

# Sedimentation rate in Lake Plescheevo in the Late Holocene

**Short communication**LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGYRudinskaya A.I.<sup>1\*</sup>, Konstantinov E.A.<sup>1</sup>, Shukhvostov R.S.<sup>1,2</sup>, Kuzmenkova N.V.<sup>1,2</sup><sup>1</sup>*Institute of Geography RAS, Staromonetny Lane 29b4, Moscow, 119017, Russia*<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University, Leninskiye Gory, 1, Moscow, 119991, Russia*

**ABSTRACT.** Bottom sediments of the Lake Plescheevo is a valuable lake record for the central part of the East European Plain. During this study, we analyzed the lithological characteristics of the upper 4 m of the lake sediment and calculate the sedimentation rate and mass accumulation rate of the lake sediments during last 3500 years. We established that the main part of the increase in the mass accumulation of the Lake Plescheevo bottom sediments is due to the silicate deposits associated with the introduction of terrigenous material into its water area. High values of mass accumulation rates about 3500-3000 cal BP. correspond to a stage of high fluvial activity for the East European Plain. The rapid increase in the rate of mass accumulation rate in the last few decades may be associated with the anthropogenic impact - possibly with the influence of a dam on the Vyoksa River flowing into the lake.

**Keywords:** Lake Plescheevo, East European Plane, late Holocene, mass accumulation rate, paleoarchives

**For citation:** Rudinskaya A.I., Konstantinov E.A., Shukhvostov R.S., Kuzmenkova N.V. Sedimentation rate in Lake Plescheevo in the Late Holocene // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 624-629. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-624

## 1. Introduction

Lake sediments is one of the most detailed sources of information about the history of landscapes and climate (Harrison and Digerfeldt, 1993; Cohen et al., 2000; Wohlfarth et al., 2007; Subetto, 2009) having the potential for temporal resolution from a few to tens of years.

Studies of lake sediment cores make it possible to significantly detail the existing ideas about changes in the natural environment and to identify short-period rhythms in the history of sedimentation rates and the factors influencing it. For the central part of the East European Plain, bottom sediments of Lake Plescheevo can be an informative lake record. This lake has existed for 150,000 years (Pisareva et al., 1998), it is located south of the marginal zone of the last glaciation. The lake has a relatively small drainage area and only one river, the Vyoksa, flows out of it. These reasons make the Lake Plescheevo sediments a good basis for paleogeographic reconstructions. Available data on the late Holocene history of the development of the lake (Gapeeva et al., 2005, Palagushkina et al., 2018) do not provide comprehensive information about the rate of sedimentation in the lake, the rhythms of erosion in

the catchment area and the influence of human activity on it. In this study, we analyzed the particle size distribution, geochemical and magnetic indicators of bottom sediments of the Lake Plescheevo and calculate the sedimentation rate for the last 3500 years. We compared these data with existing reconstructions of the Holocene paleohydrological phases for the East European Plain (Panin and Matlakhova, 2015). It helped us to establish whether the identified changes in sedimentation rates in the lake were climatic or anthropogenic.

## 2. Materials and methods

To obtain the most representative column for paleogeographic reconstructions, we drilled in a deep central part of the lake in a bottom area with low-dynamic sedimentation conditions far from the shores and inflowing rivers. To collect the PLESH-4 column, we collected two overlapped cores (each approximately 1.5 m long) using a Nessler sampler and got the upper part of the unconsolidated bottom sediment using a flap sampler with an empty acrylic pipe. We fixed the extracted pipe, filled with water and bottom sediments, on the ice of the lake using cables and left for 12 hours to freeze (Konstantinov, 2019). As a result, we got the

\*Corresponding author.

E-mail address: [rudinskaya94@gmail.com](mailto:rudinskaya94@gmail.com) (A.I. Rudinskaya)

**Received:** June 09, 2024; **Accepted:** July 08, 2024;

**Available online:** August 26, 2024

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



core of 0.9 m long, transported it to the laboratory, thawed and sampled each 5 cm. The cores, selected using a Nessler sampler, were divided with an interval of 2 cm.

The grain size analysis was performed on a Malvern Mastersizer 3000 laser diffractometer with a Hydro EV receiver. Preliminary sample preparation included the removal of the carbonate component of the sediment with a 10% HCl (reaction in test tubes for one hour), removal of organic matter using 20% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and clay aggregate dispersion with 4% Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and ultrasonic processing within 100 seconds. We calculate loss on ignition (LOI) according to Heiri et al. (2001) at temperatures (105°C, 550°C and 950°C. The content of CaCO<sub>3</sub> is determined as LOI 950 × 2.27 (Dean, 1974). Massive magnetic susceptibility (MS) was measured according to Maher (1998) at a low frequency (500 Hz). Visual analysis of the LOI and magnetic susceptibility curves for different cores made it possible to combine them and obtain a column of bottom sediments with a total length of 4.3 m.

Radiocarbon dating of bottom sediment samples using the liquid scintillation method was carried out at the Laboratory of Radiocarbon Dating and Electron Microscopy of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences and at the Laboratory of Nuclear Geophysics and Radioecology of the National Research Center of Lithuania. Radiocarbon dates were calibrated using the OxCal20 algorithm (Reimer et al., 2020).

We studied the content of cesium-137 in the upper part of the sediment (0 - 90 cm of the core). The content of gamma-active radionuclides was determined by an ORTEC GEM-C5060P4-B gamma spectrometer using a semiconductor detector made of ultra-pure germanium (HPGe) with a beryllium window and relative efficiency 20%. The sample exposure time is from 60,000 to 250,000 s, depending on the observed intensity of registration of the desired radionuclides. The analysis was performed at the Department of Radiochemistry, Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University. Next, based on the measurement results in the Spectroline software package, the change in the amount of cesium-137 with depth on the mass and density of the bottom sediment was calculated.

Based on the results of radiocarbon dating and determination of the cesium-137 content, we created an age-depth model using the Bayesian model in the Rbacon software package (Blaauw and Christen, 2011). Then, using the linear rate of sedimentation and sediment density (Zander et al., 2021), we calculated the mass accumulation rate (MAR), organic component accumulation rate (OCAR), carbonates accumulation rate (CAR) and silicate accumulation rate (SAR).

### 3. Results and discussion

The age of the sediments in the lower part of the column (from the depth of 3.95 m) is 3.5 ka BP. A comparison of the curves of particle size distribution, LOI, MS and sediment density showed that the overlap of

the existing cores corresponds to depths of 0.65-0.90 m from the bottom surface for the upper and middle cores and 1.40-2.25 m for middle and lower core. Thus, the total length of the available bottom sediment column from the PLESH-4 was 3.95 m.

The smallest spread in the median particle size is observed in the depth interval 3.95-2.10 m, it varies from 15.8 to 23.9 μm. There is a maximum scatter of median particle size in the depth interval 2.10-0.85 m – it varies from 9.3 to 24.4 μm. In the depth interval 0.85-0.00 m spread of median particle size decreases, it varies from 12.9 to 17.1 μm. The maximum content of the sand (particle size more than 63 μm) is observed in the range of 3.60-3.10 m (it varies from 5.1 to 17.1%) and 1.45-0.70 m (it varies from 5.2 to 15.7 %). The maximum spread of the clay fraction (less than 4 μm) content varies from 7.7 to 25.2% the depth interval 2.05-0.95 m, in the rest of the column its content varies from 7.3 to 18.6%. The content of organic matter (LOI 550°C) at 3.95-1.5 m varies from 15 to 30%, in the interval of 1.5-0 m it decreases slightly and varies from 15.0 to 22.6%. The content of carbonates varies from 5.0 to 37.9%, the maximum content 26.1-37.9% is observed in the depth from 1.5 to 1.2 m. The silicate part of the bottom sediment varies from 44.9 to 76.6%, its maximum content corresponds to 3.95-3.50 m (54.1-60.8%) and 0.80-0.25 m (64.2-76.6%).

At the depth of 3.95-0.90 m, MS varies from 0.05 to  $0.11 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg. At a depth 0.90-0.40 m its values gradually increase from 0.09 to  $0.13 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg, in the range of 0.40-0.0 m. The values increase sharply from 0.21 to  $0.42 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/kg. The sediment density in the depth 3.95-1.60 m is 0.17-0.19 g/cm<sup>3</sup>. It increases to 0.22-0.30 g/cm<sup>3</sup> in the depth 1.60-0.80 m and decreases from 0.18 g/cm<sup>3</sup> to 0.01 g/cm<sup>3</sup> at the depth 0.80-0.00 m.

High MAR values (from 0.037 to 0.054 g/cm<sup>2</sup> per year) correspond to the depth 3.95-2.8 m. At the depth 2.80-0.80 m MAR varies from 0.010 to 0.027 g/cm<sup>2</sup> per year. At the depth 0.80-0.25 m MAR significantly decreases to 0.005-0.009 g/cm<sup>2</sup> per year. There is a noticeable MAR increase up to 0.055 g/cm<sup>2</sup> per year in the upper 0.25 m. SAR varies from 0.003 to 0.042 g/cm<sup>2</sup> per year, OCAR varies from 0.001 to 0.012 g/cm<sup>2</sup> per year, CAR varies from 0.001 to 0.013 g/cm<sup>2</sup> per year.

The results of laboratory and analytical studies indicate that the main part of MAR of the Lake Plescheevo during the last 3500 years is caused by silicate component of bottom sediments associated with the introduction of terrigenous material into the lake. High MAR in the core depth 3.95-2.8 m (3500-3000 cal BP) correspond to a stage of high fluvial activity for the East European Plain (Panin and Matlakhova, 2015). At the same time, the low MAR observed in the Lake Plescheevo from 900 cal BP to 1950 are not consistent with the high fluvial activity reconstructed for the last millennium. The rapid MAR increase during the last few decades may be associated with anthropogenic impact on the territory, possibly with the influence of a dam on the Vyoksa River flowing into the lake.

## 4. Conclusion

The results obtained indicate that the features of sedimentation in the Lake Plescheevo are associated with both climatic rhythms and anthropogenic impact, and these patterns require further more detailed study.

## Acknowledgements

The research was carried out with the support of the Russian Science Foundation project 23-77-10063 “Reconstruction of natural events using high-resolution sedimentary paleoarchives of the center of the East European Plain over the last 25 thousand years”

## Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

## References

- Blaauw M., Christen J.A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis* 6(3): 457–474. DOI: [10.1214/ba/1339616472](https://doi.org/10.1214/ba/1339616472)
- Cohen A., Palacios-Fest M., Negrini R. et al. 2000. A paleoclimate record for the past 250,000 years from Summer Lake, Oregon, USA: II. Sedimentology, paleontology and geochemistry. *J.Paleolimnol.* 24: 151-182.
- Dean W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *J. Sediment. Petrol.* 44(1): 242–248. DOI: [10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D](https://doi.org/10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D)
- Gapeeva M.V., Nugraliev D.K., Sigareva L.E., Haidas I. 2005. Historical trends of biogenic elements in bottom sediments of Lake Pleshcheevo under natural and anthropogenic conditions. *Jekologicheskaja himija [Ecological Chemistry]*14(4): 55-62. (in Russian)
- Harrison S.P., Digerfeldt G.1993. European lakes as palaeohydrological and palaeoclimatic indicators. *Quaternary Science Reviews* 12(4): 233-248. DOI:[10.1016/0277-3791\(93\)90079-2](https://doi.org/10.1016/0277-3791(93)90079-2)
- Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. Paleolimnol.* 25: 101–110. DOI: [10.1023/A:10081196114](https://doi.org/10.1023/A:10081196114)
- Konstantinov E.A. 2019. A New Technology of Coring for Bottom Soft Sediments. *Okeanologija [Oceanology]* 59(5): 791–796. DOI: [10.1134/S0001437019050084](https://doi.org/10.1134/S0001437019050084) (in Russian)
- Maher B.A. 1998. Magnetic properties of modern soil-sand Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 137 (1–2): 25–54
- Palagushkina O., Frolova L., Zinnatova E., Kosareva L., Nurgaliev D. 2018. Diatoms of sediments of Plescheevo Lake (Russia) as indicators of environmental changes in Holocene. 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconferense: 283-288.Reimer P., Austin W., Bard E. et al. 2020.The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kB). *Radiocarbon* 62.: 725 - 757. DOI:[10.1017/RDC.2020.4](https://doi.org/10.1017/RDC.2020.4)
- Panin A., Matlakhova E. 2015. Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications. *Catena* 130: 46–61.DOI: [10.1016/j.catena.2014.08.016](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016)
- Reimer P., Austin W., Bard E. et al. 2020.The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kB). *Radiocarbon* 62: 725 - 757. DOI:[10.1017/RDC.2020.4](https://doi.org/10.1017/RDC.2020.4)
- Pisareva V.V., Gunova V.S., Shik S.M. 1998. An Ancient Lake Plescheevo. In: *History of the Pleistocene Lakes of the East European Plane*. Saint-Peterburg, pp.291-299. (in Russian)
- Panin A., Matlakhova E. 2015. Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications. *Catena* 130: 46–61.DOI: [10.1016/j.catena.2014.08.016](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016)
- Subetto D.A. 2009. *Lake Sediments. Paleolimnological Reconstructions*. Saint-Petersburg: Herzen University Publ. (in Russian)
- Wohlfarth B., Lacourse T., Bennike O. et al. 2007. Climatic and environmental changes in north-western Russia between 15,000 and 8000 cal yr BP: a review. *Quaternary Science Reviews* 26(13): 1871-1883. DOI: [10.1016/j.quascirev.2007.04.005](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.04.005)
- Zander P.D., Żarczyński M., Vogel H., Tylmann W. Wacnik A., Sanchini A., Grosjean M. 2021. A high-resolution record of Holocene primary productivity and water-column mixing from the varved sediments of Lake Żabińskie, Poland. *Science of the Total Environment* 755: 143713. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.143713](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143713)

# Темпы осадконакопления в Плещеевом озере в позднем голоцене

Краткое сообщение

LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGYРудинская А.И.<sup>1\*</sup>, Константинов Е.А.<sup>1</sup>, Шухвостов Р.С.<sup>1,2</sup>, Кузьменкова Н.В.<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Институт географии РАН, Старомонетный пер., 29с4, Москва, 119017, Россия<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991, Россия

**АННОТАЦИЯ.** Донные отложения озера Плещеева служат ценной озерной летописью для центральной части Восточно-Европейской равнины. В ходе настоящего исследования был проанализированы литологические характеристики верхних 4 м донного осадка и рассчитаны темпы осадконакопления для последних 3500 лет. Установлено, что основная часть прироста массы донных отложений озера Плещеева обусловлена силикатной частью донного осадка, что связано с привнесением терригенного материала в его акваторию. Высокие значения темпов прироста массы в интервале 3500-3000 кал.л.н. соответствуют этапу высокой флювиальной активности для Восточно-Европейской равнины. Резкий рост темпа прироста массы в последние несколько десятилетий может быть связан с антропогенным воздействием на территорию – возможно, с влиянием плотины на вытекающей из озера р.Вёкса.

**Ключевые слова:** Плещеево озеро, Восточно-Европейская равнина, поздний голоцен, темпы прироста массы, озерные палеоархивы

Для цитирования: Рудинская А.И., Константинов Е.А., Шухвостов Р.С., Кузьменкова Н.В. Темпы осадконакопления в Плещеевом озере в позднем голоцене // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 624-629. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-624

## 1. Введение

Озерные отложения – один из наиболее подробных источников информации об истории ландшафтов и климата (Harrison and Digerfeldt, 1993; Cohen et al., 2000; Wohlfarth et al., 2007; Субетто, 2009), имеющий потенциал к временному разрешению от первых до десятков лет. Исследования кернов озерных осадков позволяет существенно детализировать имеющиеся представления об изменениях природной среды и выявлять короткопериодную ритмику истории изменения обстановок осадконакопления и факторах, влияющих на эти изменения. Для центральной части Восточно-Европейской равнины информативной озерной летописью могут служить донные отложения озера Плещеева. Возраст этого озера, расположенного южнее краевой зоны последнего оледенения, оценивается в 150 тысяч лет (Писарева и др., 1998); озеро имеет сравнительно небольшую площадь водосбора и из него вытекает только одна река Вёкса, что делает его отложения хорошей основой для палеогеографических реконструкций. Имеющиеся данные о позд-

неголоценовой истории развития озера (Гапеева и др., 2005; Palagushkina et al., 2018) не дают исчерпывающей информации о темпах осадконакопления в акватории, о ритмах эрозии на водосборе и о влиянии хозяйственного освоения на темпы аккумуляции в акватории. В ходе настоящего исследования был проанализирован гранулометрический состав, геохимические и магнитные индикаторы донных отложений озера Плещеева и рассчитаны темпы осадконакопления на последние 3500 лет. Полученные данные были сопоставлены с существующими реконструкциями палеогидрологических фаз голоцена для Восточно-Европейской равнины (Panin and Matlakhova, 2015), что позволило установить, какую природу имеют выявленные изменения темпов осадконакопления в озере – климатическую или антропогенную.

## 2. Материалы и методы

Для получения наиболее представительной колонки для палеогеографических реконструкций были проведены буровые работы в глубоководной

\*Автор для переписки.

Адрес e-mail: [rudinskaya94@gmail.com](mailto:rudinskaya94@gmail.com) (А.И. Рудинская)

Поступила: 09 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.



ложбине в центральной части озера на участке дна со спокойными условиями осадконакопления, удаленном от берегов и впадающих рек. Бурение скважины PLESH-4 проводилось следующим образом: две колонки с перекрытием (длина каждой около 1,5 м) были отобраны при помощи бура Несье, а для отбора верхней части неконсолидированного донного осадка использовался пробоотборник с клапаном и пустая акриловая труба (Константинов, 2019). Извлеченная труба, заполненная водой и донными отложениями, была зафиксирована на льду озера при помощи тросов и оставлена на 12 часов для замораживания полученного керна длиной 0,9 м. Затем керн был транспортирован в лабораторию, разморожен и послойно поделен с шагом 5 см. Колонки, отобранные при помощи бура Несье, были поделены с шагом 2 см.

Гранулометрический анализ отложений проведен на лазерном дифрактометре Malvern Mastersizer 3000 с приемником-диспергатором Hydro EV. Подготовка проб к анализу заключалась в последовательной обработке материала 20% раствором перекиси водорода (для удаления органического вещества), 10 % раствором соляной кислоты (для удаления карбонатов) и 4 % раствором пирофосфата натрия (для диспергирования глинистых агрегатов) и обработкой ультразвуком в течение 100 с. Потери при прокаливании (ППП) определены согласно методике Heiri et al. (2001) при двух температурных режимах - 550°C и 950°C. Оценка содержания карбоната кальция (CaCO<sub>3</sub>) выполнялась путем умножения ППП Δ950 на 2,27 (Dean, 1974). Измерение удельной (массовой) магнитной восприимчивости (МВ) выполнялось на каппаметре ZH Instruments 150L по методике Maher (1998) при частоте 500 Гц. Визуальный анализ кривых ППП и магнитной восприимчивости для разных кернов позволил совместить их и получить колонку донных отложений суммарной длиной 4,3 м.

Радиоуглеродное датирование образцов донных отложений жидкостно-сцинтилляционным методом было проведено в ЦКП “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” Института географии РАН и в Лаборатории ядерной геофизики и радиоэкологии Национального исследовательского центра Литвы. Калибровка радиоуглеродных дат выполнена с помощью алгоритма OxCal20 (Reimer et al., 2020).

В верхней части осадка (0 – 90 см керна) было исследовано содержание радионуклидов цезия-137. Определение содержания гамма-активных радионуклидов осуществлялось при помощи гамма-спектрометра ORTEC GEM-C5060P4-B с применением полупроводникового детектора из сверхчистого германия (HPGe) с бериллиевым окном и относительной эффективностью 20%. Время экспозиции проб от 60000 до 250000 с в зависимости от наблюдаемой интенсивности регистрации искомых радионуклидов. Анализ выполнен на кафедре радиохимии Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Далее по результатам измерений в программном пакете Spectroline было рассчитано изменение

количества цезия-137 с глубиной на массу и плотность донного осадка.

По результатам радиоуглеродного датирования и определения содержания цезия-137 в программном комплексе Rbacon (Blaauw and Christen, 2011) по байесовской модели была построена глубинно-возрастная модель. Затем с учетом линейной скорости седиментации и плотности осадка (Zander et al., 2021) были рассчитаны общие темпы прироста массы донного осадка на единицу площади в год (MAR), а также темпы прироста массы органического вещества, карбонатной и силикатной части осадка.

### 3. Результаты и их обсуждение

Судя по возрасту отложений из нижней части колонки (с глубины 3,95 м), мы располагаем осадочной летописью для последних 3500 лет. Сопоставление кривых изменения гранулометрического состава, потерь при прокаливании, удельной магнитной восприимчивости и плотности осадка показало, что перекрытие имеющихся кернов соответствует глубинам 0,65-0,90 м от поверхности дна для верхнего и среднего керна и 1,40-2,25 м для среднего и нижнего керна. Таким образом, общая длина имеющейся колонки донных отложений из скважины PLESH-4 составила 3,95 м.

В глубинном интервале 3,95-2,10 м наблюдается наименьший разброс значений медианного размера частиц – от до 15,8-23,9 мкм, выше по колонке на глубинах 2,10-0,85 м наблюдается максимальный разброс значений (от 9,3 до 24,4 мкм, интервале 0,85-0 м разброс значений снижается (от 12,9 до 17,1 мкм). Максимальное содержание песчаной фракции (размер частиц более 63 мкм) наблюдается в интервале 3,60-3,10 м (от 5,1 до 17,1%) и 1,45-0,70 м (5,2 до 15,7%). Максимальный разброс значений (от 7,7 до 25,2%) содержания глинистой фракции (менее 4 мкм) характерен для глубинного интервала 2,05-0,95 м в остальной части колонки ее содержание меняется в пределах от 7,3 до 18,6%. Содержание органического вещества (ППП 550°C) на глубинах 3,95-1,5 м меняется в пределах от 15 до 30%, в интервале 1,5-0 м оно немного снижается - до 15,0 - 22,6%. Содержание карбонатных соединений меняется в пределах от 5,0 до 37,9%, максимальное содержание 26,1-37,9% наблюдается в глубинном интервале от 1,5 до 1,2 м. Силикатная часть донного осадка меняется в пределах от 44,9 до 76,6%, ее максимальное содержание характерно для глубинных интервалов 3,95-3,50 м (54,1-60,8%) и 0,80-0,25 м (64,2-76,6%). В глубинном интервале 3,95-0,90 м удельная магнитная восприимчивость меняется в пределах от 0,05 до 0,11\*10<sup>-6</sup> м<sup>3</sup>/кг, в интервале 0,90-0,40 м ее значения постепенно увеличиваются вверх по глубине от 0,09 до 0,13 \*10<sup>-6</sup> м<sup>3</sup>/кг, в интервале 0,40-0,0 м значения резко увеличиваются вверх по глубине – от 0,21 до 0,42 \*10<sup>-6</sup> м<sup>3</sup>/кг. Плотность осадка в глубинном интервале 3,95-1,60 м меняется в пределах 0,17-0,19 г/см<sup>3</sup>. Выше по керну, в глубинном интервале 1,60-

0,80 м, она увеличивается до 0,22-0,30 г/см<sup>3</sup>, на глубинах 0,80-0,0 м плотность значительно снижается вверх по колонке – от 0,18 г/см<sup>3</sup> до 0,01 г/см<sup>3</sup>.

Высокие значения общей температуры прироста массы наблюдаются в глубинном интервале 3,95-2,8 м (0,037-0,054 г/см<sup>2</sup> в год), в интервале 2,8-0,80 значения меняются в пределах 0,010-0,027 г/см<sup>2</sup> × - год, в интервале 0,80-0,25 температуры прироста массы резко снижаются до 0,005-0,009 г/см<sup>2</sup> в год, и в верхних 0,25 м колонки наблюдается резкий рост темпов прироста массы – до 0,055 г/см<sup>2</sup> в год. Темп прироста массы терригенной части осадка менялся в пределах от 0,003 до 0,042 г/см<sup>2</sup> в год, органического вещества – от 0,001 до 0,012 г/см<sup>2</sup> в год, карбонатной части осадка – от 0,001 до 0,013 г/см<sup>2</sup> в год.

Судя по результатам лабораторно-аналитических исследований, основная часть прироста массы донных отложений озера Плесеева в последние 3500 лет обусловлена силикатной частью донного осадка, что связано с привнесением терригенного материала в его акваторию. Высокие значения темпов прироста массы в интервале 3,95-2,8 м (3500-3000 кал.л.н.) соответствуют этапу высокой флювиальной активности для Восточно-Европейской равнины (Panin and Matlakhova, 2015). В то же время низкие темпы прироста массы, наблюдаемые в акватории озера Плесеева в интервале 900-0 кал.л.н., не согласуются с высокой флювиальной активностью, реконструируемой для последнего тысячелетия. Резкий рост темпа прироста массы в последние несколько десятилетий может быть связан с антропогенным воздействием на территорию – возможно, с влиянием плотины на впадающей в озеро р.Вёксе.

#### 4. Заключение

Судя по полученным результатам, особенности осадконакопления в Плесеевом озере связаны как с климатическими ритмами, так и с антропогенным воздействием, и эти закономерности требуют дальнейшего более детального изучения.

#### Благодарности

Исследование выполнено при поддержке проекта РНФ 23-77-10063 «Реконструкция природных событий по высокоразрешающим седиментационным палеоархивам центра Восточно-Европейской равнины за последние 25 тысяч лет»

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Список литературы

Гапеева М.В., Нургалиев Д.К., Сигарева Л.Е., Хайдес И. 2005. Исторические тренды биогенных элементов в донных отложениях Плесеева озера в естественных и

антропогенных условиях. *Экологическая химия* 14(4): 55-62.

Константинов Е.А. 2019. Новая технология отбора слабоконсолидированного донного осадка *Океанология* 59(5): 791–796. DOI: [10.1134/S0001437019050084](https://doi.org/10.1134/S0001437019050084)

Писарева В.В., Гунова В.С., Шик С.М. 1998. Древнее озеро Плесеево. В кн. История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины. СПб., с.291-299.

Субетто Д.А. 2009. Донные отложения озер. Палеолимнологические реконструкции. – СПб: РГПУ.

Blaauw M., Christen J.A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis* 6(3):457–474. DOI: [10.1214/ba/1339616472](https://doi.org/10.1214/ba/1339616472)

Cohen A., Palacios-Fest M., Negrini R. et al. 2000. A paleoclimate record for the past 250,000 years from Summer Lake, Oregon, USA: II. Sedimentology, paleontology and geochemistry. *J.Paleolimnol.* 24.: 151-182.

Dean W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *J. Sediment. Petrol.* 44(1): 242–248. DOI: [10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D](https://doi.org/10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D)

Harrison S.P., Digerfeldt G.1993. European lakes as palaeohydrological and palaeoclimatic indicators. *Quaternary Science Reviews.* 12(4): 233-248. DOI:[10.1016/0277-3791\(93\)90079-2](https://doi.org/10.1016/0277-3791(93)90079-2)

Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. Paleolimnol.* 25: 101–110. DOI: [10.1023/A:10081196114](https://doi.org/10.1023/A:10081196114)

Maher B.A. 1998. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 137 (1–2): 25–54

Palagushkina O., Frolova L., Zinnatova E., Kosareva L., Nurgaliev D.2018. Diatoms of sediments of Plescheevo Lake (Russia) as indicators of environmental changes in Holocene. 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference. 283-288

Panin A., Matlakhova E. 2015. Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications. *Catena* 130: 46–61. DOI: [10.1016/j.catena.2014.08.016](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016)

Reimer P., Austin W., Bard E. et al. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kB). *Radiocarbon* 62: 725 - 757. DOI:[10.1017/RDC.2020.4](https://doi.org/10.1017/RDC.2020.4)

Wohlfarth B., Lacourse T., Bennike O. et al. 2007. Climatic and environmental changes in north-western Russia between 15,000 and 8000 cal yr BP: a review. *Quaternary Science Reviews* 26(13): 1871-1883. DOI: [10.1016/j.quascirev.2007.04.005](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.04.005)

Zander P.D., Żarczyński M., Vogel H., Tylmann W. Wacnik A., Sanchini A., Grosjean M. 2021. A high-resolution record of Holocene primary productivity and water-column mixing from the varved sediments of Lake Żabińskie, Poland. *Science of the Total Environment* 755: 143713. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.143713](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143713)