available online: August 26, 2024

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



To assess the degree of alteration and weathering of the rocks, the following geochemical indices were used: CIA (chemical index of alteration), CIW (chemical index of weathering), PIA (plagioclase index of alteration), CPA (chemical proxy of alteration), ICV (index of compositional variation), Ti-index ($(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{MgO})/\text{TiO}_2$), paleosalinity index ($\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 100$), Mg/Ca ratio characterizing paleoclimate, P/Ti and P/Al ratios characterizing paleoproductivity and Ti/Zr ratio as an indicator of input of clastic materials.

3. Results and discussion

The distributions of main rock-forming oxides contents and geochemical indices over the depth of the core sediment section are obtained. High positive values of correlation coefficient ($r_{xy} = 0.90-0.97$) are observed between the contents of K_2O , SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 and Al_2O_3 ; K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 and SiO_2 ; TiO_2 , Fe_2O_3 and K_2O . Negative correlations (r_{xy} from -0.83 to -0.89) are observed between Zr and Sr; CaO and Al_2O_3 ; SiO_2 and K_2O ; TiO_2 and CaO ; Fe_2O_3 and CaO ; LOI^{950} and Al_2O_3 ; SiO_2 , K_2O , TiO_2 and Fe_2O_3 .

The studied core is characterized by significant variations in the contents of rock-forming elements and geochemical indices. There are high correlations between TiO_2 and Al_2O_3 contents ($r_{xy} = 0.96$), that demonstrates four decreases in the terrigenous removal contribution in the lake basin are observed in the age intervals of 40-135, 580-800, 1900-2020 and 2780-2850 cal. a BP. These intervals are characterized by maximum decreases of Na_2O , SiO_2 , K_2O and Fe_2O_3 contents and maximum increases of MgO and CaO contents. The increase of paleosalinity index values for these intervals also confirms the deceleration in the processes of physical weathering of terrigenous material from banks into the lake and its removal by watercourses. The CIA index, as well as the CIW index, confirms the deceleration of chemical weathering in these intervals. It is important to note that the three intervals are 580-800, 1900-2020 and 2780-2850 cal. a BP correspond to the time of accumulation sediments with light color, confirming the lack of organic matter, characteristic of the holomictic state of the lake system and low water level in the lake. This is typical for periods when deep freezing of rocks blocked the flow of groundwater, which led to a drop in the level of the lake Shira (Kalugin et al., 2013). The «youngest» interval of reduced chemical weathering (40-135 cal. a BP) appeared slightly later than the time of formation of the white layers. The Ti/Zr ratio responds to changes of terrigenous material transport; thus, the four considered intervals are characterized by high ratio values, which correspond to rocks formed close to the source area (low water level in the lake). For the interval 2780-2850 cal. a BP the index change is not so contrasting in comparison to the intervals 40-135, 580-800 and 1900-

2020 cal. a BP. According to the Ti/Zr ratio, the rest of the core is characterized by rocks that contain destruction material from the same source, but moved over a long distance.

Between the CIW, PIA and CIA; PIA and CIW; ICV and Ti-index there are high positive correlations ($r_{xy} = 0.92-1.00$), despite the fact that they describe slightly different factors of environmental influence on the process of sediment accumulation. There are negative correlation between the Ti-index, ICV and CIA; CIW and PIA (r_{xy} varies from -0.84 to -0.91). CIA values range from 15 to 44 (average value 33), which correspond to rocks that have not been subjected to chemical weathering and formed in a relatively cold climate. The value of the CIW and PIA increases with the degree of decomposition of the original rocks or sediments; for the studied sediments, these indices, together with the CIA, clearly respond to the four marked intervals of decreasing the degree of weathering of the paleo sources of material. The ICV, like CIA and CIW, reflects the degree of maturity of the fine aluminosilicon clastics entering the sedimentation area. Immature shales with high contents of non-clay silicate minerals have ICV values greater than 1; on the contrary, more mature clayey rocks with a large amount of clay minerals themselves have lower ICV values. The mineral composition of the bottom sediments of saline lake Shira corresponds to young and immature clay mineral with a high percentage of primary silicate minerals, formed under cold climate conditions.

Acknowledgments

The research was performed using equipment of the Joint use center «Isotope-geochemical Research» (Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences) with the financial support of the grant from the Russian Science Foundation, grant number 23-17-00067.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Amosova A.A., Chubarov V.M., Pashkova G.V. et al. 2019. Wavelength dispersive X-ray fluorescence determination of major oxides in bottom and peat sediments for paleoclimatic studies. *Applied Radiation and Isotopes* 144: 118-123. DOI:[10.1016/j.apradiso.2018.11.004](https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2018.11.004)
- Kalugin I., Darin A., Rogozin D. et al. 2013. Seasonal and centennial cycles of carbonate mineralisation during the past 2500 years from varved sediment in Lake Shira, South Siberia. *Quaternary International* 290-291: 245-252. DOI:[10.1016/j.quaint.2012.09.016](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.09.016)

Реконструкция геохимической эволюции соленого озера Ши́ра (Южная Сибирь, Россия) в позднем голоцене

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Амосова А.А., Чубаров В.М., Безрукова Е.В.

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, г. Иркутск, Фаворского, стр. 1А, Россия

АННОТАЦИЯ. В работе представлены реконструкции геохимической эволюции соленого озера Ши́ра (Южная Сибирь, Россия) за последние 3000 лет, основанные на элементном составе донных отложений. На основании полученных методом рентгенофлуоресцентного анализа данных о содержаниях породообразующих элементов были рассчитаны основные геохимические индексы для оценки степени деформации и выветривания пород водосборного бассейна, палеосолености, палеоклимата, палеопродуктивности и дальности переноса кластики. Изменения содержания Al_2O_3 и TiO_2 отражают влияние терригенного вклада в бассейне озера и демонстрируют четыре резких снижения в возрастных интервалах 40-135, 580-800, 1900-2020 и 2780-2850 л.н. Для этих интервалов характерны пониженные содержания Na_2O , SiO_2 , K_2O и Fe_2O_3 и повышенные содержания MgO и CaO . Замедление процессов физического выветривания в озеро терригенного материала со склонов и сноса водотоками подтверждается увеличением значений индекса палеосолености и затухания химического выветривания. Для четырех рассматриваемых интервалов характерны высокие значения отношения Ti/Zr , что соответствует породам, образованным вблизи источников сноса. Для интервала 2780-2850 л.н. Изменение отношения Ti/Zr не так контрастно по сравнению с интервалами 40-135, 580-800 и 1900-2020 л.н. Минеральный состав донных отложений озера Ши́ра соответствует молодым и незрелым глинистым породам с высоким процентом первичных силикатных минералов, сформированным в условиях холодного климата.

Ключевые слова: донные отложения, соленое озеро, геохимические индексы, породообразующие элементы, рентгенофлуоресцентный анализ

Для цитирования: Амосова А.А., Чубаров В.М., Безрукова Е.В. Реконструкция геохимической эволюции соленого озера Ши́ра (Южная Сибирь, Россия) в позднем голоцене // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 239-243. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-239

1. Введение

Изучение отложений соленых озер позволяет оценить состояние окружающей среды и изменения водосборной площади, особенно для контрастных климатических условий: влажных и засушливых. По своим физико-химическим условиям и видовому составу соленые озера имеют определенную близость к морским экосистемам, однако изучению соленых озер уделяется меньшее внимание. Отложения соленого озера Ши́ра с установленной сезонной слоистостью представляют ценнейший архив природно-климатических изменений голоцена на северной окраине Алтае-Саянской горной системы (Хакасско-Минусинская котловина, Южная Сибирь).

2. Объект и методы исследований

Бессточное, меромиктическое, соленое озеро Ши́ра расположено в Хакасском государственном природном заповеднике на высоте 354 м над у.м. Площадь поверхности озера составляет 36 км², питание озера осуществляется через единственный крупный приток – реку Сон, другими источниками воды являются подземные воды и атмосферные осадки (Kalugin et al., 2013). В 2021 году в самой глубокой части озера (25.3 м) буровой станцией ударно-канатного типа производства UWITEC (Австрия) была пробурена скважина с отбором керна полного профиля донных отложений ненарушенной структуры. Модель возраст-глубина основана на результатах ¹⁴C датирования методом ускорительной

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: amosova@igc.irk.ru (А.А. Амосова)

Поступила: 05 июня 2024; Принята: 28 июня 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

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



масс-спектрометрии. По данным рентгеноструктурного анализа минеральный состав терригенной составляющей представлен мусковитом, альбитом, клинохлором, анортитом, кальцитом, гидратом сульфата кальция, анкеритом. Для определения элементного состава отложений использован метод рентгенофлуоресцентного анализа (Amosova et al., 2019); гравиметрическим методом определены потери при прокаливании при 550 °С (ППП⁵⁵⁰), характеризующие органическую составляющую, и при 950 °С (ППП⁹⁵⁰), характеризующие суммарно карбонатную и органическую составляющие.

Для оценки степени деформации и выветривания породы и изменчивости природной среды оценили ряд геохимических индексов: CIA (индекс химического изменения пород), CIW (индекс химического выветривания), PIA (индекс изменения плагиоклазов), CPA (химический индекс изменения), ICV (индекс изменения состава), Ti-индекс ($(CaO + Na_2O + MgO)/TiO_2$), индекс палеосолености ($MgO/Al_2O_3 \cdot 100$), отношение Mg/Ca характеризующее палеоклимат, отношения P/Ti и P/Al характеризующие палеопродуктивность и отношение Ti/Zr как индикатор дальности переноса кластики.

3. Результаты и обсуждение

Для исследуемого керна характерны заметные вариации содержаний порообразующих элементов и геохимических индексов. Высокие положительные корреляции ($r_{xy} = 0.90-0.97$) наблюдаются между содержаниями K_2O , SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 ; K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 и SiO_2 ; TiO_2 , Fe_2O_3 и K_2O . Отрицательные корреляции (r_{xy} от -0.83 до -0.89) наблюдаются между Zr и Sr; CaO и Al_2O_3 , SiO_2 и K_2O ; TiO_2 и CaO; Fe_2O_3 и CaO; ППП⁹⁵⁰ и Al_2O_3 ; SiO_2 , K_2O , TiO_2 и Fe_2O_3 .

Характерны высокие корреляции содержания TiO₂ и Al₂O₃ ($r_{xy} = 0.96$), которые демонстрируют четыре резких уменьшения вклада терригенного сноса в возрастных интервалах 40-135, 580-800, 1900-2020 и 2780-2850 л.н. Для этих интервалов характерны повышенные значения ППП⁹⁵⁰, MgO и CaO и пониженные содержания Na₂O, SiO₂, K₂O и Fe₂O₃. Резкое увеличение индекса палеосолености для этих интервалов также подтверждает замедление процессов выветривания и поступления в озеро терригенного материала со склонов и снос водотоками. Индексы CIA и CIW подтверждают затухание химического выветривания в этих возрастных интервалах. Важно отметить, что три интервала 580-800, 1900-2020 и 2780-2850 л.н. соответствуют времени аккумуляции бедных органическим веществом «белесых» илов, характерных для голомиктического состояния озерной системы и пониженного уровня воды в озере. Последнее могло возникать, когда глубокое промерзание пород перекрывало приток подземных вод, что приводило к падению уровня озера (Kalugin et al., 2013). Самый «молодой» интервал пониженного химического выветривания (40-135 л.н.) проявился чуть позднее времени формирования «белесых» илов. Отношение Ti/Zr ярко

реагирует на изменение дальности переноса терригенного материала, таким образом, для четырех рассматриваемых интервалов характерны высокие значения отношения, что соответствует породам, образованным недалеко от источников сноса (пониженного уровня воды в озере). Для интервала 2780-2850 л.н. изменение индекса не так контрастно, по сравнению с интервалами 40-135, 580-800 и 1900-2020 л.н. Для остального керна характерны породы, в составе которых присутствует материал разрушения того же источника сноса, но перемещенные на большое расстояние согласно значениям отношения Ti/Zr.

Между индексами CIW, PIA и CIA; PIA и CIW; ICV и Ti-индексом наблюдаются высокие положительные корреляции ($r_{xy} = 0.92-1.00$), несмотря на то, что они описывают несколько различные факторы влияния окружающей среды на процесс накопления отложений. Наблюдается отрицательная корреляция между Ti-индексом, ICV и CIA; CIW и PIA (r_{xy} варьирует от -0.84 до -0.91). Значения индекса CIA изменяются от 15 до 44 (среднее значение 33), что соответствуют не подвергавшимся химическому выветриванию породам, сформированным в условиях относительно холодного климата. Величина индексов CIW и PIA возрастает с ростом степени разложения исходных пород, для изучаемых отложений эти индексы вместе с индексом CIA ярко реагируют на четыре отмеченных интервала уменьшения степени выветрелости материала палеоводосбора. Индекс ICV, как и индексы CIA и CIW, отражает степень зрелости поступающей в область седиментации тонкой алюмосиликокластики. Незрелые глинистые сланцы с высоким содержанием неглинистых силикатных минералов имеют значения индекса ICV более 1; напротив, более зрелые глинистые породы с большим количеством собственно глинистых минералов имеют более низкие величины индекса ICV. Таким образом, минеральный состав донных отложений озера Шира соответствует молодым и незрелым глинистым породам с высоким процентом первичных силикатных минералов, сформированным в условиях холодного климата.

Благодарности

Исследования выполнены с использованием оборудования Центров коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 23-17-00067.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Amosova A.A., Chubarov V.M., Pashkova G.V. et al. 2019. Wavelength dispersive X-ray fluorescence determination of

major oxides in bottom and peat sediments for paleoclimatic studies. *Applied Radiation and Isotopes* 144: 118-123. DOI:[10.1016/j.apradiso.2018.11.004](https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2018.11.004)

Kalugin I., Darin A., Rogozin D. et al. 2013. Seasonal and centennial cycles of carbonate mineralisation during the past 2500 years from varved sediment in Lake Shira, South Siberia. *Quaternary International* 290-291: 245-252. DOI: [10.1016/j.quaint.2012.09.016](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.09.016)