

Organic matter in the lacustrine sediments of the Kama-Keltma lowland (Cis-Urals): assessment of distribution and dynamics in the Late Pleistocene and Holocene



Kopytov S.V.^{1,2*}, Sannikov P.Yu.¹, Mekhonoshina E.A.¹, Solovyova E.E.¹, Samarkina A.A.¹

¹ Perm State University, Bukireva str. 15, Perm, 614990, Russia,

² Perm State Humanitarian Pedagogical University, Sibirskaya str. 24, Perm, 614990, Russia

ABSTRACT. The short communication article presents the results of analyses of the lacustrine sediments of Novozhilovo and Chelvinskoe lakes, located at the Kama-Vychehda watershed. Big set (209) of sediments samples from three wells were analyzed by the loss on ignition (550 °C) method. Age of cores and the rate of sediment accumulation were based on the 14 radiocarbon dates. Six stages of deposits accumulation and nature dynamics during the Late Glacial and Holocene in the lakes catchment area are proposed. The first stage (14.15 – 13.5 cal. kyr BP) is characterized by high rates of deposits accumulation at low values of organic matter content, indicating alluvial sedimentogenesis. Peak of accumulation rates as well as a sharp rise in bioaccumulation were observed during the second stage (13.5 – 12.4 cal. kyr BP), which is interpreted as stabilization of the lake level and external environmental conditions. During the third stage (12.4 – 10.7 cal. kyr BP), the sediment accumulation rate decreases rapidly, reaching a minimum by the end of the period. The organic matter content also decreases significantly (to 30 %). The short-term fourth period (10.7 – 10.0 cal. kyr BP) records the transition from the Late Pleistocene (dominance of rarefied periglacial vegetation) to the Early Holocene (predominance of forest communities). This is marked by a drastic increase in the loss on ignition values (up to 92-95%). During the fifth stage (10.0 – 8.8 cal. kyr BP), the sediments accumulation rate increases and the organic matter content decreases to 77-82%. Synchronously with some increase in the concentration of mineral particles. Smoothing of the loss on ignition curve (average values - 92-96%), a marked increase in the sediment accumulation rate during the sixth stage (8.8 - 5.0 cal. kyr BP) probably indicates the stabilization of external conditions in the lake catchment.

Keywords: lacustrine sedimentation, loss on ignition, Novozhilovo lake, Chelvinskoe lake, Kama-Vychehda watershed

For citation: Kopytov S.V., Sannikov P.Yu., Mekhonoshina E.A., Solovyova E.E., Samarkina A.A. Organic matter in the lacustrine sediments of the Kama-Keltma lowland (Cis-Urals): assessment of distribution and dynamics in the Late Pleistocene and Holocene // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 440-445. DOI: [10.31951/2658-3518-2024-A-4-440](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-440)

1. Introduction

The paper presents the study of the lacustrine sediments of Novozhilovo and Chelvinskoe lakes, belonging to the southern part of the Kama-Keltma lowland. The aim of the research is to reconstruct the dynamics of erosion-accumulation processes within the catchments of the lakes, based on the analysis of organic matter contents by loss on ignition method.

2. Materials and methods

Lacustrine sediments were sampled in January 2023 by Livingstone corer. Two cores were obtained from the Novozhilovo lake (NZH-1, NZH-2) and one from Chelvinskoe lake (CHOL-1). The thickness of cores was 5.2 m, 2.8 m, 3.2 m, respectively.

Radiocarbon dating was carried out for samples of sapropel (9), peat (4) and wood remains (1) in the “Laboratory of Radiocarbon Dating and Electron

*Corresponding author.

E-mail address: kopytov@psu.ru (S.V. Kopytov)

Received: June 11, 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.



Microscopy” of Institute of Geography RAS (sample preparation) and in the Isotope Research Center of the University of Georgia (measurement). Among the 14 samples, 5 are from NZH-1, 8 are from NZH-2, and 1 is from CHOL-1. The age of the wood sample was determined by the AMS method. Rest samples were determined by liquid scintillation method. Radiocarbon dates were calibrated with Calib 8.10 using IntCal20. Sedimentation rates were calculated in the R (Bacon package).

For the Loss On Ignition analysis (LOI) samples of 5-10 cm³ were taken every 5 cm, a total of 209 samples were analyzed. According to the methodology (Heiri et al., 2001), the samples in porcelain crucibles were dried at 105 °C for 4 hours and then weighed. Then the samples were ignited at 550 °C for 2 hours and then weighed again. The difference between the second and the first measurement gives the value reflecting the organic matter content of the sample.

3. Results and Discussion

3.1. Calibrated age of sediments and accumulation rate

Deposits of the deepest (6.6-8.2 m) part of the NZH-1 core were formed in the interval 14.15 – 10.1 cal. kyr BP. Sediment accumulation rates decrease stepwise from older deposits (1.2-1.3 mm/year) to younger ones (0.7-0.8 mm/year).

Dated sediments of the NZH-2 well refer to the time of 10.0 – 5.15 cal. kyr BP. The rate of sediment accumulation changed nonlinearly. From 10.0 to 8.5 cal. kyr BP the accumulation rate drops from 1.0 to 0.5-0.6 mm/year. After that (8.5-5.0 cal. kyr BP) there is a wave-like increase in accumulation rates to 1.5-1.8 mm/year.

The beginning of sedimentogenesis in the CHOL-1 core dates back to the Early Holocene – 9.05 cal. kyr BP.

3.2. Organic matter content

In the deepest sediment layers (5.25-5.0 m) from borehole NZH-2, minimum values of LOI at 10% were observed. Following this, at depths of 5.0-4.85 m, a sharp increase in organic content up to 85% was detected. All overlying layers (4.85-2.5 m) are characterized by smooth dynamics of LOI values, which are kept near 96%.

In the basal layers (6.1-5.95 m) of the CHOL-1 core, the LOI values increase from 10% to 45%. In the depth interval 5.95-5.8 m, the organic matter content slowly increases from 82 to 90%. Further (5.8-3.15 m), the organic matter content remains relatively stable about 96%.

In NZH-1 core, after the well-expected rapid increase of LOI in the basal layers (8.2-7.6 m) from 10-20% to 80-85%. Further (7.6-7.0 m) there is a sharp fall in organic matter content until 20-40%. In the overlying layer of 7.0-6.6 m the values of LOI increase to

92-95% again. Then, at depths of 7.6-5.7 m, there follows a prolonged decline in organic matter content to 77-82%. The upper layers (5.7-3.0 m) are characterized by a quite uniform organic matter content of about 93%.

Based on the dating of sediments, as well as on the obtained values of organic matter content, a preliminary identification of six stages of sedimentation in Novozhilovo and Chelvinskoe lakes was carried out.

The first stage - 14.15 – 13.5 cal. kyr BP corresponds to the first half of the Boelling-Allerød interstadial. Comparatively low organic matter content of 10-21% indicates lacustrine-alluvial conditions. Active erosion in the catchment causes high rates of sediment accumulation in the lakes.

The second stage - 13.5 – 12.4 cal. kyr BP occurs in the second half of the Bølling-Allerød, when sparse coniferous and small-leaved forests interspersed with steppe and tundra communities up to 60° N assumed by Markova (2006). Active erosion is ending in the catchment area of the lakes. The rate of sediment accumulation, having reached its peak, and begins to slowly decrease after. The level of the lake stabilizes, the rate of organogenic sedimentation increases, and it begins to dominate over mineralogenic sedimentation.

The third stage – 12.4 – 10.7 cal. kyr BP. The stage corresponds to the Late Dryas – the time of dominance of open periglacial-type ecosystems (Zelikson, 1994). Sedimentation rates continue to decrease and fall to the 0.7-0.8 mm/year by the end of the phase. It is characterized by a sharp decrease in LOI values to an - 30%. The intensity of biogenic sedimentation drops significantly, and the sediment formed becomes organomineral again, with a slight predominance of the inorganic part.

The fourth stage – 10.7 – 10.0 cal. kyr BP. The time of transition to the early Holocene, associated with the change of open periglacial landscapes to forest communities (Paleoclimates and Paleolandscapes, 2009). Organic matter content increases rapidly to 92-95%. Organogenic sedimentation again begins to dominate noticeably.

The fifth stage – 10.0 – 8.8 cal. kyr BP. Early Holocene. It is fixed in all three cores. There is a decrease in the LOI values to 77-82%. At the same time, sediment accumulation rates begin to increase slightly due to additional mineral influx. The combination of these two features is presumably explained by the previously described (Lapteva et al., 2023) relatively short period of increased spring discharge of the Kama River and deposition of particulate matter during floods.

The sixth stage – 8.8 – 5.0 cal. kyr BP. Middle Holocene. Organogenic accumulation begins to strongly dominate over mineralogenic accumulation again. Moreover, the rate of organic matter accumulation wave-like increases from 0.5-0.6 mm/year to 1.6-1.8 mm/year. LOI values increase up to 92-96%, the curve of organic matter content is noticeably smoothed. Stabilization of the condition within the catchment occurs.

4. Conclusions

Based on the organic matter content and sediments accumulation rates of cores obtained from Novozhilovo and Chelvinskoe lakes, a preliminary periodization of sedimentation and dynamics of the environment during the Late Glacial and Holocene is proposed. Six stages have been identified. Three of them (second half of the Bølling-Allerød, Early and Middle Holocene) are characterized by increased accumulation of biogenic material; three rest stages (first half of the Bølling-Allerød, Younger Dryas and first half of the Holocene) are characterized by decreased organic matter content.

Acknowledgements

The study was funded by the Russian Science Foundation, project No. 23-68-10023, <https://rscf.ru/project/23-68-10023/>.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- 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. [10.1023/A:1008119611481](https://doi.org/10.1023/A:1008119611481)
- Lapteva E.G., Zaretskaya N.E., Lychagina E.L. et al. 2023. Holocene vegetation dynamics, river valley evolution and human settlement of the upper Kama valley, Ural region, Russia. *Vegetation History and Archaeobotany.* 32: 361–385. [10.1007/s00334-023-00913-5](https://doi.org/10.1007/s00334-023-00913-5)
- Markova A.K., Kolfshoten T., Simakova A.N. et al. 2006. Ecosystems of Europe during the period of the Late Glacial warming of Bølling-Allerød (10.9–12.4 thousand years ago) according to palynological and theriological data. *Izvestia RAS. Ser. Geograph.* 1: 15–25.
- Paleoclimates and paleolandscapes of the extratropical space of the Northern Hemisphere. Late Pleistocene - Holocene. Atlas-monograph. 2009. In: Velichko A.A. et al. (Ed.). Moscow: GEOS.
- Zelikson E.M. 1994. To characterize the vegetation of Europe in Allerød. Short-period and abrupt landscape-climatic changes over the last 15,000 years. Moscow, IG RAS, pp. 113–125.

Органическое вещество в донных отложениях озер Камско-Кельтминской низменности (Предуралье): оценка распределения и динамика в позднем плейстоцене и голоцене

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYКопытов С.В.^{1,2*}, Санников П.Ю.¹, Мехоношина Е.А.¹,
Соловьева Е.Е.¹, Самаркина А.А.¹¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, 15, г. Пермь, 614990, Россия² Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, ул. Сибирская, 24, г. Пермь, 614990, Россия

АННОТАЦИЯ. В сообщении приводятся результаты анализа отложений озер Новожилово и Челвинское, расположенных на водоразделе Камы и Вычегды. Вскрытые тремя скважинами седиментационные комплексы проанализированы методом потерь при прокаливании (550 °С) – всего 209 образцов. Данные о возрасте отложений и скорости накопления вещества получены на основе серии 14 радиоуглеродных датировок. Предложено выделение шести этапов накопления осадков и динамики природной обстановки в течение позднеледниковья и голоцена на водосборе озер. Первая стадия (14,15 – 13,5 тыс. кал. л.н.) характеризуется высокими скоростями накопления осадка при низких значениях содержания органического вещества, что указывает на аллювиальный седиментогенез. Пик темпов аккумуляции, а также резкий скачок биогенной аккумуляции отмечены во время второй стадии (13,5 – 12,4 тыс. кал. л.н.), что интерпретируется как стабилизация уровня водоема и внешних условий среды. Во время третьего этапа (12,4 – 10,7 тыс. кал. л.н.) скорость накопления осадка быстро снижается, достигая минимума к концу периода. Заметно (до 30%) снижается и содержание органического вещества. Скоротечный четвертый период осадконакопления (10,7 – 10,0 тыс. кал. л.н.) фиксирует переход от позднего плейстоцена (господство разреженной перигляциальной растительности) к раннему голоцену (доминирование лесных сообществ). Это отмечается по резкому росту значений потерь при прокаливании (до 92-95%). В течение пятой стадии (10,0 – 8,8 тыс. кал. л.н.) темпы аккумуляции растут, а содержание органических веществ снижается до 77-82%, параллельно с некоторым ростом концентрации минеральных частиц. Сглаживание кривой потерь при прокаливании со средними значениями 92-96%, заметный рост скорости накопления осадка во время шестой стадии (8,8 – 5,0 тыс. кал. л.н.), вероятно, указывает на стабилизацию внешних условий на водосборе озер.

Ключевые слова: озерное осадконакопление, потери при прокаливании, озеро Новожилово, озеро Чёлвинское, Камско-Вычегодский водораздел

Для цитирования: Копытов С.В., Санников П.Ю., Мехоношина Е.А., Соловьева Е.Е., Самаркина А.А. Органическое вещество в донных отложениях озер Камско-Кельтминской низменности (Предуралье): оценка распределения и динамика в позднем плейстоцене и голоцене // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 440-445. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-440

1. Введение

В этом сообщении приводятся результаты исследования донных отложений озер Новожилово и Челвинское, относящихся к южной части Камско-Кельтминской низменности. Цель работы – реконструкция динамики эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах водосборов озер, на основе

анализа содержания органического вещества в осадке методом потерь при прокаливании.

2. Материалы и методы

Озерные отложения были отобраны в январе 2023 г. буром Ливингстона. Пробурено две колонки на оз. Новожилово (NZH-1, NZH-2) и одна на оз.

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: kopytov@psu.ru (С.В. Копытов)

Поступила: 11 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.



Челвинском (CHOL-1). Мощность вскрытых отложений составила 5,2 м, 2,8 м, 3,2 м, соответственно.

Радиоуглеродное датирование проведено для образцов сапропеля (9), торфа (4) и остатков древесины (1) в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» ИГРАН (пробоподготовка) и в Центре изотопных исследований Университета Джорджии (измерение). Из 14 образцов 5 относятся к NZH-1, 8 – к NZH-2, 1 – CHOL-1. Возраст образца древесины определялся методом AMS, остальные образцы – жидкостно-сцинтилляционным. Радиоуглеродные даты калиброваны при помощи Calib 8.10 с использованием IntCal20. Темпы осадконакопления рассчитаны в среде R (пакет Bacon).

Для анализа на потери при прокаливании (далее – ППП) образцы объемом 5-10 см³ отбирались через каждый 5 см, всего проанализировано 209 образцов. Согласно методике (Heiri et al., 2001) образцы в фарфоровых тиглях сушились при температуре 105°C в течение 4 часов, а затем взвешивались. Далее образцы прокаливались при температуре 550°C в течение 2 часов, и затем взвешивались вновь. Разница между вторым и первым измерением дает искомую величину, отражающую содержание органического вещества в образце.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Калиброванный возраст отложений и скорость их аккумуляции

Отложения наиболее глубокой (6,6–8,2 м) части колонки NZH-1 сформированы в интервале 14,15–10,1 тыс. кал. л.н. Темпы осадконакопления ступенчато снижаются от более древних отложений (1,2-1,3 мм/год) к более молодым (0,7-0,8 мм/год).

Датированные отложения скважины NZH-2 относятся ко времени 10,0-5,15 тыс. кал. л.н. Темпы аккумуляции осадков менялись нелинейно. С 10,0 до 8,5 тыс. кал. л.н. скорость накопления падает с 1,0 до 0,5-0,6 мм/год. После чего (8,5-5,0 тыс. кал. л.н.) происходит волнообразный увеличение темпов аккумуляции до 1,5-1,8 мм/год.

Начало озерного седиментогенеза в отложениях колонки CHOL-1 относится к раннему голоцену – 9,05 тыс. кал. л.н.

3.2. Содержание органического вещества

В наиболее глубоких слоях отложений (5,25-5,0 м) из скважины NZH-2 отмечены минимальные значения ППП на уровне 10%. Вслед за этим, на глубинах 5,0-4,85 м, наблюдается резкий рост содержания органики до 85%. Все вышележащие слои (4,85-2,5 м) характеризуются монотонной динамикой значений ППП, которые остаются на уровне 96%.

В базальных слоях (6,1-5,95 м) отложений скважины CHOL-1 значения ППП растут с 10% до 45%. В интервале глубин 5,95-5,8 м содержание органических веществ медленно растет с 82 до

90%. Далее (5,8-3,15 м) содержание органических веществ остается сравнительно постоянным со средним значением около 96%.

В колонке NZH-1, после ожидаемого быстрого роста ППП от базальной части (8,2-7,6 м) с 10-20% до 80-85%, далее (7,6-7,0 м) происходит резкое падение содержания органического вещества 20-40%. В вышележащем слое 7,0-6,6 м значения ППП вновь возрастают до 92-95%. Далее на глубинах 7,6-5,7 м следует продолжительный спад содержания органических веществ до 77-82%. Остальные слои вплоть до придонного (5,7-3,0 м) характеризуются достаточно равномерным содержанием органических веществ около 93%.

Опираясь на датировку отложений, а также на полученные значения содержания органических веществ, проведено предварительное выделение шести стадий органогенного осадконакопления в озерах Новожилово и Челвинское.

Первая стадия – 14,15-13,5 тыс. кал. л.н. Соответствует первой половине межстадиала бёллинг-аллерёд. Сравнительно низкая доля органического вещества 10-21% указывает на озерно-аллювиальные условия. Активный размыв отложений на водосборе озера обуславливает высокие темпы накопления осадка.

Вторая стадия – 13,5-12,4 тыс. кал. л.н. Охватывает вторую половину периода бёллинг-аллерёд, когда вплоть до 60⁰ с.ш. предполагается (Маркова и др., 2006) продвижение разреженных хвойных и мелколиственных лесов, перемежающихся со степными и тундровыми сообществами. На водосборе озер завершается активная эрозия. Скорость аккумуляции отложений, достигнув пика, начинает медленно снижаться. Уровень водоемов стабилизируется, темпы органогенной седиментации увеличиваются, и она начинает преобладать над минеральной.

Третья стадия – 12,4-10,7 тыс. кал. л.н. Стадия приходится на поздний дриас – время господства открытых экосистем перигляциального типа (Зеликсон, 1994). Темпы осадконакопления продолжают снижаться и к концу стадии достигают уровня 0,7-0,8 мм/год. Стадия характеризуется резким снижением значений ППП до среднего уровня в 30%. Интенсивность биогенной седиментации существенно падает, формируемый осадок вновь становится органо-минеральным, с легким преобладанием неорганической части.

Четвертая стадия – 10,7-10,0 тыс. кал. л.н. Время перехода к раннему голоцену, сопряженное со сменой открытых перигляциальных ландшафтов на лесные (Палеоклиматы и палеоландшафты, 2009). Содержание органических веществ резко возрастает до 92-95%. Органогенное осадконакопление вновь начинает заметно преобладать.

Пятая стадия – 10,0-8,8 тыс. кал. л.н. Ранний голоцен. Фиксируется уже во всех трех колонках. Отмечается снижение значений ППП до 77-82%. При этом темпы накопления осадка начинают немного расти за счет дополнительного привноса минеральных веществ. Сочетание этих двух обстоя-

тельств, предположительно, объясняется ранее описанным (Lapteva et al., 2023) относительно кратким периодом повышения весенних расходов Камы и оседанием твердых частиц во время половодий.

Шестая стадия – 8,8-5,0 тыс. кал. л.н. Средний голоцен. Органогенное накопление вновь начинает сильно преобладать над минерагенным. Причем скорость накопления органического вещества волнообразно растет с 0,5-0,6 мм/год до 1,6-1,8 мм/год. Значения ППП возрастают до 92-96%, кривая содержания органического вещества заметно сглаживается. Происходит стабилизация условий в пределах водосбора.

4. Заключение

На основе данных о содержании органического вещества и темпов аккумуляции отложений, вскрытых скважинами в озерах Новожилово и Чёлвинское, предложена предварительная периодизация осадконакопления и динамики природной обстановки в течение позднеледниковья и голоцена на их водосборах. Выделено шесть стадий, из которых три (вторая половина бёллинг-аллерёд, начало и середина голоцена) характеризуются повышенным накоплением биогенного материала; три стадии (первая половина бёллинг-аллерёд, поздний дриас и первая половина голоцена) со снижением содержания органического вещества.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-68-10023, <https://rscf.ru/project/23-68-10023/>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Зеликсон Э.М. К характеристике растительности Европы в Аллерёде. 1994. Короткопериодные и резкие ландшафтно-климатические изменения за последние 15000 лет. М.: ИГ РАН, С. 113–125.

Маркова А.К., Кольфсхотен Т., Симакова А.Н. и др. 2006. Экосистемы Европы в период позднеледникового потепления бёллинг-аллерёд (10,9–12,4 тыс. лет назад) по палинологическим и териологическим данным. Известия РАН. Сер. Геогр. 1: 15–25.

Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен - голоцен. Атлас-монография. 2009. В: Величко А.А. и др. (ред.) Москва: ГЕОС, 119 с.

Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. 2001. *J. Paleolimnol.* 25: 101–110. [10.1023/A:1008119611481](https://doi.org/10.1023/A:1008119611481)

Lapteva E.G., Zaretskaya N.E., Lychagina E.L. et al. 2023. Holocene vegetation dynamics, river valley evolution and human settlement of the upper Kama valley, Ural region, Russia *Vegetation History and Archaeobotany.* 32: 361–385. [10.1007/s00334-023-00913-5](https://doi.org/10.1007/s00334-023-00913-5)