

Limno-glacial deposits: Sources of sediments and processes of sedimentation

Short communication

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Subetto D.A.^{1*}, Strakhovenko V.D.^{1,2}, Belkina N.A.^{1,3}, Rybalko A.E.^{1,4,5},
Potakhin M.S.^{1,3}, Kublitskiy Yu.A.¹, Orlov A.V.^{1,3}, Kulik N.V.^{1,3},
Anisimov N.V.^{1,6}, Malov V.I.^{1,2}

¹ Herzen State Pedagogical University of Russia, 48 Moika Emb. 48, St.Petersburg, 191186, Russia

² V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, 3 Academician Koptyug Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

³ Northern Water Problems Institute KarRC RAS, 50 Alexander Nevsky Ave., Petrozavodsk, 185030, Russia

⁴ FGBU 'VNII Okeangeologiya', 1 Angliyskiy Pr., St.Petersburg, 190121, Russia

⁵ Institute of Earth Sciences SPBSU, 33-35, 10th line V.O. St.Petersburg, 199178, Russia

⁶ Vologda State University, 15 Lenina str., 160000, Vologda, Russia

ABSTRACT. The article presents the theoretical postulates of limno-glacial type of sedimentation and examines its features on the example of the Onego Ice Lake.

Keywords: limno-glacial deposits, sedimentogenesis, Onego Ice Lake

For citation: Subetto D.A., Strakhovenko V.D., Belkina N.A., Rybalko A.E., Potakhin M.S., Kublitskiy Yu.A., Orlov A.V., Kulik N.V., Anisimov N.V., Malov V.I. Limno-glacial deposits: Sources of sediments and processes of sedimentation // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 773-778. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-773

1. Introduction

Limno-glacial deposits formed in large glacial basins at the boundary of the Late Pleistocene and Holocene are unique geological formations that have no modern analogues. The transition from the Last Glacial epoch to the Interglacial (the Holocene) was a time of active melting and reduction of the area of large ice sheets in the Northern Hemisphere – the Laurentian and Scandinavian Ice Sheets, as a result of which large glacial water basins with huge areas and depths and with huge water volumes were formed on their periphery. In the cold climate conditions of that time, a special type of sedimentogenesis was formed – nival, characterized by physical, frosty weathering, the dominance of erosive processes, the predominance of clastic material over biogenic (Strakhov, 1960).

2. Materials and methods

Paleogeographic and paleolimnological studies of the bottom sediments of Lake Onego in recent years have allowed us to obtain new data on the features of the formation of the Onego Ice Lake (OIL) and the conditions of limno-glacial sedimentation (Paleolimnology..., 2022).

*Corresponding author.

E-mail address: subettoda@herzen.spb.ru (D.A. Subetto)

Received: July 08, 2024; **Accepted:** August 19, 2024;

Available online: August 26, 2024

3. Results and discussion

Based on varvochronological studies of varved clays, it was revealed that they accumulated over 1150-1300 years in the time interval 14,500-13,000 years ago. The drainage basin of the OIL has undergone significant changes since its deglaciation. During the formation of the OIL, the Earth's surface, as a result of isostatic deformations, had a strong slope towards the glacier, which was reflected in the fundamentally different location of the surface runoff directions from the modern one and their orientation in the north-easterly direction towards the glacier. The area of the drainage basin about 14,500 years ago was more than 160 thousand km², which is about 2.6 times more than the modern one. At that time, the southern boundaries of the OIL catchment area were shifted 300 km south of their current position. The drainage basin of the OIL, and then of Lake Onego, gradually decreased due to the separation of its southern and south-eastern sections and reached its modern borders about 2500 years ago. During the Ice Age, the removal of detrital material was very large and significantly exceeded the modern one. For example, 12,000 years ago, the volume of

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



detrital material carried into the OIL basin could have amounted to 49.4 km³. At the same time, the southern segment of the catchment area, composed of sedimentary rocks of the Russian Platform (RP), could receive more than 3 times more detrital material than from the northern segment, represented by crystalline rocks of the Fennoscandian Crystalline Shield (FCS).

An assessment of the reserves of sedimentary matter of different genesis in the basin of Lake Onego showed that the amount of limno-glacial deposits (mineral silty-clay deposits with a laminated structure) reaches 52 km³ in volume, and 30,000 million tons of dry matter in mass. These figures are 5 and 10 times higher than similar characteristics for Holocene sediments (volume - 10 m³, weight - 3000 million tons of dry matter). The rate of accumulation of sedimentary matter in the basin of Lake Onego in the conditions of a nival climate (stage of OIL) was 2 orders of magnitude higher than the average rate of sedimentation in the Holocene.

A comparison of the distribution features of REE in varved clays with those in crystalline rocks of the FCS and sedimentary rocks of the RP allowed us to come to the following conclusions regarding their litho-geochemical features and formation settings: (1) the bottom sediments of Lake Onego are formed mainly due to sedimentary material formed by repeatedly redeposited weathering products of the crystalline rock massifs of the FCS and in to a lesser extent, deposits of the RP sedimentary cover (with the exception of limno-glacial deposits of the southern part of Lake Onego, where the role of sedimentary material received as a result of weathering of sedimentary rocks of the RP, when the drainage basin was significantly shifted to the south, is significant). A well-marked trend of changes in the spectra of REE distribution in bottom sediments in the Onego Lake water area has been revealed, with a gradual increase in the role of sedimentary rocks of the RP towards the Southern Onego and their complete predominance in the bottom sediments of the Southern Onego throughout the entire time of the lake's development.

Complex geochemical and mineralogical studies of the stratigraphically aged "pink horizon" in varved clays of the OIL (Fig. 1) and the horizon with shungite layers in the varved clays showed their identity, with differences in accessory minerals and the addition of dolomite and shungite to the main minerals in the lowest units. The main minerals are quartz and feldspar (mainly albite, oligoclase, microcline) of different dimensions, degree of edging, morphology, as well as large and small scales of chlorite, illite, muscovite, biotite, actinolite, and epidote. At the lower sharp contact of the "pink horizon" of varved clays, the amount of finely scaled chlorite and illite of a more ferruginous composition increases sharply. The gadolinium maximum, which is present for most of the varved clays of the OIL is especially high in varved clays of the "pink horizon".

The main characteristics of lake sedimentation in glacial lakes are given below: 1. The nival type of sedimentogenesis (Arctic, Subarctic climatic conditions); 2.



Fig.1. Photos of two sediment cores with "pink horizon" in varved clays of Onego Ice Lake.

Conditions of a large (huge), deep-water glacial lake in the peripheral zone of the Scandinavian Ice Sheet (Baltic Ice Lake (including Lake Ladoga), Onego Ice Lake, White Sea Glacial Lake); 3. Low water transparency (high content of suspended and entrained material) and, as a result, low bioproductivity of the lake ecosystem (oligotrophic (ultra-oligotrophic) type of lakes); 4. Low concentration of nutrients in bottom sediments (up to 1-2% of organic matter). Mineral composition of bottom sediments; 5. Intermittent vegetation cover on undeveloped soils in the catchment areas freed from glaciers of the Late Valdaian Glaciation. Open spaces, polar deserts; 6. The dominant role of erosive and Aeolian processes; 7. The dominant role of allochthonous material (coming from the catchment area) in the sedimentation process; 8. High sedimentation rates (an order of magnitude higher than modern sedimentation rates in lakes of the humid zone) from 1 to 10 mm or more per year; 9. Rhythmic accumulation of sediments (mixed nature of sedimentation: gravitational-turbidite, glacial-turbidite flows); 10. Laminated (rhythmic, annual) type of lake sediments; 11. Unprocessed profile of the lake bottom relief; 12. Instability and disequilibrium of the lake ecosystem; 13. The relatively short stage of lake-glacial sedimentation is 1000-2000 varved-years.

4. Conclusions

The formation of limno-glacial deposits (varved clays) in the conditions of large glacial lakes formed at the boundary of the Late Pleistocene and Holocene is characterized by unique natural and climatic conditions and features that currently have no analogues. On the example of the Onego Ice Lake, the features of the formation of varved clays and their material composition are shown.

Acknowledgements

The research was funded by the Russian Science Foundation, project No. 24-77-00206, <https://rscf.ru/project/24-17-00206/>.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

Paleolimnology of Lake Onego: From The Onego Ice Lake to the Present State. 2022. D. A. Subetto, N. A. Belkina, V. D. Strahovenko et al. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences. (in Russian)

Strakhov N.M. 1960. Fundamentals of the theory of lithogenesis. Volume 1. Types of lithogenesis and their placement on the Earth's surface. – M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. (in Russian)

Озерно-ледниковые отложения: источники вещества, процессы формирования



Субетто Д.А.^{1*}, Страховенко В.Д.^{1,2}, Белкина Н.А.^{1,3}, Рыбалко А.Е.^{1,4,5},
Потахин М.С.^{1,3}, Кублицкий Ю.А.¹, Оролов А.В.^{1,3}, Кулик Н.В.^{1,3},
Анисимов Н.В.⁶, Малов В.И.^{1,2}

¹ Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, наб. р. Мойки, д. 48, Санкт-Петербург, 191186, Россия

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, пр-т акад. Коптюга, д. 3, Новосибирск, 630090, Россия

³ Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, пр. Александра Невского, 50, Петрозаводск, 185030, Россия

⁴ ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Английский пр., д.1, Санкт-Петербург, 190121, Россия

⁵ Институт наук о Земле СПбГУ, 10-я линия В.О., д.33-35, Санкт-Петербург, 199178, Россия

⁶ Вологодский государственный университет, пр. Ленина, д.15, Вологда, 196000, Россия

АННОТАЦИЯ. В статье приводятся теоретические положения озерно-ледникового осадконакопления и рассматриваются его особенности на примере Онежского приледникового озера.

Ключевые слова: озерно-ледниковые отложения, седиментогенез, Онежское приледниковое озеро

Для цитирования: Субетто Д.А., Страховенко В.Д., Белкина Н.А., Рыбалко А.Е., Потахин М.С., Кублицкий Ю.А., Оролов А.В., Кулик Н.В., Анисимов Н.В., Малов В.И. Озерно-ледниковые отложения: источники вещества, процессы формирования // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 773-778. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-773

1. Введение

Озерно-ледниковые отложения, сформировавшиеся в крупных приледниковых бассейнах на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена, являются уникальными в своем роде геологическими образованиями, не имеющие современных аналогов. Переход от последней ледниковой эпохи к межледниковой (голоцену) был временем активного таяния и сокращения площади крупных ледниковых щитов в Северном полушарии – Лаврентийского и Скандинавского, в результате чего формировались на их периферии крупные приледниковые водоемы большой площади и глубины с огромными объемами водных масс. В холодных условиях климата того времени формировался особый тип седиментогенеза – нивальный, характеризовавшийся физическим, морозным выветриванием, господством эрозионных процессов, преобладанием кластического материала над биогенным (Страхов, 1960).

2. Материалы и методы

Палеогеографические и палеолимнологические исследования последних лет донных отложе-

ний Онежского озера позволили получить новые данные об особенностях формирования Онежского приледникового озера (ОПО) и условиях озерно-ледникового осадконакопления (Палеолимнология..., 2022).

3. Результаты и обсуждение

На основе варвохронологических исследований ленточных глин ОПО выявлено, что они накапливались на протяжении 1150-1300 лет во временном интервале 14500 -13000 лет назад. Водосборный бассейн ОПО претерпел существенные изменения со времени его дегляциации. В период формирования ОПО поверхность Земли в результате изостатических деформаций имела сильный наклон в сторону ледника, что отразилось в принципиально отличном от современного расположения направлений поверхностного стока и их ориентировании в северо-восточном направлении в сторону ледника. Площадь водосборного бассейна около 14500 лет назад составляла более 160 тыс. км², что примерно в 2,6 раза больше современного. Южные границы водосборного бассейна ОПО в то время были смещены на 300 км южнее от современ-

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: subettoda@herzen.spb.ru (Д.А. Субетто)

Поступила: 08 июля 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.



ного их положения. Водосборный бассейн ОПО, а затем и Онежского озера постепенно уменьшался за счет отчленения южных и юго-восточных его участков и достиг современных границ около 2500 лет назад. В ледниковую эпоху вынос обломочного материала был очень велик и существенно превышал современный. Например, 12000 лет назад объем обломочного материала, выносимого в котловину ОПО, мог составить 49,4 км³. При этом с южного сегмента водосбора, сложенного осадочными породами Русской плиты, могло поступать обломочного материала более чем в 3 раза больше, чем с северного сегмента, представленного кристаллическими породами Фенноскандинавского щита.

Оценка запасов осадочного вещества разного генезиса в котловине Онежского озера показала, что количество позднеледниковых, озерно-ледниковых отложений (минеральные алевритово-глинистые отложения со слоистой структурой) достигает в объеме 52 км³, а в массе – 30000 млн. т сухого вещества. Эти цифры в 5 и в 10 раз превышают аналогичные характеристики для голоценовых илов (объем - 10 км³, масса - 3000 млн. т сухого вещества). Скорость накопления осадочного вещества в котловине Онежского озера в условиях нивального климата (стадия ОПО) на 2 порядка превышала среднюю скорость осадконакопления в голоцене.

Сравнение особенностей распределения РЗЭ в ленточных глинах с таковыми в кристаллических породах Фенноскандинавского щита и осадочных пород Русской плиты позволило прийти к следующим выводам относительно их литогеохимических особенностей и обстановок формирования: (1) донные отложения Онежского озера образованы, в основном, за счет осадочного материала, сформированного многократно переотложенными продуктами выветривания массивов кристаллических пород щита и в меньшей степени отложениями платформенного осадочного чехла (за исключением озерно-ледниковых отложений южной части Онежского озера, где существенна роль осадочного материала, поступившего в результате выветривания осадочных пород Русской платформы, когда водосборный бассейн был существенно смещен на юг). Выявлен хорошо выраженный тренд изменения спектров распределения РЗЭ в донных отложениях по акватории Онежского озера, с постепенным увеличением в них роли осадочных пород Русской платформы к Южному Онегу и полное преобладание их в донных отложениях Южного Онега на протяжении всего времени развития озера.

Комплексные геохимические и минералогические исследования стратиграфически выдержанного «розового горизонта» в ленточных глинах ОПО (Рис. 1) и горизонта с шунгитовыми слоями в ленточных глинах показали их идентичность, с отличиями по акцессорным минералам и добавлением к основным минералам доломита и шунгита в самых нижних пачках.

Основные минералы – это кварц и полевые шпаты (преимущественно альбит, олигоклаз, микроклин) разной размерности, степени окатан-



Рис.1. Фотографии двух колонок донных отложений с «розовым горизонтом» в ленточных глинах Онежского приледникового озера

ности, морфологии, а также крупные и мелкие чешуйки хлорита, иллита, пластинки мусковита, биотита, актинолита и эпидота. На нижнем резком контакте «розового горизонта» ленточных глин резко возрастает количество мелкочешуйчатого хлорита и иллита более железистого состава. Гадолиниевый максимум, который присутствует для большей части ленточных глин ОПО, особенно велик в ленточных глинах «розового горизонта».

Ниже приводятся основные характеристики озерного осадконакопления в приледниковых водоемах: 1. Нивальный тип седиментогенеза (арктические, субарктические климатические условия); 2. Условия крупного (гигантского), глубоководного приледникового озера в периферийной зоне Скандинавского ледникового щита (Балтийское ледниковое озеро (включая Ладогу), Онежское приледниковое озеро, Беломорское приледниковое озеро); 3. Низкая прозрачность воды (высокое содержание взвешенного и влекомого материала) и, как следствие, низкая биопродуктивность озерной экосистемы (олиготрофный (ультра-олиготрофный) тип озер); 4. Низкая концентрация биогенных элементов в донных отложениях (до 1-2% органического вещества). Минеральный состав донных отложений; 5. Прерывистый растительный покров на неразвитых почвогрунтах в зонах водосборного бассейна, освобожденных от ледников последнего валдайского оледенения. Открытые пространства, полярные пустыни; 6. Господствующая роль у эрозийных и эоловых процессов; 7. Господствующая роль аллохтонного материала (поступающего с водосборного бассейна) в процессе осадконакопления; 8. Высокие скорости осадконакопления (на порядок выше современных скоростей седимента-

ции в озерах гумидной зоны) от 1 до 10 мм и более в год; 9. Ритмичное/пульсационное накопление отложений (смешанный характер осадконакопления: гравитационно-турбидитовый, ледниково-мутевые потоки); 10. Ленточный (ритмичный, годичный) тип озерных отложений; 11. Невыработанный профиль рельефа дна озера; 12. Неустойчивость, неравновесность озерной экосистемы; 13. Относительно непродолжительный этап озерно-ледникового осадконакопления – 1000-2000 варво-лет.

4. Заключение

Формирование озерно-ледниковых отложений (ленточных глин) в условиях крупных приледниковых водоемов, формировавшихся на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена, характеризуется уникальными природно-климатическими условиями и особенностями, аналогов которым в настоящее время нет. На примере Онежского приледникового озера показаны особенности формирования ленточных глин и их вещественного состава.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 24-77-00206, <https://rscf.ru/project/24-17-00206/>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям. 2022. Д. А. Субетто, Н. А. Белкина, В. Д. Страховенко и др. Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук.
- Страхов Н.М. 1960. Основы теории литогенеза. Том 1. Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли. – М.: Издательство Академии наук СССР.