

Paleoenvironmental reconstruction of climate by diatoms from sediments of three deep freshwater lakes of Evenkia (Siberia, Russia)



Bolobanshchikova G.N.^{1*}, Rogozin D.Y.^{1,2}

¹Federal Research Center “Krasnoyarsk science Center” Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences “Institute of Biophysics Siberian Branch of Russian Academy of Science” (IBP SB RAS) 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/50

²Siberian Federal University 660041, Krasnoyarsk, Svobodny str., 79

ABSTRACT. The study aimed to determine the species composition of diatoms in the bottom sediments of the freshwater lakes Zapovednoye, Cheko, and Peyungda, situated in the taiga zone of the southern region of Evenkia within the boundaries of the Tungusky State Nature Reserve. A total of 255 taxa have been identified in these lakes, with their ecological characteristics also established. The diatom community present in the bottom sediments of the aforementioned lakes showcases species that are common across all three lakes, as well as some that are exclusive to every single reservoir. An examination of the acquired data indicated the existence of overarching trends in the evolutionary trajectory of lakes Cheko, Zapovednoye, and Peyungda. Nevertheless, discernible discrepancies are observed in the species composition of diatoms within their bottom sediments, both in terms of quality and quantity, thereby delineating Lake Peyungda in a distinctive position in comparison to lakes Zapovednoye and Cheko. This disparity is likely attributed to the relatively shallow depth of Lake Peyungda, leading to an inclination towards a heightened level of eutrophication in its species composition, as opposed to the conditions observed in lakes Cheko and Zapovednoye.

Keywords: diatoms, freshwater lakes, bottom sediments, paleolimnology, paleoecology, climate reconstruction

For citation: Bolobanshchikova G.N., Rogozin D.Y. Paleoenvironmental reconstruction of climate by diatoms from sediments of three deep freshwater lakes of Evenkia (Siberia, Russia) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 256-261. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-256

1. Introduction

The study area encompasses three freshwater lakes, namely Lake Cheko, Lake Zapovednoe, and Lake Peyungda, situated in Eastern Siberia, Russia. Lake Cheko (60°57.904'N, 101°51.551'E) on the Central Tunguska Plateau, is positioned approximately 8 km from the inferred epicenter of the 1908 «Tunguska event». With an oval-shaped structure and a maximum depth of approximately 54 m, Lake Cheko is fed by the Kimchu River, a tributary of the Chunya River, ultimately flowing into the Podkamennaya Tunguska River. Lake Zapovednoe (60°31.688'N, 101°43.740'E) located in close proximity 60 km to Lake Cheko. It is characterized by a nearly circular shape with a diameter of around 500 m and a maximum depth of 60 m. Lake Peyungda (60°37.174'N 101°38.442'E) boasts almost regular round shape with a diameter of approximately 600 m and a maximum depth of 35 m. Both Lake Zapovednoe and Lake Peyungda are interlinked

by the small Verkhnyaya Lakura River, a tributary of the Podkamennaya Tunguska River (Rogozin et al., 2017; Rogozin et al., 2023).

2. Materials and Methods

The research approach involved the retrieval and analysis of sediment cores from each of the aforementioned lakes Cheko, Zapovednoe and Peyungda, in June 2016, July 2018, and September 2022, respectively. Upon extraction, the sediment cores were vertically transported to the laboratory for further investigation. Subsequently, the cores were meticulously disassembled and sectioned at specific intervals for analysis - 1 cm for Lake Cheko and Lake Zapovednoe, and 2 cm for Lake Peyungda. The sediment samples derived from each section underwent meticulous preparation and processing for diatom analysis utilizing established methodologies involving 30% H₂O₂ (Bolobanshchikova

*Corresponding author.

E-mail address: galina.ibp@mail.ru (G.N. Bolobanshchikova)

Received: June 23, 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.



et al., 2023). Permanent preparations were crafted using the highly refractive Naphrax resin, and subsequent enumeration of diatom valves was executed utilizing the parallel transect method (Bolobanshchikova et al., 2023). The construction of diagrams illustrating the qualitative and quantitative composition of diatoms within the sediment cores was facilitated using Past 2.15 software (Hammer et al., 2001). The taxonomic identification of diatoms was facilitated through the use of well-established keys (Bolobanshchikova et al., 2023) and systematic summaries to discern ecological and geographical attributes concerning habitat, salinity, water pH, geographical distribution, and rheophilicity (Barinova et al., 2006).

3. Results and Discussion

The results obtained from the analysis of Lake Cheko revealed a total of 131 taxa of diatoms below the genus level in the bottom sediments. The predominant diatom species in the sediments were valves of benthic cosmopolitan species, characteristically indifferent to salinity and flow velocity, with a preference for alkaline water conditions, constituting a majority proportion ranging from 51% to 65% of the total mass. Conversely, the presence of planktonic species was notably limited, often comprising less than 10% of the total count. In the case of Lake Zapovednoe, an examination of the bottom sediments unearthed 139 taxa of diatoms below the genus rank. The sediment composition predominantly featured benthic and planktonic-benthic cosmopolitan species, exhibiting indifference to salinity and flow rate, and a predilection for alkaline water conditions. Noteworthy was the increased prevalence of planktonic species in Lake Zapovednoe compared to Lake Cheko, constituting up to 26-28% at certain depths. A distinctive feature of the diatom flora in Lake Zapovednoe was the notable representation of valves from the genus *Tabellaria*, a presence considerably more pronounced than in Lake Cheko. Regarding Lake

Peyungda, a diverse array of approximately 255 taxa of diatoms below the genus rank was identified. The lake was predominantly characterized by cosmopolitan diatom species, displaying indifference towards salinity and favoring alkaline water conditions and water mass mobility. Notably, variations in the dominant species composition were observed across different time periods, with planktonic-benthic species, particularly *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, and planktonic species such as *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen, occupying crucial ecological niches within the lake. Moreover, the abundance of benthic diatom species was observed to be consistently lower than that of planktonic and planktonic-benthic species throughout the core depth profiles, rarely exceeding 9% of the total count.

Cluster analysis facilitated the delineation of five primary zones (Distance) within the bottom sediments of three lakes, accompanying alterations in the species composition of diatoms (Fig. 1).

Zone DV (2480-485BCE) exhibits a reduction in the relative abundance of benthic and planktonic-benthic diatom species that thrive in warm, stagnant or flowing waters, while their representation among planktonic diatoms is on the rise. This phenomenon may be attributed to diminished mineral concentrations, potentially stemming from reduced meltwater runoff or precipitation levels. The decline in heat-loving species proportions may suggest a cooling trend in the climate. Consequently, conditions in this zone are presumed to be progressively *drier* and *colder*.

Zone IV (485BCE-763CE) is notable for a decrease in planktonic species compared to the preceding zone, coupled with an uptick in planktonic-benthic and benthic thermophilic species, halophiles, and species associated with standing or flowing waters. These findings hint at warming trends and heightened mineralization levels within the lake, likely influenced by external mineral influx from increased precipitation or melting permafrost. The prevailing climate in this era appears to have been *wetter* and *warmer*.

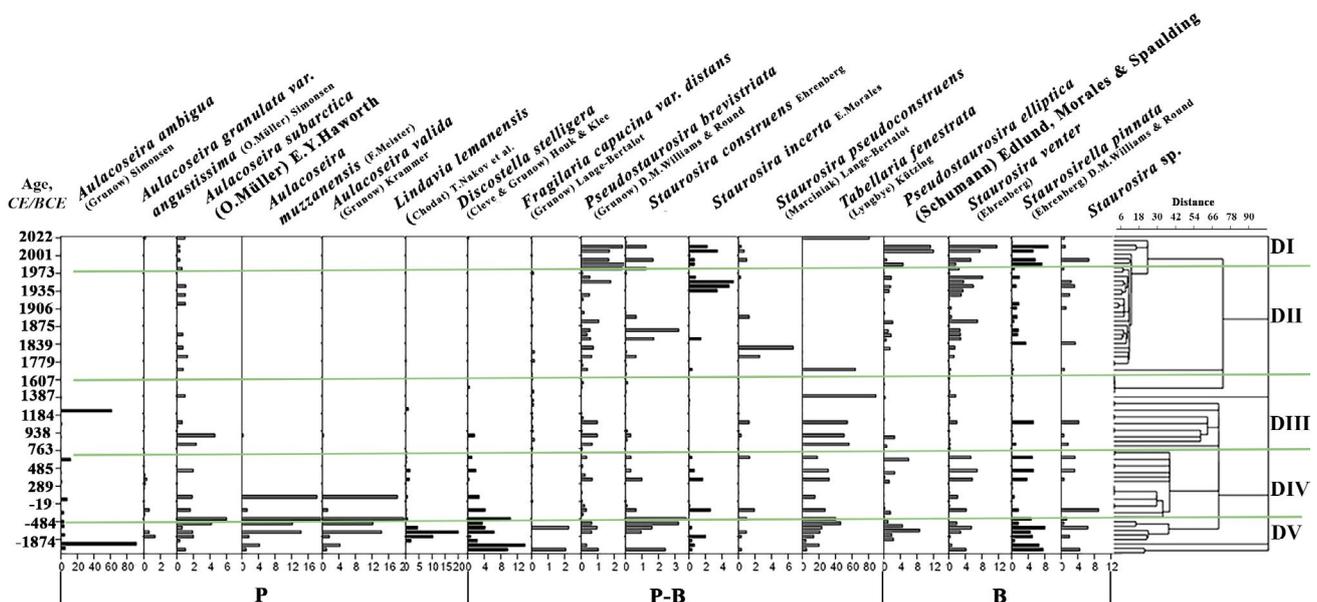


Fig.1. The distribution of diatoms in the bottom sediments of lakes Cheko, Zapovednoye, and Peyungda has been examined with designated DI-DV zones.

Within *Zone DIII (763-1687 CE)*, there is a discernible trend towards an escalation in species favoring mineral-rich aquatic environments, accompanied by a reduction in species preferring consistent water column mixing. These changes potentially signal reservoir eutrophication, possibly triggered by rising temperatures or diminishing precipitation levels. Consequently, mineral concentrations in the lake could be on the rise due to lowered water levels. Midway through this zone, there is an increase in cold-tolerant and water-mixing-preference species, indicating a phase of stagnation during a *warmer* and *drier* climate period.

Zone DII (1687-1973 CE) is characterized by a gradual surge in planktonic-benthic and benthic thermophilic species, coupled with a decline in planktonic species, including those that favor *colder* conditions. This pattern suggests a further *warming* of the climate, albeit with increased humidity, relative to the preceding zone.

Notably, *Zone DI (1973-2022 CE)* displays an elevation in benthic and planktonic-benthic species, while the prevalence of planktonic species is minimal. Collectively, these trends indicate a burgeoning eutrophication trend in aquatic ecosystems, possibly coinciding with another spell of *warm* and *dry* climatic conditions.

4. Conclusions

The recurring fluctuations in diatom species composition within the bottom sediments of lakes Cheko, Zapovednoe, and Peyungda bear witness to historical climate variations. The established climate change sequence can tentatively be delineated as “cold-dry” → “wet-warm” → “warm-dry” → “wet-warm” → “warm-dry”.

Acknowledgments

This study received support from the Russian Science Foundation as part of grant 22-17-00185, accessible at <https://rscf.ru/en/project/22-17-00185>.

Conflict of interests

The author declares no conflicts of interest.

References

- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. 2006. Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayushchei sredy [Diversity of Algal Indicators in Environmental Assessment]. Tel-Aviv: Pilies Studio Press. (in Russian)
- Bolobanshchikova G.N., Palagushkina O.V., Rogozin D.Y. 2023. Diatom Complexes in Modern Bottom Sediments of Lakes of the Central Tunguska Plateau, Evenkia. *Contemporary Problems of Ecology* 16 (2): 103–117. DOI: [10.1134/S199542552302004X](https://doi.org/10.1134/S199542552302004X)
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 1-9.
- Rogozin D.Y., Darin A.V., Kalugin I.A. et al. 2017. Sedimentation rate in Cheko Lake (Evenkia, Siberia): New evidence on the problem of the 1908 Tunguska Event. *Reporters of AS. Earth Sciences* 476(2): 1226-1228. DOI: [10.1134/S1028334X17100269](https://doi.org/10.1134/S1028334X17100269)
- Rogozin D.Y., Krylov P.C., Dautov A.N. et al. 2023. Morphology of Lakes of the Central Tunguska Plateau (Krasnoyarsk Krai, Evenkiya): New Data on the Problem of the Tunguska Event of 1908. *Reporters of RAS. Earth Sciences* 510(1): 307-311. DOI: [10.1134/S1028334X23600044](https://doi.org/10.1134/S1028334X23600044)

Палеоэкологическая реконструкция климата по диатомовым водорослям из донных отложений трех глубоких пресноводных озер Эвенкии (Сибирь, Россия)

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYБолобанщикова Г.Н.^{1*}, Рогозин Д.Ю.^{1,2}¹Обособленное подразделение Федерального исследовательского центра КНЦ СО РАН «Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИБФ СО РАН) улица Академгородок, д. 50/50, Красноярск, 660036, Россия²Сибирский Федеральный Университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Россия

АННОТАЦИЯ. Определён видовой состав диатомовых водорослей донных отложений в пресноводных озерах Заповедное, Чеко и Пеюнга, расположенных в таежной зоне юга Эвенкии на территории государственного заповедника «Тунгусский». На данный момент в этих озёрах выявлено порядка 255 таксонов и определены их экологические характеристики. В диатомовом сообществе донных отложений этих водоёмов присутствуют виды, встречающиеся как во всех трёх озёрах, так и те, которые встречаются только в одном из них. Анализ полученных данных показал наличие общих тенденций в развитии озёр Чеко, Заповедное и Пеюнга. Однако, видовой состав диатомовых водорослей в их донных отложениях имеет ряд отличий, как в качественном, так и в количественном соотношении, и ставит в обособленное положение по отношению к озёрам Заповедное и Чеко озеро Пеюнга. Вероятнее всего это может быть связано с тем, что в отличии от озёр Чеко и Заповедное, озеро Пеюнга имеет меньшую глубину, поэтому его видовой состав показывает тенденцию к большему уровню эвтрофицированности, нежели в озёрах Чеко и Заповедное.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, пресноводные озёра, донные отложения, палеолимнология, палеоэкология, реконструкция климата

Для цитирования: Болобанщикова Г.Н., Рогозин Д.Ю. Палеоэкологическая реконструкция климата по диатомовым водорослям из донных отложений трех глубоких пресноводных озер Эвенкии (Сибирь, Россия) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 256-261. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-256

1. Введение

Озеро Чеко (60°57.904' СШ, 101°51.551' ВД) расположено на Центрально-Тунгусском плато (Восточная Сибирь, Россия) в южной части Эвенкийского муниципального района Красноярского края в непосредственной близости (8 км) от предполагаемого эпицентра Тунгусского взрыва 1908 года. Максимальная глубина озера около 54 м, является проточным водоемом овальной формы диаметром около 400 м. Через озеро протекает река Кимчу, приток реки Чуня, впадающей в р. Подкаменная Тунгуска. Озеро Заповедное (60°31.688' СШ, 101°43.740' ВД) - небольшой водоем почти круглой формы диаметром около 500 м, расположенный на границе Государственного природного заповедника «Тунгусский» (Эвенкийский район Красноярского края), в 60 км от поселка

Ванавара, и приблизительно в 60 км к югу от озера Чеко и предполагаемого эпицентра взрыва 1908 г. Максимальная глубина озера около 60 м. Озеро Пеюнга (60°37.174' СШ 101°38.442' ВД) также имеет почти правильную округлую форму диаметром около 600 м, и расположено в 12 км к северо-западу от оз. Заповедное. Максимальная глубина озера приблизительно 35 м. Через оба озера протекает небольшая река Верхняя Лакура, приток реки Подкаменная Тунгуска (Рогозин и др., 2017; Рогозин и др., 2023).

2. Материалы и методы.

Керн донных отложений оз. Чеко был отобран в июне 2016 года, оз. Заповедное - в июле 2018 г., оз. Пеюнга - в сентябре 2022 г. После транспор-

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: galina.ibp@mail.ru (Г.Н. Болобанщикова)

Поступила: 23 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.



тировки в лабораторию в вертикальном положении керны были разобраны и разрезаны на слайсы – для Чеко и Заповедное с шагом в 1 см, для Пеюнгды в 2 см. Образцы донных отложений, отобранные из каждого слайса, проходили пробоподготовку и техническую обработку на диатомовый анализ по отработанной методике с использованием 30% H₂O₂ (Болобанщикова и др., 2023). Постоянные препараты готовились с применением высокопреломляющей смолы Naphrax. Подсчёт створок диатомовых проводился методом параллельных трансект (Болобанщикова и др., 2023). Для построения диаграмм качественного и количественного состава диатомовых в донных отложениях, а также для кластерного анализа использовали Past 2.15 (Hammer et al., 2001). Для определения видовой принадлежности диатомовых использовали устоявшийся набор определителей и систематических сводок (Болобанщикова и др., 2023). Эколого-географическая характеристика давалась по отношению к местообитанию, солёности, pH воды, по географическому распространению и реофильности (Барина и др., 2006).

3. Результаты и обсуждение

Озеро Чеко. Всего в донных отложениях озера Чеко обнаружен 131 таксон диатомовых водорослей рангом ниже рода. В донных осадках преобладают створки бентосных космополитных видов, индифферентных по отношению к солёности и скорости течения, предпочитающие щелочную реакцию воды, доля которых достигает периодами от 51 до 65% от общей массы. Доля планктонных видов незначительна – зачастую менее 10%.

Озеро Заповедное. В донных отложениях озера Заповедное обнаружено 139 таксонов диатомовых водорослей рангом ниже рода. Основную долю составляют бентосные (до 45%) и планктонно-бентосные (до 35%) космополитные виды, индифферентных по отношению к солёности и скорости течения, предпочитающие щелочную реакцию воды. В отличие от озера Чеко, в оз. Заповедном планктонные виды занимали более существенную

роль – до 26-28% на некоторых глубинах, а особенностью диатомовой флоры донных отложений озера является хорошая представленность створок видов из рода *Tabellaria*, в то время как в озере Чеко их встречаемость гораздо ниже.

Озеро Пеюнгда. На данный момент в озере Пеюнгда обнаружено порядка 255 таксонов диатомовых водорослей рангом ниже рода. В водоёме преобладают космополитные виды, индифферентные по отношению к солёности, предпочитающие щелочную реакцию воды и подвижность водных масс. В процентном соотношении в различные периоды доминирующую роль занимают планктонно-бентосные виды, в основном за счёт *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing – от 46 до 88,8% на различных глубинах, а также планктонные виды за счёт *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen - от 62 до 92%. Количество бентосных видов на протяжении всего керна было существенно ниже планктонных и планктонно-бентосных видов, редко выходя за границу 9%. Наибольшее количество створок бентосных видов зафиксировано в толще керна – 28,5%.

Кластерный анализ позволил разделить донные отложения трёх озёр на 5 основных зон (**Distance**) с изменением в видовом составе диатомовых водорослей (Рис. 1).

Зона DV (2480-485BCE) характеризуется уменьшением доли бентосных и планктонно-бентосных, теплолюбивых видов стояче-текучих вод, но увеличивается их доля среди планктонных диатомовых. Вероятно, это могло быть вызвано уменьшением концентрации минеральных веществ, посредством уменьшения стока талых вод или выпавших осадков). Уменьшение доли теплолюбивых видов может говорить о похолодании климата. Таким образом, в этой зоне предположительно климат становится более сухим и холодным.

Зона IV (485BCE-763CE) характеризуется уменьшением по сравнению с предыдущей зоной долей планктонных видов, при этом увеличивается доля планктонно-бентосных и бентосных теплолюбивых видов, галофилов и видов стояче-текучих вод, что может говорить нам о потеплении и об увеличении уровня минерализации в озере, вероятно

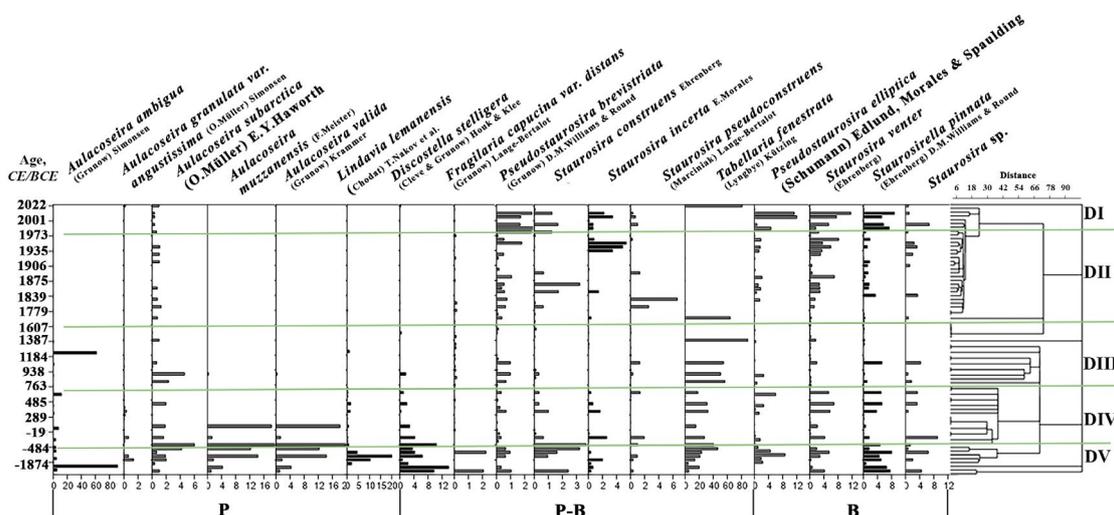


Рис.1. Распределение диатомовых водорослей в донных отложениях озёр Чеко, Заповедное и Пеюнгда (DI-DV обозначены зоны).

за счёт притока минеральных веществ извне из-за увеличения уровня осадков, либо таяния льдов вечной мерзлоты. Предположительно климат стал более влажным и теплым.

ЗонаDIII (763-1687CE) характеризуется тенденцией к увеличению видов, для которых предпочтительнее более минерализованная водная среда и уменьшение видов, предпочитающих постоянное перемешивание водной толщи, что может говорить об эвтрофикации водоёма, возможно за счёт повышения температурного режима или же уменьшения уровня осадков, которые могли привести к увеличению концентрации минеральных веществ в озере вследствие снижения его уровня. С середины зоны увеличивается доля холодолюбивых и предпочитающих перемешивание водной толщи видов. Предположительно происходит стагнация на некоторый период тёплого и более сухого климата.

ЗонаDII (1687-1973CE) характеризуется постепенным увеличением доли планктонно-бентосных и бентосных теплолюбивых видов, а также уменьшением доли планктонных, в т.ч. холодолюбивых видов. Предположительно климат становится ещё более теплым, но в то же время более влажным по сравнению с предыдущей зоной.

ЗонаDI (1973-2022CE) характеризуется возрастанием бентосных и планктонно-бентосных видов. Доля планктонных видов минимальна. В целом наблюдается тенденция к эвтрофикации водоёмов. Вероятно, происходит очередная стагнация тёплого и сухого климата.

4. Выводы

Неоднократные изменения в видовом составе диатомовых водорослей в донных отложениях озёр Чеко, Заповедное и Пеюнга говорят об изменениях климата, происходивших в про-

шлом. Предположительно модель изменения климата можно записать как «холодно-сухо»→«влажно-тепло» →«тепло-сухо»→ «влажно-тепло» → «тепло-сухо».

Благодарности

Исследование выполнено за счёт гранта РФФ 22-17-00185, <https://rscf.ru/en/project/22-17-00185>.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

Список литературы

Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 1-9.

Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio Press.

Болобанщикова Г.Н., Палагушкина О.В., Рогозин Д.Ю. 2023. Видовой состав диатомовых водорослей в современных донных отложениях озер Центрально-Тунгусского плато, Эвенкия. *Сибирский экологический журнал* 30(2): 119-135. DOI: [10.15372/SEJ20230202](https://doi.org/10.15372/SEJ20230202)

Рогозин Д.Ю., Дарьин А.В., Калугин И.А. и др. 2017. Оценка скорости накопления донных отложений в озере Чеко (Эвенкия, Сибирь): новые сведения по проблеме Тунгусского феномена 1908 года. *Докл. АН. Науки о Земле* 476 (6): 685-687. DOI: [10.7868/S0869565217300181](https://doi.org/10.7868/S0869565217300181)

Рогозин Д. Ю., Крылов П. С., Даутов А. Н. и др. 2023. Морфология озер Центрально-Тунгусского плато (Красноярский Край, Эвенкия): новые сведения по проблеме Тунгусской катастрофы 1908 года. *Доклады РАН. Науки о Земле* 510(1): 81-85. DOI: [10.31857/S2686739722602861](https://doi.org/10.31857/S2686739722602861)