

Late Pleistocene and Holocene sedimentation in the glacial Lake Sosednee, Magadan region



Pozhidaeva D.K.^{1, 2*}, Minyuk P.S.¹

¹North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n.a. N.A. Shilo FEB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000, Russia

²Kazan Federal University, Institute of Geology and Petroleum Technologies, 4/5 Kremlevskaya st., Kazan 420008, Russia

ABSTRACT. Lake Sosednee is located in the Yagodninsky district of the Magadan region. It was formed in the Late Pleistocene around 22,500 cal. years ago. The rock magnetic, geochemical, palynological, and mineralogical characteristics of the sediments of four cores, as well as moraine, and various grain size fractions of the hillslope sediments were studied. It has been established that the geochemical and rock magnetic properties of sediments from lake Sosednee reflect different sedimentation conditions, changing from the cold climate of the Late Pleistocene to the warm climate of the Holocene. In the lower part of the core, authigenic (hemogenic) formation of iron sulfides, including magnetic ones, was revealed. According to the rock magnetic and geochemical data, the Younger Dryas was identified, the end of which corresponds to the Pleistocene–Holocene boundary.

Keywords: Holocene, Pleistocene, lake sediments, geochemistry, rock magnetism

For citation: Pozhidaeva D.K., Minyuk P.S. Late Pleistocene and Holocene sedimentation in the glacial Lake Sosednee, Magadan region // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 550-555. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-550

1. Introduction

Glacial lakes are widespread in the Magadan region. The lakes were formed at the end of the Pleistocene- the beginning of the Holocene. Their distinctive features are the small thickness of the sedimentary cover, the dominance of biogenic sedimentation in the Holocene and terrigenous in the Late Pleistocene, high variations of rock magnetic, geochemical and lithological parameters of sediments. These lakes are promising objects for studying sedimentation in cold, warm and transitional climates.

2. Materials and methods

Lake Sosednee (62°03'29.62" N, 149°31'21.18" E) is located in the Yagodninsky district of the Magadan region, 600 m from the southwestern shore of Lake Jack-London, at the mouth of the Nevedomy stream, flowing through trough valleys from the Late Jurassic granite massif. The length of the lake is 1400 m, width is 600 m. The bottom topography is complex, in the western part of the lake the depth reaches 13.4 m, in the eastern part the average depth is 2-6 meters.

Four sediment cores were taken in the central

parts of the lake at the water depth 4-6 m (SD-1, 424 cm long, SD-2, 64 cm long, SD-3, 411 cm long and SD-4, 284 cm long). A bulk sample from hillslope sediments was taken on the shore of the lake.

The slope sample was divided by wet sieving into the grain-size fractions >2500, 2500–500, 500–250, 250–140, 140–100, 100–63, 63–40, and <40 μm. The last fraction was stirred and precipitated material was studied after 20 min (20 μm fraction), 24 h (5 μm fraction). A moraine was sampled on the right side of the Nevedomy stream.

Magnetic susceptibility (MS) of sediments were measured on MFK 1FA kappabridge

(AGICO Ltd.). Thermomagnetic analysis (TMA) was performed using MFK1-FA equipped with a CS-3 high temperature furnace (AGICO Ltd.) and a Curie express balance (Burov et al., 1986). Hysteresis parameters including saturation magnetization (Js), induced magnetization (Ji), saturation remanence (Jrs), coercive force (Bc) and remanence coercivity (Bcr), were measured using an automatic coercive spectrometer (Burov et al., 1986). Radiocarbon analysis (AMS) was performed at the Taiwan University. An age-depth model was then constructed using Bacon software. Major elements were determined using an S4 Pioneer X-ray fluo-

*Corresponding author.

E-mail address: dashapozhidaeva01@gmail.com (D.K. Pozhidaeva)

Received: June 02, 2024; **Accepted:** July 02, 2024;

Available online: August 26, 2024

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



rescence spectrometer (Germany). The relative content of organic material was estimated using loss on ignition (LOI) after heating the samples to 550°C (2 hours).

3. Results and discussion

The lake sediment cores consist of three units, divided according to lithological characteristics: unit 1 - olive-gray massive organogenic silt with a layer of volcanic tephra; unit 2 - unclear-layered brownish-gray silt; unit 3 - bluish-gray thin-layered silt. The boundary between units 1 and 2 corresponds to the Pleistocene-Holocene boundary (11,700 cal. years), while the boundary between units 2 and 3 coincides with the MIS1 – MIS2 boundary (14,700 cal. years).

The sediments of unit 3 are characterized by an increased content of Al₂O₃, CaO, K₂O, Na₂O, Fe₂O₃, low SiO₂ values and the SiO₂/TiO₂ ratio. The SiO₂/TiO₂ ratio is used to determine the relative content of biogenic silica in lake sediments (Tanaka et al., 2007). The sediments of unit 3 show the high values of MS, Js, Jrs, Bc, Bcr, Jrs/Js and low values of Bcr/Bc, Jp. According to these indicators, the sediments of the unit 3 are comparable to the fine grain size fractions of slope deposits. The Jrs/Js and Bcr/Bc ratios indicate the presence of magnetic particles of a predominantly single-domain state. The relative content of iron sulfides determined in smear slides is high. They are concentrated at 6 levels and are distinguished by high MS values (Fig.1).

Unit 2 is transitional. It has increased the content of biogenic silica and organic matter, which has had an impact on all geochemical and rock magnetic indicators. The percentage of the trees and shrubs taxa sharply increased in the pollen spectra. According to rock magnetic characteristics, the interval 12900 – 11700 cal. years is clearly distinguished.

Unit 1 consist of organic sediments of the Holocene. At this time, the bioproductivity of the basin

becomes maximum, tree and shrubs taxa dominates in the pollen spectra, and rock magnetic and geochemical characteristics change sharply at the lower boundary. Due to dilution of the sediment with biogenic silica, the content of other elements is low, and the content of P₂O₅ in the unit increases.

Terrigenous sedimentation dominated in the lake during the Late Pleistocene. The ice cover on the lake caused the emergence of anoxic conditions in the basin, creating favorable conditions for the formation of authigenic iron sulfides of the pyrite, greigite and pyrrhotite composition. To determine the redox conditions, the Fe₂O₃/MnO ratios (Wersin et al., 1991) and V/Cr (Jones and Manning, 1994) were used (Fig. 1). According to palynological data, grassy vegetation dominated in the vicinity of the lake, which is confirmed by data from previous studies (Lozhkin et al., 1995). A noticeable warming of the climate began around 14700 cal. years ago. It has affected the terrestrial and aquatic components of the environment. Intensive accumulation of biogenic silica and organic matter affected the magnetic-geochemical parameters of the sediments, reducing the content of elements and decreasing the values of MS, Js, Jrs. The surrounding area of the lake was dominated by forest vegetation. The multi-scale variations of biotic and abiotic parameters show that the climate and sedimentation conditions during the Holocene were not stable. Increased values of MS, Js, and Jrs indicate the input of detritus material in the lake. According to a set of data close to the characteristics of Pleistocene sediments, sediments lying in the upper part of unit 2 are distinguished. They formed 12900–11700 cal. years ago, which corresponds to the Young Dryas (YD.) (Fig.1). This event in the North-East is practically not distinguished by the pollen data. (for example, Kokorowski et al., 2008). Rock magnetic data can become a critical for identifying of this event.

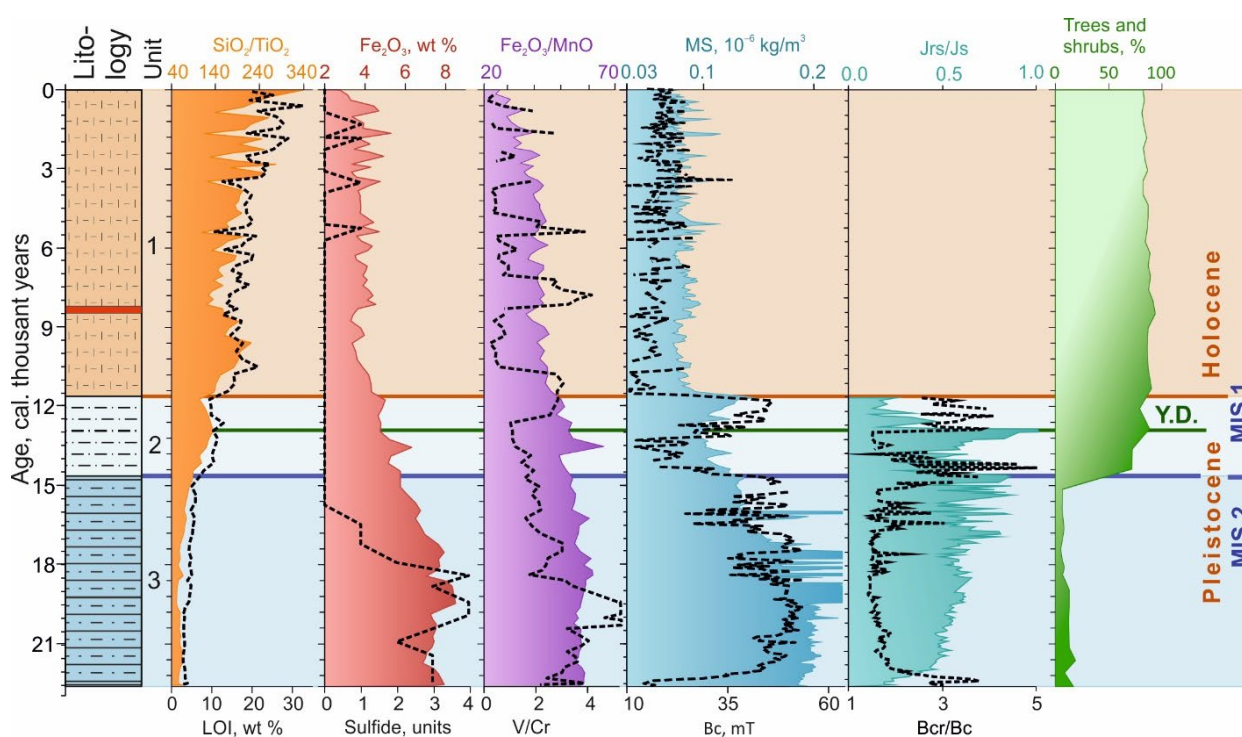


Fig.1. Main indicators of changes in sedimentation conditions and the natural environment of Lake Sosednee.

Acknowledgements

Field work and geochemical analyses were carried as a part of State Assignment № 121031700311-4. Petromagnetic, magnetic-mineralogical studies and data interpretation were funded by the subsidy allocated to the Kazan Federal University for the State Assignment of project № FZSM-2023-0023 in the sphere of scientific activities.

Conflict of interest

The authors declare that they have no competing interests.

References

Burov B.V., Nurgaliev D.K., Yasonov P.G. 1986. Paleomagnitny analiz [Paleomagnetic Analysis]. Kazan: KGU (in Russian).

Kokorowski H.D., Anderson P.M., Mock C.J. et al. 2008. A re-evaluation and spatial analysis of evidence for a Younger Dryas climatic reversal in Beringia. *Quaternary Science Reviews* 27: 1710–1722. DOI: [10.1016/j.quascirev.2008.06.010](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.010)

Lozhkin A.V., Anderson P.M., Eisner U.R. et al. 1995. Novye palinologicheskie i radiouglerodnye dannye ob evolutsii rastitel'nogo pokrova Zapadnoi Beringii v pozdnem Pleistocene i golotsene [New palynological and radiocarbon data on the evolution of the vegetation cover of Western Beringia in the Late Pleistocene and Holocene]. In *Evolutsiya klimata i rastitel'nosti Beringii v pozdnem kainozoe* [Evolution of climate and vegetation of Beringia in the Late Cenozoic]. Magadan: North-Eastern Scientific Research Institute FEB RAS (In Russian)

Jones B., Manning D. A. C. 1994. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones. *Chemical Geology* 111: 111–129. DOI: [10.1016/0009-2541\(94\)90085-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90085-X)

Tanaka K., Akagawa F., Yamamoto K. et al. 2007. Rare Earth Element Geochemistry of Lake Baikal Sediment: its Implication for Geochemical Response to Climate Change during the Last Glacial / Interglacial Transition. *Quaternary Science Reviews* 26: 1362–1368. DOI: [10.1016/j.quascirev.2007.02.004](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.02.004)

Wersin P., Hohener P., Giovanoli R. et al. 1991. Early diagenetic influences on iron transformations in a freshwater lake sediment. *Chemical Geology* 90: 233–252. DOI: [10.1016/0009-2541\(91\)90102-W](https://doi.org/10.1016/0009-2541(91)90102-W)

Позднеплейстоценовое и голоценовое осадконакопление в ледниковом озере Соседнее, Магаданская область

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYПожидаева Д.К.^{1, 2*}, Минюк П.С.¹¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, ул. Портовая д.16, г. Магадан, 685000, Россия²Казанский федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий, ул. Кремлевская, 4/5, г. Казань, 420008, Россия

АННОТАЦИЯ. Озеро Соседнее расположено в Ягоднинском районе Магаданской области. Оно образовано в позднем плейстоцене около 22500 кал. лет назад. Изучены магнитные, геохимические, палинологические и минералогические характеристики отложений из четырех скважин, а также морены и различных гранулометрических фракций делювиальных отложений. Установлено, что геохимические и петромагнитные характеристики осадков озера Соседнее отражают различные условия осадконакопления, сменяющиеся от холодных позднеплейстоценовых до обстановок теплого климата голоцена. В нижней части разрезов скважин выявлено аутигенное образование сульфидов железа, в том числе магнитных. По петромагнитным и геохимическим характеристикам выделен поздний дриас, по окончанию которого устанавливается граница плейстоцена и голоцена.

Ключевые слова: голоцен, плейстоцен, озерные осадки, геохимия, петромагнетизм

Для цитирования: Пожидаева Д.К., Минюк П.С. Позднеплейстоценовое и голоценовое осадконакопление в ледниковом озере Соседнее, Магаданская область // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 550-555. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-550

1. Введение

Озера ледникового происхождения широко распространены на территории Магаданской области. Время их образования – поздний плейстоцен-ранний голоцен. Их отличительными чертами являются небольшая мощность осадочного чехла, доминирование биогенного осадконакопления в голоцене и терригенного в позднем плейстоцене, разномасштабные вариации петромагнитных, геохимических и литологических параметров осадков. Эти озера являются перспективными объектами для исследования осадконакопления в холодных, теплых и переходных климатических условиях.

2. Материал и методы

Озеро Соседнее (62°03'29.62" с.ш., 149°31'21.18" в.д.) расположено в Ягоднинском районе Магаданской области, в 600 м от юго-западного берега озера Джека-Лондона, в устье ручья Неведомый, текущего по троговым долинам с позд-

неюрского гранитного массива. Длина озера 1400 м, ширина 600 м. Рельеф дна сложный, в западной части озера глубина достигает 13,4 м, в восточной части средняя глубина составляет 2-6 метров.

В центральной части озера пробурены 4 скважины на глубине 4-6 м (Сд-1, 424 см; Сд-2, 64 см; Сд-3, 411 см и Сд-4, 284 см). На берегу озера отобрана объемная проба делювия для комплексного изучения. Она разделена мокрым ситованием на гранулометрические фракции размером >2500, 2500–500, 500–250, 250–140, 140–100, 100–63, 63–40, и <40 мкм. Последнюю фракцию взмучивали и исследовали материал, выпавший в осадок сразу (фракция 20 мкм), через 24 часа (фракция ~5 мкм), а также неосажденную взвесь (фракция ~1 мкм). В правом борту ручья Неведомый опробована морена.

Измерения магнитной восприимчивости (МВ) осадков выполнено на многофункциональном каппаметре MFK 1FA с термоприставкой CS3 (AGICO Ltd.). Гистерезисные характеристики, включая остаточную намагниченность насыщения (Jrs), намаг-

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: dashapozhidaeva01@gmail.com (Д.К. Пожидаева)

Поступила: 02 июня 2024; Принята: 02 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

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



ниченность насыщения (Js), индуктивную намагниченность (Ji), коэрцитивную силу (Vc), остаточную коэрцитивную силу (Vcr) измерены на автоматическом коэрцитиметре J-meter (Буров и др., 1986). Радиоуглеродный анализ двух образцов микрочастиц органики проведен в Тайваньском университете. Возрастная модель для осадков скважины СД-1 построена с применением программы Васон. Химический состав осадков изучен методом рентгенофлуоресцентного анализа. Основные породообразующие элементы определены на рентгенофлуоресцентном спектрометре S4 Pioneer, Германия. Относительное количество органического материала оценено по величине потери при прокаливании (ППП) после прогрева проб до 500°C (2 часа).

3. Результаты и обсуждение

В озерных осадках по литологическим признакам выделяется 3 слоя: слой 1 – оливково-серый массивный органогенный алеврит с прослоем вулканической тефры; слой 2 – неяснослоистый буровато-серый алеврит; слой 3 – сизо-серый тонкослоистый алеврит. Граница слоев 1 и 2 совпадает с границей плейстоцена и голоцена (11 700 кал. лет), а граница слоев 2 и 3 – с границей морских изотопных стадий (МИС) 1 и 2 (14700 кал. лет).

Слой 3 характеризуется повышенным содержанием Al_2O_3 , CaO, K_2O , Na_2O , Fe_2O_3 , низкими значениями SiO_2 и отношения SiO_2/TiO_2 . Отношение SiO_2/TiO_2 использовано для определения относительного содержания биогенного кремнезема (Tanaka et al., 2007). Отложения слой 3 имеют высокие значения MB, Js, Jrs, Vc, Vcr, Jrs/Js и низкие значения Vcr/Vc, Jr. По этим показателям осадки слоя сопоставимы с тонкими фракциями склоновых отложений. Отношения Jrs/Js и Vcr/Vc указывает на присутствие магнитных частиц преимущественно

однодоменного состояния. Относительное содержание сульфидов железа, определенное в прозрачных слайдах, высокое. Они сконцентрированы на 6 уровнях и выделяются по высоким значениям MB (Рис.1).

Слой 2 является переходным. В нем увеличено содержание биогенного кремнезема и органики, что отразилось на всех геохимических и петромагнитных показателях. В спорово-пыльцевых спектрах резко возрастает количество пыльцы деревьев и кустарников. По петрофизическим характеристикам (Vc, Vcr/Vc, Jrs/Js) отчетливо выделяется интервал 12900 – 11700 кал. лет.

Слой 1 представлен органогенными осадками голоценового возраста. В это время биопродуктивность бассейна становится максимальной, в пыльцевых спектрах доминируют древесные таксоны, в основании слоя резко меняются петромагнитные и геохимические характеристики. Вследствие разбавления осадка биогенным кремнеземом содержание других элементов низкие. В слое увеличивается содержание P_2O_5 .

В позднем плейстоцене в озере доминировало терригенное осадконакопление. Ледовый покров на озере способствовал возникновению аноксидных обстановок в бассейне, создавая благоприятные условия для аутигенного образования сульфидов железа, пиритового, грейгитового и пирротинового состава. Для определения редокс обстановок использованы отношения Fe_2O_3/MnO (Wersin et al., 1991) и V/Cr (Jones and Manning, 1994) (Рис. 1). По палинологическим данным в окрестностях озера доминировала травянистая растительность, что подтверждается данными предыдущих исследований (Ложкин и др., 1995). Заметное потепление климата началось около 14700 кал. лет назад. Она отразилась на наземной и водной компонентах природной среды. Интенсивное накопление био-

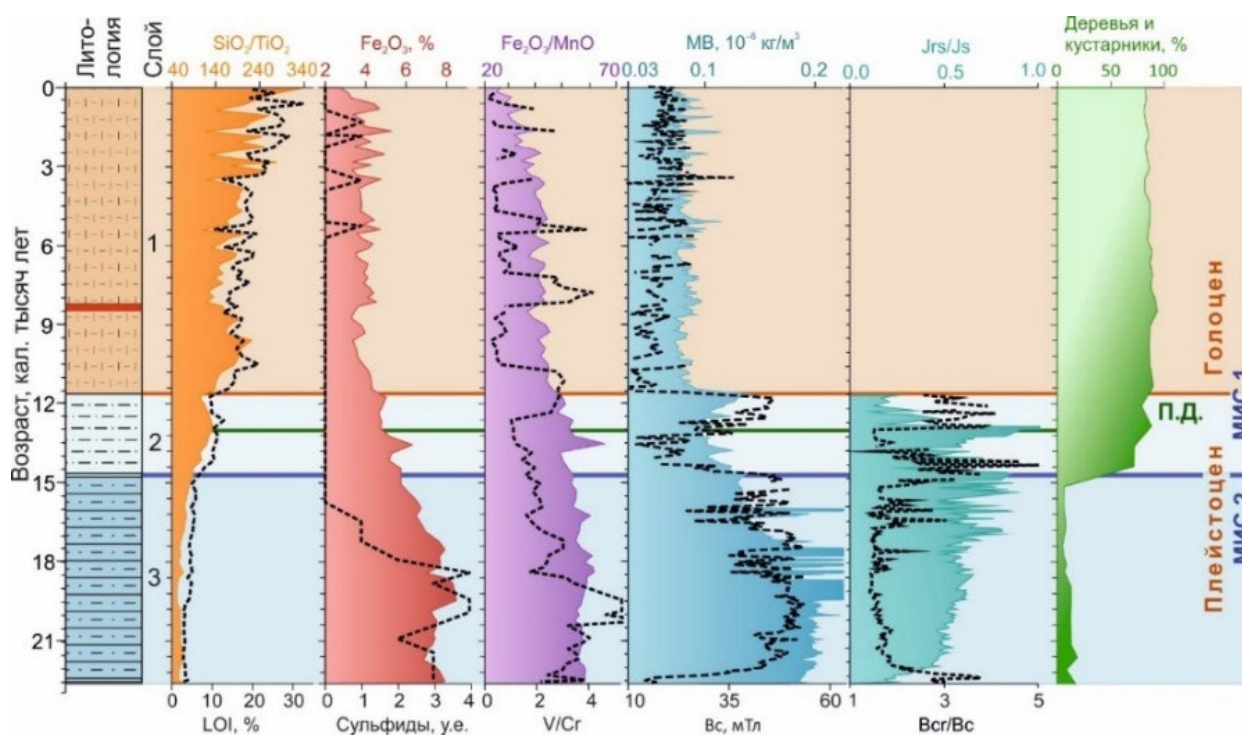


Рис.1. Главные индикаторы изменений условий осадконакопления и природной среды оз. Соседнее.

генного кремнезема и органики повлияло на магнито-геохимические параметры осадков, снижая концентрации элементов и уменьшая величины MB, Js, Jrs. В окрестностях озера господствовала лесная растительность. Разномасштабные вариации биотических и абиотических параметров показывают, что климат и условия седиментации в голоцене не были стабильными. Повышенные величины MB, Js, Jrs указывают на поступление детритового материала в бассейн. По комплексу данных, близких к характеристикам плейстоценовых отложений, выделяются осадки, залегающие в верхней части слоя 2. Они сформировались 12900 – 11700 кал. лет тому назад, что соответствует позднему дриасу (П.Д.) (Рис.1). Это событие на территории Северо-Востока практически не выделяется по спорово-пыльцевым данным (например, Kokorowski et al., 2008). Петромагнитные данные могут стать репером этого интервала.

Благодарности

Полевые работы и геохимические исследования выполнены в рамках Государственного задания № 121031700311-4. Петромагнитные, магнитно-минералогические исследования и интерпретация данных выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания проект № FZSM-2023-0023 в сфере научной деятельности.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Буров Б.В., Нурғалиев Д.К., Ясонов П.Г. 1986. Палеомагнитный анализ. Казань: КГУ.
- Ложкин А.В., Андерсон П.М., Эйсер У.Р. и др. 1995. Новые палинологические и радиоуглеродные данные об эволюции растительного покрова Западной Берингии в позднем плейстоцене и голоцене. Эволюция климата и растительности Берингии в позднем кайнозое. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 5–24
- Kokorowski H.D., Anderson P.M., Mock C.J. et al. 2008. A re-evaluation and spatial analysis of evidence for a Younger Dryas climatic reversal in Beringia. *Quaternary Science Reviews* 27: 1710–1722. DOI: [10.1016/j.quascirev.2008.06.010](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.010)
- Jones B., Manning D. A. C. 1994. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones. *Chemical Geology* 111: 111–129. DOI: [10.1016/0009-2541\(94\)90085-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90085-X)
- Tanaka K., Akagawa F., Yamamoto K. et al. 2007. Rare Earth Element Geochemistry of Lake Baikal Sediment: its Implication for Geochemical Response to Climate Change during the Last Glacial / Interglacial Transition. *Quaternary Science Reviews* 26: 1362–1368. DOI: [10.1016/j.quascirev.2007.02.004](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.02.004)
- Wersin P., Hohener P., Giovanoli R. et al. 1991. Early diagenetic influences on iron transformations in a freshwater lake sediment. *Chemical Geology* 90: 233–252. DOI: [10.1016/0009-2541\(91\)90102-W](https://doi.org/10.1016/0009-2541(91)90102-W)