

An age and accumulation patterns of laminated sediments of Lake Kasplya (Smolensk region)



Shasherina L.V.*, Alexandrin M.Yu., Konstantinov E.A.,
Zakharov A.L., Rudinskaya A.I.

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetny per. 29, Moscow, 119017 Russia

ABSTRACT. Presented study aims to investigate paleolimnological conditions of Lake Kasplya in north-western European Russia. An annually-laminated deposits were analyzed with ^{14}C dating, thin section study and varve counting using a semi-automated method. An annual structure is expressed in one or two pairs of layers per year (light – diatomite and calcite, dark – organomineral detritus with pyrite concretions). Differences in the structure of Early Holocene and Middle Holocene varves indicate changing paleolimnological conditions of the water body, while the disappearance of varves around 6.7 thousand years ago suggests the cessation of stable lake stratification. Due to the peculiarities of sediment structure, the obtained varve chronology is older compared to the radiocarbon sedimentation model (3,5 thousand years versus 2,5 thousand years).

Keywords: Paleolimnology, radiocarbon dating, varves, varvochronology, thin sections

For citation: Shasherina L.V., Alexandrin M.Yu., Konstantinov E.A., Zakharov A.L., Rudinskaya A.I. An age and accumulation patterns of laminated sediments of Lake Kasplya (Smolensk region) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 653-658. DOI: [10.31951/2658-3518-2024-A-4-653](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-653)

1. Introduction

Annually-laminated lacustrine sediments (varves) serve as archives for reconstructing regional-scale paleoecological and climatic conditions. Reliable varve chronology is possible if well-preserved varves with proven annual accumulation patterns are present. Biogenic-chemogenic varves are characterized by the potential to form two pairs per year - a winter-spring pair and a summer-autumn pair (Zolitschka et al., 2015). This is due to the lake stratification features. Therefore, this type of varves often requires additional research, particularly the study of the microscopic structure of sediments in thin sections. This allows for the description of the seasonality of various varve components' accumulation and accurate counting of the annual layers (Lotter and Lemcke, 1999).

Lakes with biogenic varves are widespread in the temperate climatic zone, but such lakes in the East European Plain are almost unexplored. Lake Kasplya is a rare water body where Early Holocene varves are preserved. Studying these varves will enable high-resolution paleogeographic reconstructions. The objective of this study is to reconstruct the age and sedimentation conditions of annually-laminated deposits in Lake Kasplya.

*Corresponding author.

E-mail address: lida.sh.vs@gmail.com (L.V. Shasherina)

Received: June 02, 2024; **Accepted:** July 03, 2024;

Available online: August 26, 2024

2. Key site and regional settings

Lake Kasplya is located 35 km northwest of Smolensk, with an area of 3,2 km² and a maximum depth of 3,5 meters. The Kasplya River, which flows into the Western Dvina, originates from this lake. The lake basin is elongated in a SW-NE direction, with winding, steep shores, and in some places on the eastern side, terraced. The northern shores of the lake feature the terminal hill-ridge relief of the Valdai glaciation, while the southern shores are predominantly fluvio-glacial.

3. Materials and methods

The bottom sediments of Lake Kasplya were drilled in 2022. The reference core Kas-17, located in the deepest part of the lake, has a length of 17,3 m. The drilling was performed using a modified Livingston piston corer, collecting cores 1 meter in length end-to-end. The cores were analyzed at the Laboratory of Paleoenvironmental Archives of the Institute of Geography RAS. In the depth interval of 9,6–15,1 m, the lake sediments are rhythmically laminated (biogenic varves). The study of the structure and age of the laminations was carried out using a complex of meth-

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



ods, including: 1) radiocarbon dating (^{14}C), 2) semi-automated counting and measuring of layer thicknesses from macro photographs and 3) study of the varve structure in thin sections under direct and polarized light.

Radiocarbon dating by accelerator mass spectrometry (AMS) was performed at the Shared Research Facility “Laboratory of Radiocarbon Dating and Electron Microscopy” of the Institute of Geography RAS in collaboration with the Center for Applied Isotope Studies at the University of Georgia, USA. Scintillation method dating (LSC) was performed at the Laboratory of Geomorphological and Paleogeographic Studies of Polar Regions and the World Ocean of the Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University. The dates were calibrated using the OxCal 4.4 program (Bronk Ramsey, 2021) with the IntCal20 calibration curve (Reimer et al., 2020). Based on four dates, an age model for the laminated deposits was constructed using the Bacon algorithm in the R software (Blaauw and Christen, 2011).

Macro photography of the cleaned cores surfaces was carried out using a Canon EOS 750D DSLR camera with a 100 mm macro lens. The resolution of the obtained images was 30-50 micrometers. Layer counting and thickness measurements were performed using ImageJ software. The counts were conducted three times by different researchers based on the white layers of the pairs. Most of the cores were shortened to 70-80 cm due to physical loss during drilling. The missing sections were calculated by interpolation. As a result, floating chronologies were obtained with depth-layer number ratio (or relative year).

Statistical analysing of the counts was performed in the DataGraph program. The obtained varve chronology was compared with the results of age modelling based on ^{14}C dating.

To study the structure of the laminations, samples were taken from the cores at 20-30 cm intervals for making thin sections. Ten thin sections, averaging 1x2 cm in size, were examined using the MEKOS-C2 scanning microscope analyzer.

4. Results and discussion

Rhythmites are represented by alternating brown layers and beige ones, with occasional gray layers between them. Visual examination of the cleaned core surfaces revealed: 1) the thickness of the varves generally increases from bottom to top, 2) at a depth of 13,4 m, there is a noticeable transition where the varves become thicker and darker, and 3) textures of bending and distortion of the laminations are observed, indicating core deformation and sediment compaction and/or lateral extrusion.

Age of sediment accumulation. According to the age model, the sediments at depths of 9,6–15,1 m accumulated between 9,2 and 6,7 thousand years ago, i.e., over approximately two and a half thousand years. The change in varve types at a depth of 14,3 m occurred around 7,9 thousand years ago, almost at the boundary between the Early and Middle Holocene.

The number of individual layer pairs in the depth interval of 9,6–15,1 m for three independent counts was 4385, 4556, and 5063 with interpolation of the missing core sections. Meanwhile, without interpolation, the counts were 3388, 3471, and 3861 pairs. Thus, the layer counts ranging from 3000 to 5000 do not correspond to the results of ^{14}C dating.

Apparently, the shortening of the cores is not due to physical loss but to sediment compaction. This occurs due to deformation from pressure and friction on the cutting edge and along the walls of the corer, as well as compression of the sediment by the piston (Glew et al., 2001).

Structure of varves and conditions of their accumulation. The microstructure of the varves changes according to observations of the cleaned core surfaces. Below 13,4 m, the varves are thin, averaging 0,7 mm, and consist of: a light layer comprising a thin diatom (pennate and centric species) sublayer and a thicker calcite sublayer, and a dark layer comprising organo-mineral detritus with spherical pyrite concretions (framboids). Above 13,4 m, the varves gradually thicken, averaging up to 1,85 mm, and become more complex in structure. In the light spring-summer layers, diatomite sublayers become thicker, the composition of the frustules becomes more diverse, and the calcite sublayer becomes thinner and sometimes disappears altogether. Pairs with two diatom or two calcite sublayers, or mixed diatom-calcite layers, are often encountered. In the dark autumn-winter layers, the content of organogenic detritus increases, while the mineral content decreases.

Repeated deposition of calcite within a single season is a factor that leads to an overestimation of the annual pairs number compared to radiocarbon age.

Above the depth of 9,6 m, the sediment becomes massive, consisting mainly of diatom frustules and a micro-crystalline calcite, with rare thin lenses of large-crystalline calcite. Pyrite concretions and plant-mineral detritus are uniformly encountered.

A typical state of a lake where biogenic varves are preserved is an eutrophic lake with a low surface area to depth ratio and at least seasonal anoxic conditions in the hypolimnion (Zolitschka et al., 2015). The change in layer structure at a depth of 13,4 m and the disappearance of varves above 9,6 m indicates a change of paleolimnological conditions in the lake. This may be associated with the lake shallowing due to the filling with sediments and an increase in bioproductivity.

5. Conclusions

As a result, two main types of varves of Lake Kasplya were identified: 1) thin (0,7 mm) Early Holocene varves and 2) thickened (1,85 mm) Middle Holocene varves. It was found that intra-seasonal fluctuations created both one and two pairs of layers per year. This introduced ambiguity in the counting of annual pairs, and the constructed varve chronology overestimated the age relative to the radiocarbon age-depth model (3-5 thousand years versus 2.5 thousand years).

Acknowledgements

The study was supported by the Russian Science Foundation Project 23-77-10063.

Conflict of interests

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 Anal.* 6(3): 457–474. DOI:[10.1214/11-BA618](https://doi.org/10.1214/11-BA618)
Bronk Ramsey C. 2021. OxCal 4.4.: [https://c14.arch.](https://c14.arch.ox.ac.uk/Oxcal/OxCal.html)

[ox.ac.uk/Oxcal/OxCal.html](https://c14.arch.ox.ac.uk/Oxcal/OxCal.html)

Glew J. R., Smol J. P., Last W. M. 2001. Sediment Core Collection and Extrusion. Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. *Developments in Paleoenvironmental Research*. Dordrecht: Springer 1: 73–105.

Lotter A.F., Lemcke G. 1999. Methods for preparing and counting biochemical varves. *Boreas* 28: 243–252. DOI: [10.1111/j.1502-3885.1999.tb00218.x](https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1999.tb00218.x)

Reimer P., Austin W., Bard E. et al. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62(4): 725–757. DOI: [10.1017/RDC.2020.41](https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41)

Zolitschka B., Francus P., Ojala A.E.K. et al. 2015. Varves in lake sediments – a review. *Quaternary Science Review* 117: 1–41. DOI: [10.1016/j.quascirev.2015.03.019](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.03.019)

Возраст и условия накопления ритмично-слоистых отложений оз. Каспля (Смоленская область)

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYШашерина Л.В.*, Александрин М.Ю., Константинов Е.А.,
Захаров А.Л., Рудинская А.И.

Институт географии Российской академии наук, Старомонетный пер. 29, Москва, 119017 Россия

АННОТАЦИЯ. Данное исследование посвящено реконструкции палеолимнологических условий в оз. Каспля (Смоленская область). Толща ритмично-слоистых отложений была исследована радиоуглеродным методом, микроморфологическим описанием по шлифам. Выполнен подсчёт пар слоёв полуавтоматическим методом. Выявлена годовичная структура, которая выражается в одной либо двух парах слоёв за год (светлый – диатомит и кальцит, тёмный – органоминеральный детрит с конкрециями пирита). Различия в строении раннеголоценовых и среднеголоценовых варв указывают на менявшиеся палеолимнологические условия водоёма, а исчезновение варв около 6,7 л.н. – на прекращение устойчивой озёрной стратификации. Вследствие особенности строения осадков, полученная варвохронология удревнена относительно радиоуглеродной модели осадконакопления (3,5 тыс. против 2,5 тыс. лет).

Ключевые слова: палеолимнология, радиоуглеродное датирование, варвы, варвохронология, шлифы

Для цитирования: Шашерина Л.В., Александрин М.Ю., Константинов Е.А., Захаров А.Л., Рудинская А.И. Возраст и условия накопления ритмично-слоистых отложений оз. Каспля (Смоленская область) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 653-658. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-653

1. Введение

Годично-слоистые осадки озёр (варвы) являются архивами для реконструкций палеоэкологических и климатических условий регионального масштаба. Построение надёжной варвохронологии возможно в случае хорошо сохранившейся слоистости с доказанным годовичным накоплением пары слоёв. Биогенно-хемогенные варвы отличаются тем, что могут накапливаться по две пары за год, в зимне-весенний и летне-осенний сезоны (Zolitschka et al., 2015). Это обусловлено особенностями озёрной стратификации. Поэтому изучение данного типа варв часто требует применения дополнительных методов, в частности, описания строения осадка в шлифах. Оно позволяет реконструировать сезонность накопления различных компонентов варв и надёжно посчитать годовичные слои (Lotter and Lemcke, 1999).

Озёра с биогенно-хемогенными варвами распространены в умеренном климатическом поясе, но подобные озёра Восточно-Европейской равнины почти не исследованы. Озеро Каспля – редкий водоём, в котором сохранены раннеголоценовые

варвы. Изучение варв позволит выполнить палеогеографические реконструкции высокого разрешения. Цель работы – реконструировать возраст и условия осадконакопления ритмично-слоистых отложений в оз. Каспля (Смоленская область).

2. Объект исследования

Озеро Каспля расположено в 35 км к северо-западу от Смоленска, имеет площадь 3,2 км², максимальную глубину – 3,5 м. Из озера берёт начало р. Каспля, впадающая в Западную Двину. Озёрная котловина вытянута в ЮЗ-СВ направлении, берега извилистые, крутые, в отдельных местах с восточной стороны – террасированные. Берега озера в северной части – это краевой холмисто-грядовый рельеф валдайского оледенения, а в южной части – преимущественно водноледниковый рельеф.

3. Материалы и методы

Донные отложения озера пробурены в 2022 году. Опорная колонка Kas-17, расположенная в

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: lida.sh.vs@gmail.com (Л.В. Шашерина)

Поступила: 02 июня 2024; Принята: 03 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

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



наиболее глубокой части озера, имеет длину 17,3 м. Бурение выполнено модифицированным поршневым буром Ливингстона с отбором кернов по 1 м длиной стык в стык. Керны были проанализированы в Лаборатории палеоархивов природной среды ИГ РАН. В интервале глубин 9,6–15,1 м озёрные осадки ритмично-слоистые (биогео-хемогенные варвы). Определение структуры и возраста слоистости выполнено комплексом методов, включающим: 1) радиоуглеродное датирование (^{14}C), 2) подсчёт количества и измерение толщины слоёв полуавтоматическим способом по макрофотографиям и 3) изучение строения варв в шлифах в прямом и поляризованном свете

Радиоуглеродное датирование методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) выполнено в лаборатории ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН в сотрудничестве с Центром прикладных изотопных исследований университета Джорджии, США. Датирование сцинтилляционным методом (LSC) выполнено в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана Института Наук о земле СПбГУ. Даты откалиброваны в программе OxCal 4.4. (Bronk Ramsey, 2021) используя калибровочную кривую IntCal20 (Reimer et al., 2020). На основе 4 датировок при помощи алгоритма Bacon в среде R (Blaauw and Christen, 2011) построена возрастная модель для ритмично-слоистой толщи.

Макрофотосъёмка кернов выполнена при помощи зеркальной камеры Canon EOS 750D с макро-объективом 100 мм. Разрешение полученных снимков - 30-50 мкм, на них отчётливо видна текстура осадка. По полученным изображениям в программе ImageJ выполнен подсчёт слоёв и измерение их толщины. Подсчёт выполнен трижды разными исследователями по белым прослоям пары. Почти все керны были укороченными, длиной 70-80 см, из-за физической потери в процессе бурения. Недостающие участки были рассчитаны путем интерполяции. В итоге были получены плавающие хронологии с соотношением глубина-номер слоя (или относительный год).

Статистическая обработка подсчёта выполнена в программе DataGraph. Там же полученная варвохронология сопоставлена с результатами возрастного моделирования по ^{14}C датированию.

Для изучения строения слоистости с шагом 20-30 см из кернов были отобраны образцы для изготовления шлифов. 10 шлифов, средним размером 1x2 см, были изучены на сканирующем микроскопе-анализаторе МЕКОС-Ц2.

4. Результаты и дискуссия

Ритмики представлены чередованием коричневых прослоев и менее мощных бежевых, дополнительно между ними иногда отмечаются прослойки серого цвета. По результатам визуального изучения зачищенных поверхностей кернов: 1) толщина варв,

в целом, увеличивается снизу вверх, 2) на глубине 13,4 м визуальный заметный переход – варвы становятся толще и темнее, 3) встречаются текстуры загибания и искажения слоистости, указывающие на деформацию кернов и уплотнение и/или латеральное выдавливание осадка.

Возраст накопления отложений. Согласно возрастной модели, отложения на глубинах 9,6–15,1 м накопились в период с 9,2 по 6,7 тыс. л.н. то есть примерно за две с половиной тысячи лет. Смена типов варв на глубине 14,3 м произошла около 7,9 тыс. л.н., почти на границе раннего и среднего голоцена.

Количество индивидуальных пар слоев в интервале глубин 9,6–15,1 м для трех независимых подсчетов составило 4385, 4556 и 5063 при интерполяции недостающих частей кернов. В то же время без интерполяции подсчеты составили 3388, 3471 и 3861 пар. Подсчет слоев в 3000-5000 единиц, таким образом, не соответствует результатам ^{14}C датирования.

По-видимому, укорочение кернов связано не с физической потерей, а с уплотнением осадка. Это происходит из-за деформаций давления и трения на режущей кромке и вдоль стенок пробоотборника, а также со сдавливанием осадка поршнем (Glew et al., 2001).

Строение варв и условия их накопления. Микростроение варв меняется согласно наблюдениям зачищенной поверхности кернов. Ниже 13,4 м варвы тонкие – 0,7 мм в среднем – состоят: светлый слой состоит из тонкого прослоя диатомовых (пеннатных и центрических видов) и более толстого кальцитового, темный слой – органо-минеральный детрит со сферическими конкрециями пирита (фрамбоидами). Выше 13,4 м варвы постепенно утолщаются, в среднем до 1,85 мм, становятся сложнее по структуре. В светлых весенне-летних слоях прослойки диатомита становятся толще, состав панцирей – разнообразнее, а кальцита – тоньше и порой вовсе исчезают. Часто встречаются пары с двумя диатомовыми или двумя кальцитовыми прослоями, либо смешанные диатомово-кальцитовые слои. В темных осенне-зимних прослоях содержание органо-генного детрита возрастает, а минерального – падает.

Повторное осаждение кальцита за один сезон – фактор завышения подсчёта годовых пар по сравнению с радиоуглеродным датированием.

Выше глубины 9,6 м осадок становится массивным, состоящим в основном из панцирей диатомовых водорослей и микрокристаллического кальцита, с редкими тонкими линзами крупнокристаллического кальцита. Равномерно встречаются конкреции пирита и растительно-минеральный детрит.

Типичный портрет озера, в котором сохраняются биогео-хемогенные варвы – эвтрофное озеро с низким соотношением площади поверхности к глубине и, по крайней мере, сезонными бескислородными условиями в гипolimнионе (Zolitschka et al., 2015). Изменение строения слоёв на глубине

13,4 м и исчезновение варв выше 9,6 м – индикатор смены палеолимнологических условий в водоёме. Возможно, это связано с обмелением озера вследствие заполнения озерной котловины и повышением биопродуктивности.

5. Заключение

В результате исследования ритмично-слоистой части осадков оз. Каспля выявлены два основных типа варв: 1) тонкие (0,7 мм) раннеголоценовые и 2) утолщённые (1,85 мм) среднеголоценовые. Выявлено, что внутрисезонные колебания создавали как одну, так и две пары слоёв за один год. Это привнесло неоднозначность в подсчёте годовых пар, и построенная варвохронология завышает возраст толщи варв относительно радиоуглеродной возрастной модели (3-5 тыс. против 2,5 тыс. лет).

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке РФФ, проект № 23-77-10063.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Blaauw M., Christen J.A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.* 6(3): 457–474. DOI: [10.1214/11-BA618](https://doi.org/10.1214/11-BA618)
- Bronk Ramsey C. 2021. OxCal 4.4.: <https://c14.arch.ox.ac.uk/Oxcal/OxCal.html>
- Glew J. R., Smol J. P., Last W. M. 2001. Sediment Core Collection and Extrusion. Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. *Developments in Paleoenvironmental Research*. Dordrecht: Springer 1: 73–105.
- Lotter A.F., Lemcke G. 1999. Methods for preparing and counting biochemical varves. *Boreas* 28:243–252. DOI: [10.1111/j.1502-3885.1999.tb00218.x](https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1999.tb00218.x)
- Reimer P., Austin W., Bard E. et al. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62(4): 725–757. DOI: [10.1017/RDC.2020.41](https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41)
- Zolitschka B., Francus P., Ojala A.E.K. et al. 2015. Varves in lake sediments – a review. *Quaternary Science Review* 117: 1–41. DOI: [10.1016/j.quascirev.2015.03.019](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.03.019)