

Paleoecological reconstruction of water level changes in a cascade of lakes on Lunkulansaari Island (Lake Ladoga) based on the analysis of Cladocera remains in lake sediments



Pastukhova Yu.A.^{1*}, Tsyganov A.N.¹, Sapelko T.V.², Mazei N.G.¹, Zharov A.A.³, Mazei Yu.A.¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russia

² Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences – St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Sevastyanova, 9, St. Petersburg, 196105, Russia

³ A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Leninskiy ave. 33, Moscow 119071, Russia

ABSTRACT. In this study we investigate the dynamics of Cladocera subfossil assemblages (taphocoenoses) during the formation of the cascade of three lakes located on the island of Lunkulansaari in the northeastern part of Lake Ladoga in the late Holocene. Since the last regression of Lake Ladoga and the formation of the lake cascade, Cladocera subfossil assemblages began to accumulate in bottom sediments. Their species structure was alternately dominated by species typical for aquatic vegetation in the littoral zone or species that prefer to live in open water. The data obtained allowed to reconstruct changes in lakes' water levels and clarify the stages of their development, previously revealed on the basis of pollen spectra of aquatic vegetation.

Keywords: Lake Ladoga, island lakes, lake sediments, Cladocera, paleoecological reconstruction

For citation: Pastukhova Yu.A., Tsyganov A.N., Sapelko T.V., Mazei N.G., Zharov A.A., Mazei Yu.A. Paleoecological reconstruction of water level changes in a cascade of lakes on Lunkulansaari Island (Lake Ladoga) based on the analysis of Cladocera remains in lake sediments // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 574-579. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-574

1. Introduction

Lacustrine sediments are valuable source of information which is necessary for reconstructing long-term climatic changes and patterns of water-body formation. The remains of various indicator organisms are preserved in sediments and most of them can be identified to species level. One of the most abundant taphocoenoses are formed by remains of cladocerans (Cladocera), which are actively used in paleolimnological studies as indicators that are sensitive to environmental changes. The aim of the study was to reconstruct the water level dynamics in three lakes of different ages, formed as a result of the regression of Lake Ladoga, based on the results of cladoceran analysis.

2. Materials and methods

Three sediment cores of the lakes Kuikkalampi (N 61.30304°, E 31.86677°, area 12000 m², maxi-

mum depth 2.8 m), Sokkasenlampi (N 61.30741°, E 31.836315°, area 1450 m², maximum depth 2.0 m), Hovatanlampi (N 61.32059°, E 31.81434°, area 161 000 m², maximum depth 2.5 m), located on the Lunkulansaari island in the northeastern part of Lake Ladoga were sampled. The cores were collected within the frameworks of paleolimnological research of the Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences in the summer of 2017 (Sapelko et al., 2018a). The island is extended from northwest to southeast for 17.2 km, the maximum width is 4.1 km. The lakes are located on an altitude gradient (the modern water edge in Lake Kuikkalampi is 17 m a.s.l., Sokkasenlampi – 14 m a.s.l. and Hovatanlampi – 10 m a.s.l.) and differ in the age of formation since they were formed as a result of the progressive regression of Lake Ladoga. The current water level in Lake Ladoga is 5 m a.s.l., with the estimated maximum level during the last transgression during the Middle Holocene being about 21 m a.s.l. (Sapelko et al., 2018b). At present, these lakes are shal-

*Corresponding author.

E-mail address: yuliya.pastukhova.98@mail.ru (Yu.A. Pastukhova)

Received: June 12, 2024; Accepted: July 02, 2024;

Available online: August 26, 2024

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



low overgrowing water bodies with aquatic vegetation peculiar for this area of Ladoga, which varies depending on the depth and overgrowing stage (Gazizova and Sapelko, 2020). Bottom sediment cores were sampled at depths of 288–325 cm in Lake Kuikkalampi, 145–245 cm in the Lake Sokkasenlampi and 208–340 cm in the Lake Hovatanlampi (from the water surface). The cores were cut into 2 cm (in thickness) samples. Cladoceran analysis of sediments was carried out at 2 cm intervals. The age of sediments was determined by radiocarbon dating using accelerator mass spectrometry (AMS ^{14}C) (Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences), and calibrated with the use of the IntCal20 calibration curve. Age estimates are given in calibrated years before present (cal yr BP).

3. Results and discussion

The cladoceran taphocoenoses in the bottom sediments of lakes Kuikkalampi, Sokkasenlampi and Hovatanlampi were represented by four families: Bosminidae, Chydoridae, Euryercidae and Sididae. In total, 11 Cladocera species were identified in Lake Kuikkalampi, 17 in Lake Sokkasenlampi and 20 in Lake Hovatanlampi. The subfossil cladoceran assemblages in each lake changed several times during their development. In general, phytophilic species (*Chydorus sphaericus* sensu lato, *Alonella nana* (Baird, 1850)) predominated, with a significant proportion of pelagic species (*Bosmina coregoni* (Baird, 1857) and *Bosmina longirostris* (O. F. Muller, 1776)). At the same time, the abundance of pelagic taxa periodically declined to almost complete extinction.

Based on the species structure of subfossil Cladocera assemblages, three zones can be distinguished (CL1: 3205–2680 cal yr BP, CL2: 2680–2220 cal yr BP, CL3: 2220 cal yr BP – present), which are generally consistent with previously proposed biostratigraphy based on pollen spectra of aquatic plants (Gazizova and Sapelko, 2020).

In Zone CL1 (3205–2680 cal BP) Ladoga regression occurred, which led to successive formation of lakes Kuikkalampi, Sokkasenlampi and Hovatanlampi. During this period, cladoceran taphocoenoses began to form in the former two lakes. Cladocera remains there were represented mainly by an eurybiont *Chydorus sphaericus* s.l. and pelagic *Bosmina coregoni* and *B. longirostris*.

In Zone CL2 (2680–2220 cal yr BP) in Lake Sokkasenlampi the share of pelagic *B. coregoni* and *B. longirostris* was initially low, but by the end of the period the representation of these species increased sharply, which apparently indicates an increase of water level. At the same time, an increase in the relative abundance of these pelagic taxa was observed in Lake Kuikkalampi, which also indicates a raise of water level. In Lake Hovatanlampi cladoceran taphocoenoses began to form only at the end of this stage (2320 cal yr BP) and were represented mainly by littoral and thicket species. This coincides with the beginning of the formation of aquatic vegetation in this water body according to pollen analysis (Gazizova and Sapelko, 2020). The

concentration of Cladocera remains in the corresponding layers of sediments was low, which is probably due to the low trophic level of the water body. It is also possible that during this period the pelagic zone of the Lake Hovatanlampi was occupied by daphniids, remains of which may not have been preserved in the sediments. Since 2262 cal yr BP pelagic species *B. coregoni* and *B. longirostris* increased their abundance, indicating a formed pelagic zone.

In Zone CL3 (2220 cal yr BP–present), as Lake Kuikkalampi further developed, remains of phytophilous Cladocera become more abundant. This indicates an increase in the areas occupied by macrophyte thickets. Around 2070 cal yr BP the total abundance of Cladocera remains in the sediments decreased, and the proportion of acidophilic *A. nana* reached 80% of the total abundance, which indicates significant acidification of the lake water. At the same time, the disappearance of pelagic taxa (*Bosmina*) was observed, the remains of which were further absent almost to the top layers of bottom sediments. Taken together, it indicates the decrease of water level in the lake and its overgrowth.

In Lake Sokkasenlampi in the period 2010–1530 cal yr BP the relative abundance of benthic *Alona quadrangularis* significantly increased, while the number of phytophilic species decreased. This is likely reflecting a decrease in the macrophyte abundance in the littoral zone, which, in turn, may be a consequence of water humification and narrowing of the photic zone. At 1530 cal yr BP a decrease in the total concentration of Cladocera remains in the sediments took place, associated with the absence of pelagic taxa. After that, the littoral species occupied a significant share of the cladoceran taphocoenoses; *Ch. sphaericus* s.l. and the acidophilic species *A. nana* predominated, which indicates a water pH below neutral.

In Lake Hovatanlampi in the period 2180–1920 cal yr BP a decrease in the proportion of pelagic cladoceran taxa and an increase in the eurytopic *C. sphaericus* s.l. abundance was observed. Subsequently, three episodes of increased abundance of pelagic species took place in this lake: at 1850–1780 cal yr BP, 1500–1390 cal yr BP, and from 1210 cal yr BP to the present. During these periods, a predominance of *C. sphaericus* s.l. was observed, which probably indicates a decrease in water level.

4. Conclusions

Recently all three lakes are shallow overgrown water bodies. A significant abundance in the subfossil Cladoceran assemblages in all three lakes is represented by eurybiont and eurytopic *Chydorus sphaericus* s.l. Lakes Kuikkalampi and Sokkasenlampi have a more even relative distribution of species abundances, but 70 and 95% of them (respectively) are littoral taxa. A different situation is observed in Lake Hovatanlampi where 55% of the cladoceran remains represented by pelagic *Bosmina*.

Acknowledgements

The study was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 24-14-00065, <https://rscf.ru/project/24-14-00065/>). The authors are grateful to Ding Ping and Kitashov A.V. for help with radiocarbon dating of sediment samples.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interests.

References

Gazizova T.Yu., Sapelko T.V. 2020. Substantiation of the importance of macrophyte pollen for paleolimnological reconstructions on the example of the lakes on Lunkulansaari Island (northeast of Lake Ladoga). *Biosphere* 12(4): 231–241 (in Russian)

Sapelko T.V., Terekhov A.V., Gazizova T.Yu. et al. 2018a. Paleolimnology of Lunkulansaari Island, Lake Ladoga: preliminary results. In: *Freshwater ecosystems – modern challenges. Abstracts of the International Conference in Irkutsk in September 10-14: 10–14.* (in Russian)

Sapelko T.V., Terekhov A.V., Amantov A.V. 2018b. Ladoga transgression: reconstruction of the final stage and subsequent decline in the northern part of the lake. *Regional Geology and Metallogeny* 75: 23–34 (in Russian)

Палеоэкологическая реконструкция изменения уровня воды в каскаде озер на острове Лункулансаари (Ладожское озеро) по результатам кладоцерного анализа



Пастухова Ю.А.^{1*}, Цыганов А.Н.¹, Сапелко Т.В.², Мазей Н.Г.¹,
Жаров А.А.³, Мазей Ю.А.¹

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ул. Ленинские горы, 1, Москва, 119991, Россия

² Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, ул. Севастьянова, 9, Санкт-Петербург, 196105, Россия

³ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, ул. Ленинский проспект, 33, Москва, 119071, Россия

АННОТАЦИЯ. В исследовании показана динамика тафокомплексов кладоцер в процессе формирования каскада из трех озер, расположенных на острове Лункулансаари в северо-восточной части Ладожского озера в позднем голоцене. С момента последней регрессии Ладожского озера и образования каскада озер, в донных отложениях начали накапливаться тафокомплексы кладоцер, в видовой структуре которых поочередно преобладали литорально-зарослевые виды или виды, предпочитающие обитать в открытой воде. Полученные данные позволили реконструировать изменения уровня воды и уточнить этапы развития изучаемых водоемов, отмеченные при изучении спорово-пыльцевых спектров.

Ключевые слова: Ладожское озеро, островные озера, донные отложения, Cladocera, палеоэкологическая реконструкция

Для цитирования: Пастухова Ю.А., Цыганов А.Н., Сапелко Т.В., Мазей Н.Г., Жаров А.А., Мазей Ю.А. Палеоэкологическая реконструкция изменения уровня воды в каскаде озер на острове Лункулансаари (Ладожское озеро) по результатам кладоцерного анализа // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 574-579. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-574

1. Введение

Донные отложения озер служат ценным источником информации, необходимой для реконструкции долгосрочных климатических изменений и закономерностей формирования водоемов. В них сохраняются остатки индикаторных организмов, большинство из которых могут быть идентифицированы до вида. Одни из наиболее богатых тафокомплексов в озерных отложениях формируют ветвистоусые ракообразные (Cladocera), которые активно используются в подобных исследованиях в качестве биоиндикаторов, чувствительных к изменениям условий среды их обитания. Цель работы – реконструировать динамику уровня воды трех разновозрастных озер, образовавшихся в результате регрессии Ладожского озера, по результатам кладоцерного анализа.

2. Материалы и методы

Для исследования отбирали донные отложения трех озер Куйккалампи (N 61.30304°, E 31.86677°, площадь 12 тыс. м², максимальная глубина 2,8 м), Соккасенлампи (N 61.30741°, E 31.836315°, площадь 1.45 тыс. м², максимальная глубина 2,0 м), Ховатанлампи (N 61.32059°, E 31,81434°, площадь 161 тыс. м², максимальная глубина 2,5 м), расположенных на острове Лункулансаари в северо-восточной части Ладожского озера. Отбор отложений проведен в рамках палеолимнологических исследований Института озероведения РАН летом 2017 года (Сапелко и др., 2018а). Остров вытянут с северо-запада на юго-восток на 17,2 км, максимальная ширина составляет 4,1 км. Озера расположены на градиенте высот в рельефе (современный урез воды в озере Куйккалампи – 17 м, Соккасенлампи – 14 м и Ховатанлампи – 10 м) и отличаются возрастом

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: yuliya.pastukhova.98@mail.ru (Ю.А. Пастухова)

Поступила: 12 июня 2024; **Принята:** 02 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

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



формирования так как образовались в результате регрессии Ладожского озера. Современный уровень воды в Ладожском озере – составляет 5 м, при предположительном максимальном уровне в ходе последней трансгрессии в течение среднего голоцена около 21 м (Сапелко и др., 2018b). В настоящее время озера представляют собой мелководные зарастающие водоемы со свойственной данному району Ладоги водной растительностью, различающейся в зависимости от глубины, площади и стадии зарастания (Газизова и Сапелко, 2020). Керны донных отложений отобраны на глубинах 288-325 см в оз. Куйккалампи, 145-245 см в оз. Соккасенлампи и 208-340 см в оз. Ховатанлампи. Отложения разрежали на последовательные образцы по 2 см. Кладоцерный анализ донных отложений озер проводили с интервалом 2 см. Возраст отложений определяли с помощью радиоуглеродного датирования методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS ^{14}C) (Институт геохимии Гуанчжоу Китайской академии наук) и калибровали с использованием калибровочной кривой IntCal20. Оценки возраста в работе приводятся в виде калиброванных лет назад (кал.л.н.).

Результаты и обсуждение

Тафокомплекс кладоцер в донных отложениях озер Куйккалампи, Соккасенлампи и Ховатанлампи представлен четырьмя семействами: *Bosminidae*, *Chydoridae*, *Eurycercidae* и *Sididae*. Всего идентифицировано 11 таксонов *Cladocera* в озере Куйккалампи, 17 – в озере Соккасенлампи и 20 – в озере Ховатанлампи. Тафокомплексы кладоцер каждого из исследуемых озер на протяжении их развития неоднократно менялись. В целом, преобладали фитофильные виды (*Chydorus sphaericus sensu lato*, *Alonella nana* (Baird, 1850)), со значительной долей пелагических видов (*Bosmina coregoni* (Baird, 1857) и *Bosmina longirostris* (O. F. Muller, 1776)). При этом для пелагических видов отмечаются с периодические снижения численности вплоть до полного исчезновения.

По видовой структуре тафокомплексов кладоцер в отложениях озер можно выделить три зоны (CL1: 3200–2680 кал.л.н., CL2: 2680–2220 кал.л.н., CL3: 2220 кал.л.н. – настоящее время), которые в целом согласуются с ранее предложенной био-стратиграфией на основании пыльцевых спектров водных растений (Газизова и Сапелко, 2020).

В зоне CL1 (3205–2680 кал.л.н. кал. л.н.) происходила регрессия Ладоги, повлекшая последовательное образование озер Куйккалампи, Соккасенлампи и Ховатанлампи. В этот период начали формироваться тафокомплексы кладоцер в первых двух озерах, остатки кладоцер в которых были представлены в основном комплексом эврибионтных фитофильных видов *Ch. Sphaericus* s.l. и пелагическими *B. coregoni* и *B. longirostris*.

В зоне CL2 (2680–2220 кал.л.н.), в озере Соккасенлампи доля пелагических *B. coregoni* и *B. longirostris* сначала была низкой, к концу периода представленность этих видов резко увеличивалась, что, вероятно, говорит о повышении уровня воды.

В это же время в озере Куйккалампи наблюдалось стабильное увеличение относительного обилия этих пелагических таксонов, что так же указывает на подъем уровня воды. В озере Ховатанлампи тафоценозы кладоцер в отложениях начали формироваться только в конце этого этапа (2320 кал.л.н.) и были представлены в основном литоральными и зарослевыми видами. Это совпадает с началом формирования водной растительности в этом водоеме по данным спорово-пыльцевого анализа (Газизова и Сапелко, 2020). Концентрация остатков кладоцер при этом была незначительной, что, вероятно, связано с низкой трофностью водоема. Вскоре 2262 кал.л.н. начали преобладать пелагические виды *B. coregoni* и *B. longirostris*, что указывает на сформированную пелагиаль.

В зоне CL3 (2220 кал.л.н. – настоящее время) по мере дальнейшего развития озера Куйккалампи остатки фитофильных таксонов становятся более обильными. Это свидетельствует об увеличении площадей, занятых макрофитами. 2070 кал.л.н. обилие остатков кладоцер снизилось, доля ацидофильной *A. nana* достигла 80%, что указывает на значительное закисление воды. В то же время наблюдалось исчезновение пелагических видов кладоцер рода *Bosmina*, остатки которых далее отсутствовали практически до самых верхних горизонтов донных отложений. В совокупности это создает картину обмеления и заболачивания озера.

В озере Соккасенлампи в период 2010–1530 кал.л.н. значительно повышается доля бентосной *Alona quadrangularis*, в то время как число фитофильных видов уменьшается. Это может быть связано со снижением обилия макрофитов в литорали. На глубине 170 см (1531 кал.л.н.) наблюдается снижение общей концентрации остатков кладоцер в отложениях и отсутствие остатков пелагических видов. С этого периода литорально-зарослевые виды начинают занимать значительную долю в тафокомплексе кладоцер, среди них преобладает *Ch. sphaericus* s.l. и ацидофильный вид *A. nana*, что указывает на pH воды ниже нейтральной.

В озере Ховатанлампи в период 2180-1920 кал.л.н. наблюдается понижение доли пелагических видов и повышение доли комплекса эвритопных видов *C. sphaericus* s.l. Впоследствии, в этом озере прослеживались три эпизода увеличения пелагических видов: 1850-1780 кал.л.н., 1500-1390 кал.л.н. и 1210 кал.л.н. – наст.вр. В промежутках наблюдалось преобладание остатков *C. sphaericus* s.l., что, вероятно, свидетельствовало о снижении уровня воды.

В настоящее время озера представляют собой мелководные зарастающие водоемы. Значительную долю в тафокомплексе кладоцер во всех трех озерах занимает *Chydorus sphaericus* s.l. В озере Куйккалампи и Соккасенлампи более выровненное относительное обилие видов, однако из них 70 и 95% (соответственно) приходится на литоральные и зарослевые. Иная картина наблюдается с озером Ховатанлампи, в донных отложениях которого 55% тафокомплекса кладоцер занимают пелагические виды.

3. Заключение

С момента последней регрессии Ладожского озера и образования каскада озер на острове Лункулансаари в донных отложениях начали накапливаться тафокомплексы кладоцер, в видовой структуре которых поочередно преобладали литорально-зарослевые виды и виды, предпочитающие открытую воду. Полученные данные позволили отследить изменение уровня воды и уточнить этапы развития изучаемых водоемов, отмеченные при изучении спорово-пыльцевых спектров.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-14-00065, <https://rscf.ru/project/24-14-00065/>). Авторы выражают благодарность Дине Пину и Киташову А.В. за помощь в проведении радиоуглеродного датирования образцов донных отложений.

Конфликт интересов

Авторы не заявляют конфликтов интересов.

Список литературы

Газизова Т.Ю., Сапелко Т.В. 2020. Обоснование значения пыльцы макрофитов для палеолимнологических реконструкций на примере озер острова Лункулансаари (северо-восток ладожского озера). *Биосфера* 12(4): 231-241

Сапелко Т.В., Терехов А.В., Газизова Т.Ю. и др. 2018. Палеолимнология острова Лункулансаари, Ладожское озеро: предварительные результаты. В кн.: Пресноводные экосистемы – современные вызовы. Тезисы Международной конференции. 10-14 сентября 2018. Иркутск, стр. 10-14.

Сапелко Т.В., Терехов А.В., Амантов А.В. 2018. Ладожская трансгрессия: реконструкция финальной стадии и последующего спада в северной части озера. *Региональная геология и металлогения* (75): 23-34.