

# GIS-based reconstructions of Lakes Onego and Ladoga development in the Late Pleistocene



Potakhin M.S.<sup>1,2\*</sup>, Zobkov M.B.<sup>1</sup>, Kublitsky Yu.A.<sup>2</sup>, Anisimov N.V.<sup>2,3</sup>, Subetto D.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Northern Water Problems Institute, Karelian Research Center of the RAS, Petrozavodsk, 185030, Russia

<sup>2</sup> Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, 191186, Russia

<sup>3</sup> Vologda State University, Vologda, 160000, Russia

**ABSTRACT.** The article provides a review of GIS-based reconstructions of the development of Lakes Onego and Ladoga in the Late Pleistocene. It is shown that recently GIS methods have been used for reconstructions. At the moment, there are three GIS-based paleoreconstructions of the study area (Gorlach et al., 2017; Zobkov et al., 2019; Anisimov, Minina, 2020). All reconstruction used DEMs and digital bathymetry models of lakes. However, areas, volumes, maximum, and average depths for various stages of lake development are calculated only for Lake Onego (Zobkov et al., 2019; Paleolimnology..., 2022).

**Keywords:** Lake Onego, Lake Ladoga, Late Pleistocene, ice lakes, GIS, paleoreconstruction

**For citation:** Potakhin M.S., Zobkov M.B., Kublitsky Yu.A., Anisimov N.V., Subetto D.A. GIS-based reconstructions of Lakes Onego and Ladoga development in the Late Pleistocene // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 767-772. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-767

## 1. Introduction

The ice sheet retreating after the Last Glacial Maximum has contributed to the forming and development of huge ice lakes – the Baltic Ice Lake (including Lake Ladoga) and the Onego Ice Lake. The largest and well studied proglacial lake in Europe is Baltic Ice Lake (Björck, 1995). It was formed as an ice-dammed lake in the process of melting of the southern part of the Scandinavian Ice Sheet. The history of relatively small ice-lakes associated with southeastern and eastern flanks of the ice sheet, as well as melt water volumes and drainage routings remain unclear (Mangerud et al., 2004).

Lakes Onego and Ladoga are located in the tectonic depressions in the contact zone of the Fennoscandian Crystalline Shield and Russian Platform. Mainly tectonic forces formed the depressions; however, Pleistocene glaciations significantly affected their structure. Lake depressions were repeatedly enveloped by ice streams during glaciations and by freshwaters and brackish waters during interglacial periods (Svendsen et al., 2004). In the Late Glacial time the lake depressions were filled with ice streams located in the southeastern part of the Scandinavian Ice Sheet. The retreat of the ice streams led to the formation of

proglacial lakes and its evolution during and after the ice sheet retreat. Several original models of the lake depressions development in the Late Pleistocene and the Holocene are presented for Lake Onego (Biske et al., 1971; Kvasov, 1975; Demidov, 2010) and Lake Ladoga (Kvasov, 1975; Koshechkin and Subetto, 2015). The models differently assessed sizes of the lakes, glacioisostatic uplift of the territory, and location and altitude of drainage thresholds. Recently, reconstructions of development of the lakes have been carried out using GIS methods (Gorlach et al., 2017; Zobkov et al., 2019; Anisimov and Minina, 2020).

## 2. Materials and methods

Paleoreconstruction of large regions such as Lake Onego and Lake Ladoga and their catchments, it is advantageous to use the GIS method proposed by Leverington et al. (2002). To implement such as approach it is required to generate a single data layer for each modern topography and rebound surfaces. Both data layers must be georeferenced to each other and must be resampled to a common grid resolution, and contain values expressed with respect to a common datum. Modern topography layer needs to contain modern elevations together with contemporary

\*Corresponding author.

E-mail address: [mpotakhin@mail.ru](mailto:mpotakhin@mail.ru) (M.S. Potakhin)

**Received:** June 20, 2024; **Accepted:** August 19, 2024;

**Available online:** August 26, 2024

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



lakes bathymetry resampled in uniform coordinate system, projection, datum and common grid. The historical water plane can be generated by subtracting the rebound surfaces from the modern topography.

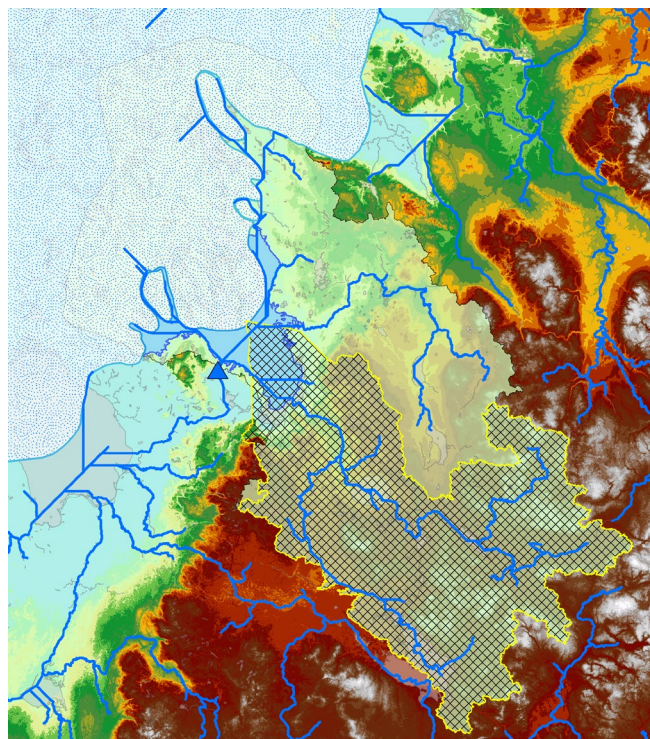
All three reconstructions (Gorlach et al., 2017; Zobkov et al., 2019; Anisimov and Minina, 2020) used digital elevation models (DEMs). For example, when creating a digital model for reconstructions of Lake Onego (Zobkov et al., 2019), the primary source of the modern elevations was the JdF DEM with spatial resolution three arc seconds (Kirmse and de Ferranti, 2017). The digital lake bathymetry model was compiled using depth measurements, digitized manually from navigation charts of Lake Onego and the River Svir' (Potakhin et al., 2024). Thus, modern topography DEM of lake's watershed and depression was obtained. Ice margin positions were used only for proglacial stages of the lake development in the Late Glacial time. Isobase values for Late Pleistocene period were adopted from study of Demidov (2010). For the Holocene period seven isobase values were employed to reconstruct every climatic period. Isobases were obtained from relict shoreline terraces (Biske et al., 1971).

### 3. Results and discussions

Gorlach et al. (2017) carried out small-scale reconstructions of the two initial stages (14.4 and 13.8 cal ka BP) of the Lakes Onego and Ladoga formation and determined lake's areas and volumes. Anisimov and Minina (2020) reconstructed 10 stages of the Lakes Onego and Ladoga development in the Late Pleistocene and Holocene (16.0-2.5 cal ka BP). However, the areas and volumes of lakes for the stages were not calculated. Zobkov et al. (2019) reconstructed maps of 12 stages of Lake Onego development in the Late Pleistocene and the Holocene (14.5-3.0 cal ka BP) which are available online (<http://arcg.is/0Kyr9a>). Area, volume, maximum, mean depth, and dynamics of water fluctuation of the lake was determined at each stages of its development. The discrepancies in ice-marginal positions and time scales were found to be major factors affecting the area and volume uncertainties between present and previous studies. Subsequently, the contemporary postglacial rebound model ICE-6G (Argus et al., 2014) was used to reconstruct the development of the Lake Onego catchment area (Fig. 1). The use of the postglacial rebound model also made it possible to calculate the depth of cutting of hydrographic network and estimate sediments sources and budget (Zobkov et al., 2020).

### 4. Conclusions

The use of GIS methods made it possible to reconstruct the development of lakes in the Late Pleistocene and the Holocene. Recently, there are three GIS-based paleoreconstructions of Lakes Onego and Ladoga (Gorlach et al., 2017; Zobkov et al., 2019; Anisimov and Minina, 2020). All reconstruction used DEMs and digital bathymetry models of lakes. However, areas, volumes, maximum, and average depths for various stages of lake development are calculated only for Lake



**Fig.1.** The Lake Onego' watershed and hydrographic network 14.5 cal ka BP (Paleolimnology..., 2022)

Onego (Zobkov et al., 2019). It is planned to carry out a general paleoreconstruction of the lakes and their catchments, including using the postglacial rebound model ICE-6G (Argus et al., 2014), to determine morphometric characteristics for different stages of development.

### Acknowledgements

The study was supported by the Russian Science Foundation (24-17-00206).

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### References

- Anisimov N.V., Minina M.V. 2020. Reconstructions of paleobasins of large lake systems of the southeastern periphery of the Scandinavian Ice Sheet in the Late Pleistocene. *Relief and Quaternary formations of the Arctic, Subarctic and North-West Russia*. Vol. 7. P. 264-268.
- Argus D.F., Peltier W.R., Drummond R. et al. 2014. The Antarctica component of postglacial rebound model ICE-6G\_C (VM5a) based upon GPS positioning, exposure age dating of ice thicknesses, and relative sea level histories. *Geophys. J. Int.* 198(1): 537-563.
- Biske G.S., Lak G.T., Lukashov A.D. et al. 1971. Structure and history of the Onego Lake depression. *Petrozavodsk*. 74 p. (in Russian)
- Björck S. 1995. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0-8.0 BP. *Quatern Int.* 27:19-40.
- Demidov I.N. 2010. Stages of development of the Lake Onego depression. *Onego Lake. Atlas*. Petrozavodsk. P. 27-28. (in Russian)

Gorlach A., Hang T., Kalm V. 2017. GIS-based reconstruction of Late Weichselian proglacial lakes in northwestern Russia and Belarus. *Boreas* 46: 486-502.

Koshechkin B.I., Subetto D.A. 2015. Stages of development of Lake Ladoga in the late and post-glacial periods. Lake Ladoga and attractions of its coast. Atlas. St. Petersburg. P. 31-33. (in Russian)

Kirmse A., de Ferranti J. 2017. Calculating the prominence and isolation of every mountain in the world. *Prog Phys Geogr.* 41(6): 788-802.

Kvasov D.D. 1975. Late Quaternary history of large lakes and inland seas of Eastern Europe. Leningrad. 278 p. (in Russian)

Leverington D.W., Teller J.T., Mann J.D. 2002. A GIS method for reconstruction of late Quaternary landscapes from isobase data and modern topography. *Comput Geosci.* 28(5): 631-639.

Mangerud J., Jakobsson M., Alexanderson H. et al. 2004. Ice-dammed lakes and rerouting of the drainage of northern Eurasia during the Last Glaciation. *Quaternary Sci Rev.* 23: 1313-1332.

Paleolimnology of Lake Onego: from the Onego Ice Lake to the present state. 2022. D. A. Subetto (ed.) Petrozavodsk. 331 p. (in Russian)

Potakhin M.S., Zobkov M.B., Belyaev P.Yu. 2024. New digital bathymetric model of Lake Onego (Verkhne-Svirskoe reservoir): development, verification, application. *Bulletin of St. Petersburg University. Geosciences.* 69 (1) (in Russian)

Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I. 2004. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia. *Quaternary Sci Rev* 23: 1229-1271.

Zobkov M., Potakhin M., Subetto D. et al. 2019. Reconstructing Lake Onego evolution during and after the Late Weichselian glaciation with special reference to water volume and area estimations. *Journal of Paleolimnology.* 62(1): 53-71.

Zobkov M.B., Potakhin M.S., Subetto D.A. et al. 2020. Estimation of sediment sources and budget at Lake Onego watershed after the last glaciation with GIS modeling and sediment geochemistry. *Limnology and Freshwater Biology.* 4: 478-480.

# ГИС-реконструкции развития Онежского и Ладожского озер в позднем неоплейстоцене

Краткое сообщение

LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGYПотахин М.С.<sup>1,2\*</sup>, Зобков М.Б.<sup>1</sup>, Кублицкий Ю.А.<sup>2</sup>,  
Анисимов Н.В.<sup>2,3</sup>, Субетто Д.А.<sup>2</sup><sup>1</sup> Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, 185030, Россия<sup>2</sup> Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, 191186, Россия<sup>3</sup> Вологодский государственный университет, Вологда, 160000, Россия

**АННОТАЦИЯ.** В статье представлен обзор реконструкций развития Онежского и Ладожского озер в позднем неоплейстоцене. Показано, что в настоящее время для реконструкций стали использовать ГИС-методы. На данный момент имеются три палеорекострукции исследуемой территории на ГИС основе (Gorlach et al., 2017; Zobkov et al., 2019; Анисимов, Минина, 2020). Во всех реконструкциях использовались цифровые модели рельефа водосбора и цифровые батиметрические модели озер. Однако площади, объемы, максимальные и средние глубины для различных стадий развития рассчитаны только для Онежского озера (Zobkov et al., 2019; Палеолимнология..., 2022).

**Ключевые слова:** Онежское озеро, Ладожское озеро, неоплейстоцен, приледниковые озера, ГИС, палеорекострукции

**Для цитирования:** Потахин М.С., Зобков М.Б., Кублицкий Ю.А., Анисимов Н.В., Субетто Д.А. ГИС-реконструкции развития Онежского и Ладожского озер в позднем неоплейстоцене // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 767-772. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-767

## 1. Введение

Деграция ледникового покрова последнего оледенения способствовала образованию и развитию огромных приледниковых озер – Балтийского (включая Ладожское) и Онежского приледниковых озер. Самое крупное и хорошо изученное приледниковое озеро Европы — Балтийское озеро (Björck, 1995), образовалось как запрудное в процессе таяния южной части Скандинавского ледникового щита. История относительно небольших приледниковых озер, связанных с юго-восточными и восточными склонами ледникового щита, а также объемы талой воды и пути стока остаются неясными (Mangerud et al., 2004).

Онежское и Ладожское озера расположены в тектонических впадинах в зоне контакта Фенноскандинавского кристаллического щита и Русской осадочной плиты. Их котловины образованы в основном тектоническими силами, однако плейстоценовые оледенения существенно повлияли на их структуру. Озерные котловины неоднократно вмещали ледовые потоки во время оледенений, а

также пресные и соленые воды в межледниковье (Svendsen et al., 2004). В последнее оледенение котловины озер были заполнены ледовыми потоками юго-восточного склона Скандинавского ледникового щита. Отступление ледника привело к образованию приледниковых озер и их развитию. Для Онежского (Биске и др., 1971; Квасов, 1975; Демидов, 2010) и Ладожского (Квасов, 1975; Кошечкин и Субетто, 2015) озер представлено несколько оригинальных моделей развития их котловин в позднем неоплейстоцене и голоцене. Модели по-разному оценивают размеры озер, гляциоизостатическое поднятие территории, расположение и высоту порогов стока. В последнее время реконструкции развития озер проводятся с использованием ГИС-методов (Gorlach et al., 2017; Zobkov et al., 2019; Анисимов и Минина, 2020).

## 2. Материалы и методы

Для палеорекострукций таких крупных регионов, как Онежское и Ладожское озера и их водосборы, целесообразно использовать ГИС-метод,

\*Автор для переписки.

Адрес e-mail: [mpotakhin@mail.ru](mailto:mpotakhin@mail.ru) (М.С. Потахин)

**Поступила:** 20 июня 2024; **Принята:** 19 августа 2024;

**Опубликована online:** 26 августа 2024

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



предложенный Леверингтоном и др. (Leverington et al., 2002). Для реализации этого подхода необходимо создать слой современного рельефа, т.е. цифровую модель рельефа (ЦМР) и слой поверхностей поднятия. Оба слоя данных должны иметь географическую привязку, одинаковое пространственное разрешение и единую систему координат. ЦМР должна содержать высотные отметки вместе с батиметрическими данными озер, преобразованными в единую систему координат и проекцию. Реконструированная водная поверхность может быть получена путем вычитания поверхностей поднятия из поверхности современного рельефа.

Во всех трех реконструкциях (Gorlach et al., 2017; Zobkov et al., 2019; Анисимов и Минина, 2020) использовались ЦМР. Например, при реконструкции Онежского озера (Zobkov et al., 2019) основным источником современных высот послужила ЦМР JdF с пространственным разрешением три угловые секунды (Kirmse and de Ferranti, 2017). Цифровая батиметрическая модель была составлена на основе глубин, оцифрованных вручную с навигационных карт Онежского озера и реки Свирь (Потахин и др., 2024). Таким образом, была получена современная ЦМР водосбора и котловины озера. Положения края ледника использовались только для приледниковых этапов развития озера. Значения изобаз для позднего плейстоцена взяты из исследования Демидова (2010). Для периода голоцена для реконструкции каждого климатического периода использовались семь значений изобаз; изобазы получены от реликтовых береговых террас (Биске и др., 1971).

### 3. Результаты и обсуждения

Горлач и др. (Gorlach et al., 2017) провели мелкомасштабные реконструкции двух начальных этапов (14,4 и 13,8 кал. тыс. л.н.) формирования Онежского и Ладожского озер и определили площади и объемы озер. Анисимов и Минина (2020) реконструировали 10 этапов развития Онежского и Ладожского озер в позднем плейстоцене и голоцене (16,0-2,5 кал. тыс. л.н.); однако площади и объемы озер для этапов не рассчитывались. Зобков и др. (Zobkov et al., 2019) построили карты 12 этапов развития Онежского озера в позднем неоплейстоцене и голоцене (14,5-3,0 кал. тыс. л.н.), которые доступны в Интернете (<http://arcg.is/0Kyr9a>). Определены площадь, объем, максимальная, средняя глубина и их динамика на каждом этапе развития озера. Было обнаружено, что расхождения в положении границ льда и временных масштабах являются основными факторами, влияющими на расхождения площади и объема современных и предыдущих исследований. Затем была использована современная модель послеледниковой поверхности ICE-6G (Argus et al., 2014) для реконструкции развития водосбора Онежского озера (рис. 1). Применение этой модели позволило рассчитать глубину вреза гидрографической сети и оценить источники и баланс наносов (Zobkov et al., 2020).

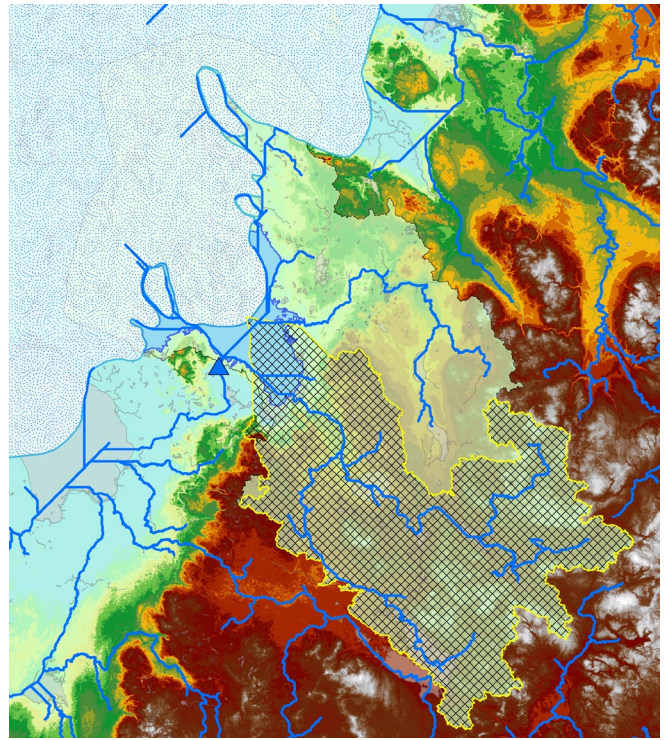


Рис.1. Водосбор и гидрографическая сеть Онежского озера 14,5 кал. тыс. л.н. (Палеолимнология..., 2022)

### 4. Выводы

Использование ГИС-методов позволяет реконструировать развитие озер в позднем неоплейстоцене и голоцене. В настоящее время имеются три палеорекострукции Онежского и Ладожского озер на ГИС основе (Gorlach et al., 2017; Zobkov et al., 2019; Анисимов и Минина, 2020). Во всех реконструкциях использовались ЦМР и цифровые батиметрические модели озер. Однако площади, объемы, максимальные и средние глубины для различных стадий развития рассчитаны только для Онежского озера (Zobkov et al., 2019). Планируется провести единую реконструкцию озер и их водосборов, в том числе с использованием модели послеледниковой поверхности ICE-6G (Argus et al., 2014) для определения морфометрических характеристик для разных стадий развития водоема.

### Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00206.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

Анисимов Н.В., Минина М.В. 2020. Реконструкции палеобассейнов крупных озерных систем юго-восточной периферии Скандинавского ледникового щита в позд-

нем плейстоцене. Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Вып. 7. С. 264-268.

Биске Г.С., Лак Г.Ц., Лукашов А.Д. и др. 1971. Строение и история котловины Онежского озера. Петрозаводск. 74 с.

Демидов И.Н. 2010. Этапы развития котловины Онежского озера. Онежское озеро. Атлас. С. 27-28.

Квасов Д.Д. 1975. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л. 278 с.

Кошечкин Б.И., Субетто Д.А. 2015. Этапы развития Ладожского озера в позднее- и послеледниковый период. Ладожское озеро и достопримечательности его побережья. Атлас. СПб. С. 31-33.

Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям. 2022. Субетто Д.А.(отв. ред.). Петрозаводск. 332 с.

Потахин М.С., Зобков М.Б., Беляев П.Ю. 2024. Новая цифровая батиметрическая модель Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища): разработка, верификация, применение. Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 69 (1).

Argus D.F., Peltier W.R., Drummond R. et al. 2014. The Antarctica component of postglacial rebound model ICE-6G\_C (VM5a) based upon GPS positioning, exposure age dating of ice thicknesses, and relative sea level histories. *Geophys. J. Int.* 198(1): 537-563.

Björck S. 1995. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0-8.0 BP. *Quatern Int.* 27:19-40.

Gorlach A., Hang T., Kalm V. 2017. GIS-based reconstruction of Late Weichselian proglacial lakes in northwestern Russia and Belarus. *Boreas* 46: 486-502.

Kirmse A., de Ferranti J. 2017. Calculating the prominence and isolation of every mountain in the world. *Prog Phys Geogr.* 41(6): 788-802.

Leverington D.W., Teller J.T., Mann J.D. 2002. A GIS method for reconstruction of late Quaternary landscapes from isobase data and modern topography. *Comput Geosci.* 28(5): 631-639.

Mangerud J., Jakobsson M., Alexanderson H. et al. 2004. Ice-dammed lakes and rerouting of the drainage of northern Eurasia during the Last Glaciation. *Quaternary Sci Rev.* 23: 1313-1332.

Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I. et al. 2004. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia. *Quaternary Sci Rev* 23: 1229-1271.

Zobkov M., Potakhin M., Subetto D. et al. 2019. Reconstructing Lake Onego evolution during and after the Late Weichselian glaciation with special reference to water volume and area estimations. *Journal of Paleolimnology.* 62(1): 53-71.

Zobkov M.B., Potakhin M.S., Subetto D.A. et al. 2020. Estimation of sediment sources and budget at Lake Onego watershed after the last glaciation with GIS modeling and sediment geochemistry. *Limnology and Freshwater Biology.* 4: 478-480.