

Spatial and temporal features of lacustrine sedimentogenesis on the southeastern periphery of the Fennoscandian crystal shield: paleolimnological studies of the Lososinsky reservoir



Belkina N.A.^{1,2*}, Potakhin M.S.^{1,2}, Ludikova A.V.³, Syarki M.T.¹, Bogdanova M.S.¹, Gatalskaya E.V.¹, Orlov A.V.^{1,2}, Subetto D.A.²

¹ Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 50 Alexander Nevsky Ave., Petrozavodsk, 185030, Russia

² Herzen State Pedagogical University of Russia, 48 Emb. Moika, St. Petersburg, 191186, Russia

³ Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 9 Sevastyanova str, St. Petersburg, 196105, Russia

ABSTRACT. Paleolimnological studies of the Lososinskiy Reservoir (Karelia) have made it possible to reconstruct the history of its development from the Ice Lake to the artificial waterbasin. Five stages of sedimentogenesis were identified. It was based on lithostratigraphy, diatom and geochemical analysis of bottom sediments. The detailing of the anthropogenic period of the Lososinskiy Reservoir was carried out on the study of the landscape structure of the catchment area using the mass-balance production model of the ecosystem.

Keywords: Fennoscandian crystal shield, lake sediments, sedimentogenesis, biostratigraphy, diatom analysis, chemical composition, anthropogenic impact

For citation: Belkina N.A., Potakhin M.S., Ludikova A.V., Syarki M.T., Bogdanova M.S., Gatalskaya E.V., Orlov A.V., Subetto D.A. Spatial and temporal features of lacustrine sedimentogenesis on the southeastern periphery of the Fennoscandian crystal shield: paleolimnological studies of the Lososinsky reservoir // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 262-267. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-262

1. Introduction

The Lososinskiy Reservoir is one of the oldest reservoirs in the Karelia Republic. It is located on the Olonets Upland, in the area of the development of glacial and water-glacial land forms. The Reservoir was created at the beginning of the XVIII century for the needs of the Petrovsky Iron Factory. The Lososinskiy Reservoir formed on the site of two small lakes. The rise in the waterlevel of the Reservoir was about 3.5 m, and the water area almost doubled (Potakhin et al., 2023). The waters of the Lososinskiy Reservoir are characterized as medium-alkaline slightly acidic neutral bicarbonate class of the calcium and magnesium groups. According to the phosphorus content, the reservoir has a mesotrophic status. According to the content of organic matter, it corresponds to the mesohumus type of waters (Lakes..., 2013).

*Corresponding author.

E-mail address: bel110863@mail.ru (N.A. Belkina)

Received: June 10, 2024; **Accepted:** June 28, 2024;

Available online: August 26, 2024

The purpose of the scientific research is to study the features of the formation of lake bottom sediments of the Lososinskiy Reservoir at different stages of its history from the Ice Lake to the present day status.

2. Materials and methods

The Lososinskiy Reservoir is located in the drainage area of the Lososinka River (a tributary of Lake Onego). The catchment area of Lososinskiy Reservoir is 101 km². The altitude above sea level is 183 m. The area of the Reservoir is 8.1 km², the length of the coast line is 22.1 km, the volume of water is 46.2 million m³, the average depth is 5.7 m, the largest is 8.5m. Comprehensive expeditionary research was carried out in 2021-2023 and included of (1) studying the landscapes of the catchment area, (2) sampling of water to study chemical and biological characteristics, (3) sam-

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



pling of surface sediment samples (with a LIMNOS sediment corer) and sampling long sediment cores (with a Russian Corer) for lithological, chemical and diatom analysis. The study of the material composition of water and sediments was carried out in accordance with the methods of analysis generally accepted in world practice (Belkina et al., 2023).

3. Results and discussion

Lithostratigraphy study of retrieved sediment cores of the of the Lososinskiy Reservoir confirms the existence of a local Ice Lake that arose in the marginal zone of the Luga stage of the Valday Glaciation, the age of which is estimated at 15.7 cal. BP/ 13.2¹⁴C BP (Velichko et al., 2017). The uppermost unit of the bottom sediments (thickness up to 5m) is everywhere represented by brown organic silty-clay gyttja. Below lies the next unit represented by olive silty-clay organic gyttia (thickness up to 2.2 m), which is underlain by sandy silt layer and gray clay with layers of medium-grained sand (laminated clays – varved clays). The lithology of the bottom sediment sand the previously obtained GIS reconstructions of the Onego Ice Lake (OIL) (Subetto et al., 2022) all owed us to conclude that as a result of the breakthrough and descent of the Ice Lake through the moraine ridge in the direction of OIL (modern Lososinka River), two small lakes were formed in the depressions of inter-marine depressions (Potakhin et al., 2023). In 1705, a dam was created at the site of the breakthrough of the moraine ridge, and in 1774, an adjustable dam. The water level was raised, the water flow was regulated, a reservoir was formed on the basis of the two lakes, which inherited the basin of the glacial reservoir. In this status, the Reservoir has been functioning for more than 300 years and currently represents a formed the reservoir-lake with an established water regime.

The diatom study of bottom sediments revealed the main stages of the evolution of the lake's ecosystem including its reservoir stage. The earliest stage is characterized with high abundances of meso-eutrophic species and low diatom concentrations. The latter resulted from high sediment supply to the basin caused by enhanced erosion intensity in the catchment. At the next stage, significantly increased concentrations of diatom valves and chrysophyte cysts and diatom species diversity indicate a rise in productivity of the lake ecosystem. The following stage is characterized with a notable decrease in the proportions of the most eutrophic species. With the transition to the reservoir stage, the most dramatic changes in the lake ecosystem occur. Rapidly increased abundances of benthic diatoms indicate an increase of the shallow-water areas as the coastal lowlands were flooded due to the rise in the water level. Modern diatom assemblages composition suggests increasing eutrophication as a result of increasing anthropogenic pressure

The use of the mass-balance model of V.V. Boulion (2020) for the reconstruction of the ecosystem of a small lake that existed before the creation of the reservoir also showed that an increase in the level of the

reservoir, an increase in the volume of water mass and the area of the littoral affects the ratio of trophic links: the role of coastal and bottom communities increases due to a decrease in planktonic species. The model experiment confirmed that an increase in the external phosphorus load on the reservoir after an active anthropogenic transformation of the catchment area led to an increase in ecosystem productivity. According to calculations, at the present stage of ecosystem development, about 36% of the organic matter of the total primary production participates in the formation of bottom sediments with an intensity of about 20-23 gC·m⁻²·year⁻¹, which is 49-55% of the total intake of organic matter per year (40-45 gC·m⁻²·year⁻¹, according to observations the composition of suspended solids from sedimentation traps). Which is significantly higher than for a small lake before anthropogenic transformations (16 gC·m⁻²·year⁻¹ with a total ecosystem productivity of 32 gC·m⁻²·year⁻¹). The contribution of the elements of the trophic network of the reservoir to the organic matter of bottom sediments also changes with an increase in the level of the reservoir and an increase in anthropogenic load.

A study of the catchment area of the reservoir was carried out to identify geochemical markers of changes in the sedimentary process in bottom sediments as a result of anthropogenic impact. Five periods of transformation of its landscape structure were identified: (1) before the beginning of the XVIII century - the period of natural landscapes of the middle taiga zone; (2) after the creation of the reservoir from the beginning of the XVIII century to the 30s of the XX century – the period of initial transformation of landscapes; (3) from 1930 to 1970 – the period of forest cover change as a result of continuous logging; (4) from 1970 to 2000. – the period of maximum transformation of landscapes (forest reclamation and drainage of swamps, military construction, suburban development and land cultivation, logging, development of sand and gravel pits, construction of roads and power lines); (5) from 2000 to the present – a period of relative stabilization of landscapes. Analysis of changes in anthropogenic load on the reservoir showed that logging (period 3) significantly affected the hydrological regime of the reservoir: the volume of runoff increased, and as a result, the amount of matter entering it from the catchment increased. The change in the material composition of sedimentary matter, mainly its organic part, was significantly influenced by forest reclamation, which manifested itself in an increase in concentrations of Fe, Mn, humic and fulvic acids in bottom sediments. Anthropogenic eutrophication of the reservoir naturally manifests itself in an increase in the content of phosphorus and organic matter in precipitation.

4. Conclusion

The study of the features of the formation of lake bottom sediments of the Lososinskiy Reservoir at different stages of its history has shown that the creation of reservoirs in conditions of highly dissected relief and excess moisture, forming abundant surface runoff, can

be compared with climatic changes in its effect on the ecosystem of the reservoir.

Acknowledgements

The study was carried out with the financial support of RSF grant # 24-17-00206, <https://rscf.ru/project/24-17-00206/>.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

Boulion V.V. 2020. A system for assessing and forecasting the bioproductivity of lacustrine-type ecosystems. *Water Resources* 47(3): 459-467. DOI: [10.31857/S0321059620030037](https://doi.org/10.31857/S0321059620030037)

Velichko A.A., Faustova M.A., Pisareva V.V. et al. 2017. History of the Scandinavian ice sheet and surrounding landscapes in the Valday ice age and the Early Holocene. *Led i Sneg [Ice and Snow]* 57(3): 391-416. DOI: [10.15356/2076-6734-2017-3-391-416](https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-3-391-416) (in Russian)

Lakes of Karelia. Reference book. 2013. In: Filatov N.N., Kukharev V.I. (Ed.). Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS. (in Russian)

Subetto D.A., Belkina N.A., Strakhovenko V.D. et al. 2022. Paleolimnology of lake Onego: from the OnegoIce lake to the present state. Petrozavodsk: KarRC RAS. (in Russian)

Potakhin M.S., Belkina N.A., Ryabinkin A.V. et al. 2023. Study of depression and bottom sediments of Lososinskoye reservoir. In: LXXVI Gertsenovskiy readings. Geography: development of science and education I, pp. 350-353.

Belkina N.A., Kulik N.V., Efremenko N.A. et al. 2023. Contemporary Sedimentation in Lake Onego: Geochemical Features of Water, Suspended Matter, and Accumulation Rate. *Water* 15: 1014. DOI: [10.3390/w15061014](https://doi.org/10.3390/w15061014)

Пространственно-временные особенности озерного осадконакопления на юго-восточной периферии Фенноскандинавского кристаллического щита: палеолимнологические исследования Лососинского водохранилища

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Белкина Н.А.^{1,2*}, Потахин М.С.^{1,2}, Лудикова А.В.^{3,1}, Сярки М.Т.¹,
Богданова М.С.¹, Гатальская Е.В.¹, Орлов А.В.^{1,2}, Субетто Д.А.²

¹ Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук, пр. Александра Невского, 50, г. Петрозаводск, 185030, Россия

² Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Набережная р. Мойки, 48, г. Санкт-Петербург, 191186, Россия

³ Институт озераведения Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. Севастьянова, 9, г. Санкт-Петербург, 196105, Россия

АННОТАЦИЯ. Палеолимнологические исследования Лососинского водохранилища позволили реконструировать историю его развития от приледникового водоема до наших дней. На основе литостратиграфического, диатомового и геохимического анализа донных отложений выделено 5 этапов пресноводного седиментогенеза. Детализация антропогенного периода выполнена на основе изучения ландшафтной структуры водосборного бассейна с применением масс-балансовой продукционной модели экосистемы.

Ключевые слова: Фенноскандинавский кристаллический щит, озерные отложения, седиментогенез, литостратиграфия, диатомовый анализ, химический состав, антропогенное воздействие

Для цитирования: Белкина Н.А., Потахин М.С., Лудикова А.В., Сярки М.Т., Богданова М.С., Гатальская Е.В., Орлов А.В., Субетто Д.А. Пространственно-временные особенности озерного осадконакопления на юго-восточной периферии Фенноскандинавского кристаллического щита: палеолимнологические исследования Лососинского водохранилища // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 262-267. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-262

1. Введение

Лососинское водохранилище является одним из старейших водохранилищ Карелии. Оно расположено в пределах Олонецкой возвышенности, в районе развития ледниковых и водно-ледниковых форм рельефа. Водоем был создан в начале XVIII века для нужд Петровского чугунолитейного завода на месте двух малых озер. Подъем уровня воды составил около 3,5 м, площадь зеркала увеличилась почти в два раза (Потахин и др., 2023). Воды Лососинского водохранилища характеризуются как среднещелочностные слабокислые нейтральные гидрокарбонатного класса группы кальция, магния. По содержанию фосфора водоем имеет мезотрофный статус. По содержанию органического вещества

– соответствует мезогумусному типу вод (Озера..., 2013).

Целью исследования является изучение особенностей формирования озерных донных отложений Лососинского водохранилища на разных этапах его истории от приледникового водоема до наших дней.

2. Материалы и методы

Лососинское водохранилище расположено на водосборе р. Лососинка (приток Онежского озера). Площадь водосбора – 101 км². Высота над уровнем моря – 183 м БС. Площадь водоема – 8,1 км², длина береговой линии – 22,1 км, объем воды –

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: bel110863@mail.ru (Н.А. Белкина)

Поступила: 10 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.



46,2 млн м³, средняя глубина 5,7 м, наибольшая – 8,5 м. В течение 2021-2023 гг. были проведены комплексные экспедиционные исследования водохранилища и его водосборного бассейна, которые включали: изучение ландшафтов водосбора, отбор проб воды для исследования химических и биологических характеристик, отбор поверхностных проб донных отложений (стратометром Limnos) и отбор длинных колонок донных отложений (торфяным буром) на литологический, химический и диатомовый анализ. Изучение вещественного состава воды и донных отложений проводили в соответствии с общепринятыми в мировой практике методами анализа (Belkina et al., 2023).

3. Результаты и обсуждение

Литостратиграфическое изучение кернов донных отложений Лососинского водохранилища подтверждает существование в позднеледниковье в этом районе локального приледникового водоема, возникшего в краевой зоне лужской стадии валдайского оледенения, возраст которой оценивается в 15,7 кал. тыс. л.н. / 13,2 ¹⁴C тыс. л.н. (Величко и др., 2017). Верхняя толща донных отложений (мощность до 5 м) повсеместно представлена коричневым органогенным илом, ниже которого залегают оливковый ил (мощность до 2,2 м), который подстилается опесчаненным илом и серым глинистым алевритом с прослоями среднезернистого песка (ленточные глины). С учетом выполненных ранее ГИС реконструкций (Субетто и др., 2022) был сделан вывод о том, что в результате прорыва и спуска приледникового озера через моренную гряду в направлении Онежского озера (современная р. Лососинка) в углублениях межморенных понижений образовались два небольших озера (Потехин и др., 2023). В 1705 г. на месте прорыва моренной гряды была создана дамба, а в 1774 г. – регулируемая плотина. Уровень воды был повышен, сток зарегулирован и на месте расположения озер образовалось водохранилище, которое унаследовало котловину приледникового водоема. В этом статусе водоем функционирует уже более 300 лет и в настоящее время представляет собой сформировавшееся озеро-водохранилище со сложившимся водным режимом.

Изучение состава диатомовых комплексов фитопланктона в донных отложениях позволило выделить основные этапы развития экосистемы озера, включая этап функционирования водохранилища. Для первого этапа характерна высокая численность мезо-эвтрофных видов и низкие концентрации створок диатомей. Последнее обусловлено поступлением в донные отложения минеральных частиц вследствие активных эрозионных процессов на водосборе. На втором этапе происходит повышение продуктивности озерной экосистемы, что нашло отражение в значительном увеличении концентраций створок диатомовых и цист золотистых водорослей и в увеличении видового разнообразия диатомей. На третьем этапе в составе диатомовых

комплексов существенно сократилась численность наиболее высокотрофных видов. Резкая трансформация экосистемы водоема происходит на этапе создания водохранилища: значительно увеличивается доля бентосных диатомей, что свидетельствует о расширении мелководной зоны. Состав диатомовых комплексов современных осадков указывает на усиление процесса эвтрофирования водоема, связанного с ростом антропогенной нагрузки.

Применение масс-балансовой модели В.В. Бульона (2020) для реконструкции экосистемы малого озера, существовавшего до создания водохранилища, показало, что повышение уровня воды в водоеме, увеличение объема водной массы и площади литоральной зоны влияет на соотношение трофических звеньев: возрастает роль прибрежных и придонных сообществ за счет уменьшения планктонных видов. Модельным экспериментом подтверждено то, что увеличение внешней фосфорной нагрузки на водохранилище после активной антропогенной трансформации водосбора привело к увеличению продуктивности экосистемы. Согласно расчетам, на современном этапе развития экосистемы около 36% органического вещества общей первичной продукции участвует в формировании донных отложений с интенсивностью около 20-23 гС·м⁻²·год⁻¹, что составляет 49-55% от общего поступления органического вещества за год (40-45 гС·м⁻²·год⁻¹, по наблюдениям состава взвесей из седиментационных ловушек). Что значительно выше, чем для малого озера до антропогенных преобразований (16 гС·м⁻²·год⁻¹ при общей продуктивности экосистемы 32 гС·м⁻²·год⁻¹). Изменяется и вклад элементов трофической сети водоема в органическое вещество донных осадков при повышении уровня водоема и росте антропогенной нагрузки.

Для выявления в донных отложениях геохимических маркеров изменения осадочного процесса в результате антропогенного воздействия было проведено изучение водосборной территории водохранилища. Было выделено 5 периодов преобразования его ландшафтной структуры: (1) до начала XVIII века - период естественных ландшафтов среднетаежной зоны; (2) после создания водохранилища с начала XVIII века до 30-х годов XX века – период начальной трансформации ландшафтов; (3) с 1930 по 1970 гг. – период изменения лесного покрова в результате сплошных рубок леса; (4) с 1970 по 2000 гг. – период максимальной трансформации ландшафтов (лесная мелиорация и осушение болот, военное строительство, дачное освоение и окультуривание земель, рубка леса, разработка песчано-гравийных карьеров, строительство дорог и ЛЭП); (5) с 2000 г. по настоящее время – период относительной стабилизации ландшафтов. Анализ изменений антропогенной нагрузки на водохранилище показал, что рубка леса (3 период) значительно повлияла на гидрологический режим водоема: увеличился объем стока, и как следствие, возросло количество вещества, поступающего в него с водосбора. На изменение вещественного состава осадочного вещества, главным образом его

органической части, значительно повлияла лесная мелиорация, что проявилось в увеличении концентраций Fe, Mn, гуминовых и фульвовых кислот в донных отложениях. Антропогенное эвтрофирование водоема закономерно проявляется в росте содержания фосфора и органического вещества в осадках.

4. Заключение

Изучение особенностей формирования озерных донных отложений Лососинского водохранилища на разных этапах его истории показало, что создание водохранилищ в условиях сильно расчлененного рельефа и избытка влаги, формирующих обильный поверхностный сток, по своему влиянию на экосистему водоема может быть сравнимо с климатическими изменениями.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, <https://rscf.ru/project/24-17-00206/>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Бульон В.В. 2020. Система оценки и прогнозирования биопродуктивности экосистем озерного типа. *Водные ресурсы* 47(3): 302-311. DOI: [10.31857/S0321059620030037](https://doi.org/10.31857/S0321059620030037)

Величко А.А., Фаустова М.А., Писарева В.В. и др. 2017. История Скандинавского ледникового покрова и окружающих ландшафтов в валдайскую ледниковую эпоху в начале голоцена. *Лед и снег* 57(3): 391-416.

Озера Карелии. Справочник. 2013. В: Филатов Н.Н., Кухарев В.И. (ред.). Петрозаводск: КарНЦ РАН.

Субетто Д.А., Белкина Н.А., Страховенко В.Д. и др. 2022. Палеолимонология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям. Петрозаводск: КарНЦ РАН.

Потахин М.С., Белкина Н.А., Рябинкин А.В. и др. 2023. Изучение особенностей строения котловины и донных отложений Лососинского водохранилища. В: *Материалы Международной научно-практической конференции LXXVI Герценовские чтения. География: развитие науки и образования I*, С. 350-353.

Belkina N.A., Kulik N.V., Efremenko N.A. et al. 2023. Contemporary Sedimentation in Lake Onego: Geochemical Features of Water, Suspended Matter, and Accumulation Rate. *Water* 15: 1014. DOI: [10.3390/w15061014](https://doi.org/10.3390/w15061014)