

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

## ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 556.55

doi: 10.17072/2079-7877-2024-2-6-23

### ВЫЯВЛЕНИЕ ПАЛЕОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ ОЗЕР ШОКШИНСКОЙ ГРЯДЫ (КАРЕЛИЯ)

Надежда Александровна Мясникова<sup>1</sup>, Александр Владимирович Орлов<sup>2</sup>, Максим Сергеевич Потахин<sup>3</sup>, Дмитрий Александрович Субетто<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

<sup>2,3,4</sup> Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

<sup>1</sup> nadezda\_myasnikova@mail.ru

<sup>2</sup> 95orlov@rambler.ru

<sup>3</sup> mpotakhin@mail.ru

<sup>4</sup> subetto@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности гранулометрического состава донных отложений малых озер района Шокшинской гряды (Карелия) с целью уточнения вопросов дегляциации и формирования Онежского приледникового озера. Изучены разрез донных осадков озера Анашкино и два разреза озера Ржаное, дано их литостратиграфическое описание. Выполнен анализ гранулометрического состава колонок донных отложений – 9,32–10,32 м озера Анашкино и 2,5–6,52 м озера Ржаное. Выявлены особенности распределения фракций донных отложений по глубине их залегания. По данным гранулометрического анализа определены палеогидродинамические обстановки осадконакопления. В озере Анашкино донные отложения горизонта 9,96–10,31 м, представленные алевритом и тонкозернистым песком, отлагались в высокодинамических условиях обмеления (снижение уровня Онежского приледникового озера). Вышезалегающие отложения (9,32–9,92 м), представленные глинистым алевритом с примесью тонкозернистого песка, накапливались в слабопроточных условиях. Особенность палеогидродинамических обстановок осадконакопления озера Ржаное – это чередование сильнопроточных условий (5,36–6,23 м, 6,31–6,32 м, 6,47–6,48 м) и слабопроточных условий (2,50–4,88 м, 6,28–6,29 м, 6,30–6,31 м, 6,37–6,45 м, 6,51–6,52 м). Это, возможно, связано с динамикой снижения уровня Онежского приледникового озера и формирования малых озер.

В процессе формирования донных отложений малых озер Шокшинской гряды в период активного изменения ландшафтов, а также очертаний и уровней Онежского приледникового озера на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена, в условиях смены нивального климата на гумидный, в донных отложениях двух изученных озер – Анашкино и Ржаное – фиксируется смена условий осадконакопления от высокодинамических (проточные условия, спуск Онежского приледникового озера) к слабопроточным при изоляции водоемов и формировании современных малых озер.

**Ключевые слова:** палеогидродинамические обстановки, донные отложения, гранулометрический состав, фракции, Онежское озеро, Карелия

**Финансирование:** финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН), частично РНФ 18-17-00176.

**Для цитирования:** Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А. Выявление палеогидродинамических обстановок осадконакопления по данным гранулометрического анализа донных отложений малых озер Шокшинской гряды, Карелия // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 2(69). С. 6–23. doi: 10.17072/2079-7877-2024-2-6-23

## PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-2-6-23

### GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF BOTTOM SEDIMENTS IN SMALL LAKES OF THE SHOKSHA RIDGE, KARELIA, AS A PROXY FOR PALEO-HYDRODYNAMIC SEDIMENTATION ENVIRONMENTS

Nadezda A. Myasnikova<sup>1</sup>, Alexander V. Orlov<sup>2</sup>, Maxim S. Potakhin<sup>3</sup>, Dmitry A. Subetto<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia

<sup>2,3,4</sup> Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

<sup>1</sup> nadezda\_myasnikova@mail.ru



Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

<sup>2</sup> 95orlov@rambler.ru

<sup>3</sup> mpotakhin@mail.ru

<sup>4</sup> subetto@mail.ru

**Abstract.** The paper examines the grain size distribution of bottom sediments of lakes in the Shoksha Ridge area, Karelia, to elucidate how deglaciation and formation of the Onego Ice Lake basin proceeded. A sequence of bottom sediments of Lake Anashkino and two sediment sequences of Lake Rzhanoje were studied, and lithostratigraphy of the sediment cores was described. The grain size compositions of the 9.32–10.32 m sequence from Lake Anashkino and the 2.5–6.52 m sequence from Lake Rzhanoje were analyzed. The study revealed features of the bottom sediment fractions distribution along the depth of occurrence. Paleo-hydrodynamic sedimentation environments were identified using grain size analysis. Lake Anashkino bottom sediments of a 9.96–10.31 m horizon, represented by silt and fine-grained sand, were deposited

under conditions of highly dynamic shallowing (decrease in the water level of Onego Ice Lake). The upper part of sediments (9.32–9.92 m), represented by clayey silt mixed with fine-grained sand, accumulated under weak flow conditions. Paleo-hydrodynamic sedimentation environments in Lake Rzhanoje were characterized by alternation of highflow conditions (5.36–6.23 m, 6.31–6.32 m, 6.47–6.48 m) and weak flow conditions (2.50–4.88 m, 6.28–6.29 m, 6.30–6.31 m, 6.37–6.45 m, 6.51–6.52 m). This is possibly due to the dynamics of the decrease in the water level of Onego Ice Lake and the formation of small isolated lakes.

In the process of the formation of bottom sediments of small lakes of the Shoksha Ridge during the period of intensive changes in the landscapes, outlines and levels of Onego Ice Lake at the transition from the late Pleistocene to Holocene, against a shift from nival to humid climate, we note a change in sedimentation conditions in the bottom sediments of the two studied lakes – Anashkino and Rzhanoje – from highly dynamic (flowing conditions, decrease in water level of Onego Ice Lake) to weakly flowing, in the conditions of isolation of the lakes and formation of modern small lakes.

**Keywords:** paleo-hydrodynamic environments, lake sediments, grain size distribution, fractions, Lake Onego, Karelia

**Funding:** This work was carried out as part of the research program of the Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, in part Russian Science Foundation under project No. 18-17-00176.

**For citation:** Mясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А. (2024). Grain size distribution of bottom sediments in small lakes of the Shoksha Ridge, Karelia, as a proxy for paleo-hydrodynamic sedimentation environments. *Geographical Bulletin*. No. 2(69). Pp. 6–23. doi 10.17072/2079-7877-2024-2-6-23

## Введение

В процессе развития озер в их котловинах накапливаются донные отложения различного состава, формирование которых происходит вследствие осаждения органического и неорганического материала. На процесс седиментации в озерах оказывают влияние различные природные факторы, такие как климатические условия [11, 14], характер растительного и почвенного покрова на водосборе [15, 17, 22], гидрологический режим [13, 31] и другие факторы. Донные отложения, сформировавшиеся за длительное время, являются надежным архивом информации о природных событиях прошлого [1, 2, 5, 21, 23, 26, 32].

Катастрофические геологические явления, изменение климата, влияние человека на окружающую среду и прочие факторы отражаются в особенностях строения донных отложений озер. Изменения в лимнических экосистемах, происходящие в ходе их эволюции, часто не сразу заметны, но могут быть выявлены палеогеографическими и палеолимнологическими методами.

Одним из методов получения палеогеографических данных является гранулометрический анализ образцов донных отложений озер [9, 23]. Трансформации в гранулометрическом составе озерных отложений связаны, в первую очередь, с изменениями гидрологического режима и динамикой уровня озера [5, 20, 24].

В настоящее время проводятся исследования донных отложений малых озер бассейна Онежского приледникового озера (ОПО) для изучения истории их возникновения и реконструкции развития Онежского озера в послеледниковье и голоцене [3, 12, 28, 30, 34, 35, 37]. Первые реконструкции изменения Онежского озера в поздне- и послеледниковье были проведены Г.С. Бискэ [4], И.Н. Демидовым [6, 7], а в настоящее время это направление развивается в работах авторского коллектива под руководством Д.А. Субетто [18, 25, 37]. В конце позднеледниковья – начале послеледниковья произошла деградация материкового оледенения и бассейн Онежского озера претерпевал существенные изменения [8].

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

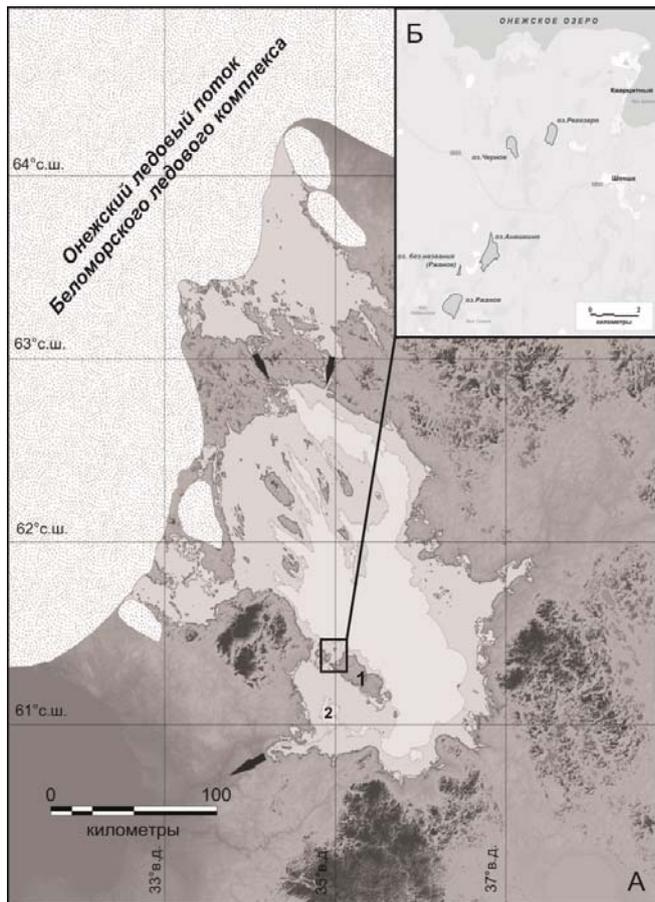


Рис. 1. Географическое положение района исследования  
А – Реконструкция максимальной стадии развития ОПО (13,3 тыс. л.н.) (черная стрелка – направление стока) [25].

Район исследования: 1. Шокшинская гряда, 2. Ивинский разлив;

Б – Объекты исследования – малые озера Анашкино и Ржаное

Fig. 1. Geographic location of the study area

A – Reconstruction of the Onego Ice Lake maximum (13.3 ka B.P.) (the black arrow marks drainage direction) [25].

The study area: 1. Shoksha Ridge, 2. Ivinsky Lowland.

B – study objects: small Lakes Anashkino and Rzhanoye

(диаметр желонки 5 см) в зимнее время со льда, в летнее – с плота [23].

Шокшинская гряда находится в юго-западном Прионежье и представлена рядом отдельных куполообразных возвышенностей, спускающихся террасами в сторону Онежского озера [4]. На западе гряда замыкается комплексом холмистых и грядовых ледниковых, а также водно-ледниковых краевых образований лужской стадии. Район Шокшинской гряды характеризуется небольшим количеством озер. Здесь преимущественно развиты вторичные и остаточные (реликтовые) озера, залегающие в узких вытянутых понижениях рельефа [16]. Система малых озер в северной части гряды (Регозеро, Черное, Анашкино, Ржаное, озеро без названия, примыкающее к озеру Ржаное) трассирует один из палеопроливов, соединявших Ивинский разлив с основной акваторией ОПО [19].

Озеро Анашкино (координаты географического центра: 61°25'34" с.ш.; 34°55'12" в.д.) находится в центральной части озерной группы. Площадь водной поверхности озера составляет 0,762 км<sup>2</sup>, высота над уровнем моря – 73 м. Водоем имеет овально-лопастную форму, вытянутую в меридиональном направлении. Котловина озера слабо выражена, берега по большей части низкие, заболоченные, за исключением западного, к которому примыкает гряда высотой до 20 м, образованная выходом коренных пород со следами сейсмодислокаций. Рельеф дна озера сложный, максимальная глубина (9,7 м) отмечена в западной части озера, средняя глубина составляет 3,6 м.

Созданные ГИС-реконструкции развития ОПО [37] указывают на существование в позднеледниковье в районе Ивинской низменности крупного залива ОПО (рис. 1). С северо-востока залив отделялся от основного бассейна Шокшинской грядой, представлявшей в тот период островное образование. На юге гряда омывалась широким проливом, приуроченным к долине р. Свирь, а на северо-западе – двумя узкими проливами (рис. 1А). В северной части гряды один из проливов приледникового водоема в настоящее время трассируется системой малых озер – Регозеро, Черное, Анашкино, Ржаное и озеро без названия (примыкающее к озеру Ржаное) (рис. 1Б).

Целью исследования является изучение гранулометрического состава донных отложений озер Анашкино и Ржаное для уточнения процесса дегляциации котловины Онежского приледникового озера в районе Шокшинской гряды и установления времени существования палеопролива.

#### Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются колонки донных отложений двух малых озер Анашкино и Ржаное, расположенных в северной части Шокшинской гряды. Керны донных отложений отбирались с использованием торфяного бура

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

Озеро Ржаное (координаты географического центра: 61°24'05" с.ш.; 34°53'05" в.д.) расположено в южной части района исследования. Площадь зеркала озера составляет 0,711 км<sup>2</sup>, высота над уровнем моря – 73 м. Водоем имеет овальную форму, ориентированную в субмеридиональном направлении. Котловина озера блюдцеобразная, берега низкие, заболоченные. Рельеф дна ровный, средняя глубина составляет 2 м, максимальная – 3 м [19].

В ходе полевых работ были вскрыты один разрез донных отложений на озере Анашкино и два разреза на озере Ржаное. Один разрез мощностью 4,10 м (2,5–6,6 м) был отобран в точке с глубиной 2,0 м и использовался для гранулометрического анализа, со второго разреза мощностью 2,7 м (4,0–6,7 м), отобранного в точке с глубиной воды 1,7 м, были сделаны датировки.

Анализ определения механического состава донных отложений проводился на лазерном многофункциональном анализаторе частиц LS 13 320 (фирма Beckman Coulter, США) в Центре коллективного пользования КарНЦ РАН. Классификация фракций донных отложений по размерам частиц выполнена по методике Blott S.J., Pye K. [27].

Для получения количественной оценки статистик практических распространений частиц по размерам применен метод квартилей, представленный П. Траском [36].

Для оценки гранулометрического спектра методом квартилей были использованы коэффициенты  $M_d$ ,  $S_0$  и  $S_k$  ( $M_d$ -медиана,  $S_0$ -коэффициент сортировки,  $S_k$ -коэффициент асимметрии). Построение кумулятивных кривых и расчет коэффициентов осуществлялись по методике [10].

Для оценки возраста палеогеографических событий были отобраны образцы донных отложений на радиоуглеродное датирование AMS-методом.

Получены две датировки отложений, сформировавшихся при определенных палеогидродинамических обстановках осадконакопления (табл. 1).

Таблица 1

Радиоуглеродный и калиброванный возраст образцов отложений озера Ржаное  
Radiocarbon and calibrated age of Lake Rzhanoye sediment samples

Лаб. номер	Глубина, м	Радиоуглеродный возраст, лет назад	Калиброванный возраст, лет назад	Тип материала	Вмещающие отложения
IRAN-7475	5,44	8310 ± 25	9349	Сапропель	Верхняя граница сапропель/песок
IRAN-7476	5,65	10880 ± 30	12743	Органика с волокнами мха	Глинистый алеврит с прослоями песка и включениями органики

Радиоуглеродное датирование образцов проведено в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США).

### Результаты исследования и их обсуждение

На озере Анашкино было отобрано восемь кернов донных отложений в точке с глубиной 3,40 м. Максимальная мощность вскрытых отложений составляет 6,75 м. Отложения в нижней части разреза представлены красным песчаным горизонтом, перекрытым бежевым глинистым алевритом. Визуально колонку донных отложений можно разделить на два интервала: осадки в интервале 4,00–9,32 м, представленные бурым органическим сапропелем, сформировавшиеся в голоцене; осадки в интервале 9,32–10,75 м, сформировавшиеся в период изменения нивального климата на гумидный (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2

Литостратиграфическое описание донных отложений озера Анашкино  
Lithostratigraphic description of Lake Anashkino sediments

Глубина, метры	Описание
4,00–9,00	бурый органический сапропель
9,00–9,32	зелено-бурый сапропель
9,32–9,60	черный глинистый алеврит
9,60–9,67	оливково-серый глинистый алеврит
9,67–9,73	светло-бежевый глинистый алеврит с примесью тонкозернистого песка
9,73–9,77	глинистый алеврит с прослоем органики (мощность прослоя 2 см), сверху и снизу от интервала присутствуют следы ожелезнения (желтого цвета)

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

Окончание табл. 2

Глубина, метры	Описание
9,77–9,93	бежевый гомогенный глинистый алеврит
9,93–10,03	бежевый глинистый алеврит с прослоями органогенного детрита
10,03–10,19	переслаивание коричнево-бежевого алеврита и тонкозернистого песка красно-бурого цвета,
10,19–10,32	переслаивание песчанистого алеврита с тонкозернистым песком серого цвета
10,32–10,49	бежевый алеврит
10,49–10,75	алеваит с прослоями красного песка
10,54–10,75	красный песчаный горизонт

Гранулометрический анализ донных отложений озера Анашкино был выполнен для десяти проб. Наиболее детально был исследован участок колонки 9,32–10,32 м, представленный минеральными отложения (рис. 2). Процентное содержание фракций в каждой пробе приведено в табл. 4.

В интервале 9,32–9,66 м преобладает фракция очень мелкого песка, с глубиной происходит незначительный рост от 21 % в интервале 9,32–9,33 м до 24 % в интервале 9,65–9,66 м.

С глубины 9,91 по 10,31 м

происходит исчезновение фракций очень грубого и грубого песка, а фракция среднего песка составляет менее 0,1 %, также увеличивается доля фракций грубого и среднего алеврита. С глубины 10,03–10,16 м начинают преобладать фракции среднего и мелкого алеврита. В интервалах 10,03–10,04 и 10,15–10,16 м преобладает фракция среднего алеврита (23 %), на глубине 10,19–10,20 м – фракция очень грубого алеврита (25 %). В самом глубоком слое (10,30–10,31 м) преобладают очень мелкий песок (28 %) и очень грубый ил (23 %).

Содержание глинистой фракции с глубиной увеличивается: 0,94 % в слое 9,32–9,33 м, 1,68 % в слое 9,65–9,66 м, 3,71 % в слое 9,91–9,92 м. Максимальное ее содержание наблюдается в интервалах 10,03–10,04 и 10,15–10,16 м (13,36 и 14,52 % соответственно). Далее с глубиной происходит уменьшение содержания глинистой фракции до 6,71 % в интервале 10,30–10,31 м.

По гранулометрическому составу донных отложений озера Анашкино на интервале 9,32–10,31 м можно выделить пять интервалов (9,32–9,76 м, 9,76–9,97 м, 9,97–10,16 м, 10,16–10,20 м, 10,20–10,31 м), отличающихся режимом седиментации. Это указывает на изменение динамики и уровня воды в этот период истории развития озера.

На озере Ржаное в первом разрезе в точке с глубиной воды 2,00 м была отобрана колонка донных отложений, состоящая из 5 кернов. Этот разрез был использован для гранулометрического анализа. Мощность вскрытых отложений составляет 4,10 м. Отложения в нижней части разреза представлены песком с гравием, песком от мелкозернистого до крупнозернистого, перекрытыми глинистым слоистым алевритом. Визуально колонку донных отложений можно разделить на два интервала: осадки в интервале 2,50–6,16 м, представленные сапропелем, сформировавшимся в голоцене; осадки в интервале 6,16–6,60 м, сформировавшиеся в период изменения нивального климата на гумидный (табл. 3, рис. 2). Радиоуглеродное датирование проводилось для образцов донных отложений озера Ржаное – второй разрез, отобранных в точке с глубиной 1,7 м из колонки, состоящей из 3 кернов. Отложения в нижней части разреза представлены песком с гравием, песком от

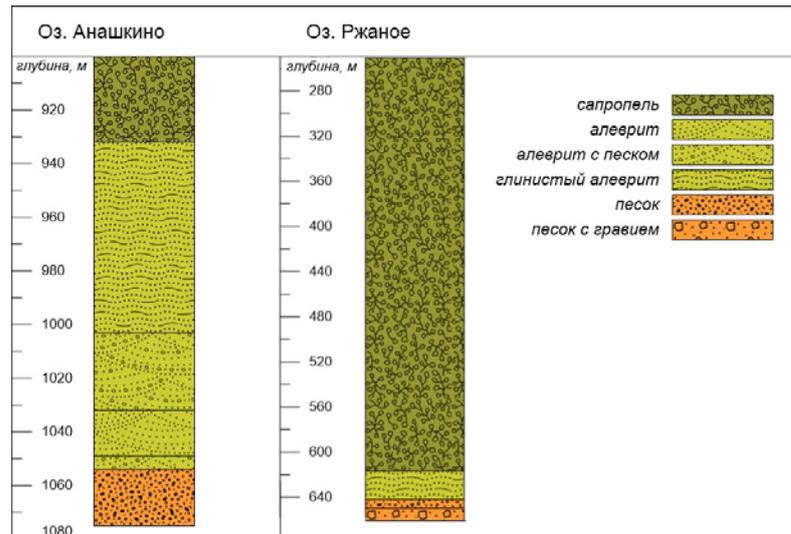


Рис. 2. Литологическая колонка донных отложений озера Анашкино и озера Ржаное  
Fig. 2. Lithological column of sediments from Lake Anashkino and Lake Rzhanoye

## Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

мелкозернистого до крупнозернистого, перекрытыми глинистым слоистым алевритом. Визуально колонку донных отложений можно разделить на два интервала: осадки в интервале 4,00–5,44 м, представленные сапропелем, сформировавшимся в голоцене; осадки в интервале 5,44–6,70 м, сформировавшиеся в период изменения нивального климата на гумидный (табл. 3). По литологическому составу и характеру залегания отложений данная колонка соответствует колонке, для которой осуществлялся гранулометрический анализ.

Таблица 3

Литостратиграфическое описание донных отложений озера Ржаное  
Lithostratigraphic description of Lake Rzhanoye sediments

№ разреза	Глубина, метры	Описание
1	2,50–4,25	гомогенный оливково-коричневый сапропель
1	4,25–5,36	гомогенный бурый сапропель
1	5,36–6,16	гомогенный темно-серый сапропель, нижний контакт постепенный
1	6,16–6,41	глинистый слоистый алеврит бежевого и светло-серого цвета (мощность около 1 см, толщина ритма 4 см), присутствуют прослои темно-серого цвета
1	6,41–6,49	тонкозернистый светло-коричневый песок
1	6,49–6,60	песок с гравием, от мелкозернистого до крупнозернистого, окатанный, несортированный
2	4,00–5,30	гомогенный бурый сапропель
2	5,30–5,44	опесчаненный бурый сапропель
2	5,44–5,50	серо-коричневый мелкозернистый песок
2	5,50–6,50	серый глинистый алеврит с прослоями розоватого песка и черными примазками органики
2	6,50–6,63	розовато-серый глинистый алеврит
2	6,63–6,70	розовый крупнозернистый песок с гравием

Гранулометрический анализ донных отложений озера Ржаное был выполнен для шестнадцати проб колонки 2,5–6,6 м. Процентное содержание фракций в каждой пробе приведено в табл. 5.

В интервалах 2,50–2,51 и 3,68–3,69 м преобладают фракции очень мелкого песка и очень грубого алеврита. На глубине 4,44–4,45 м отмечено практически одинаковое распределение между фракциями очень мелкого песка, очень грубого алеврита и грубого алеврита, происходит увеличение доли фракции среднего алеврита с 7 до 15 %. С глубины 4,87–4,88 м наблюдается увеличение доли фракции мелкого песка с 20,0 % в интервале 4,87–4,88 м до 28,2 % в интервале 5,36–5,37 м, 25,7 и 26,5 % в интервалах 5,63–5,64 и 5,70–5,71 м соответственно, затем следует снижение до 7,7 % в интервале 6,51–6,52 м.

С глубины 6,22–6,37 м происходит основное распределение донных отложений между шестью фракциями – от среднего песка до среднего алеврита. С глубины 6,37–6,52 м наблюдается существенное распределение донных отложений между фракциями от очень грубого алеврита до глины. В пробах на глубине 6,31–6,32 и 6,47–6,48 м преобладают фракции среднего и мелкого песка, 25,0 и 21,5 %, 41,2 и 28,6 % соответственно. Фракция глины представлена во всех образцах, кроме одного с глубины 6,31–6,32 м. С глубиной процент содержания фракции глины увеличивается: в слое 2,50–2,51 м – 0,8 %, в 4,87–4,88 м – 1,5 %, в 6,22–6,23 м – 4,5 %, в 6,37–6,38 м – 12,5 % до максимального на глубине 6,44–6,45 м – 15 %.

Самая глубокая часть разреза представлена несортированным песком средней окатанности с примесью мелкого щебня. Это может свидетельствовать о вскрытии в разрезе ледниковых отложений. По гранулометрическому составу донных отложений озера Ржаное на интервале 2,50–6,52 м можно выделить восемь периодов (2,50–4,45 м, 4,45–5,37 м, 5,37–6,23 м, 6,23–6,29 м, 6,29–6,32 м, 6,32–6,38 м, 6,38–6,45 м, 6,45–6,52 м), отличающихся режимом седиментации. Это указывает на изменение динамики и уровня воды в этот период развития озера.

Таблица 4

Фракционный состав донных отложений озера Анашкино  
Size-fraction composition of Lake Anashkino sediments

Фракция	Размер фракции, мм	Содержание фракции, %														
		9,32–9,33	9,48–9,49	9,65–9,66	9,75–9,76	9,91–9,92	9,96–9,97	10,03–10,04	10,15–10,16	10,19–10,20	10,30–10,31	10,48–10,49	10,65–10,66	10,75–10,76	10,91–10,92	10,96–10,97
очень грубый песок	1–2	0,11	0,02	0,10	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
грубый песок	0,5–1	5,58	1,72	2,14	6,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
средний песок	0,25–0,5	17,68	10,37	9,60	9,78	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,02	0,02
мелкий песок	0,125–0,25	21,77	20,03	16,88	11,82	5,08	1,13	0,31	0,56	3,78	5,86	11,82	11,82	3,78	5,86	5,86
очень мелкий песок	0,063–0,125	21,30	25,61	23,78	17,63	17,27	10,06	5,26	6,25	17,29	27,65	17,63	17,63	17,29	27,65	27,65
очень грубый алеврит	0,031–0,063	13,64	17,25	18,29	16,66	22,19	19,83	9,51	8,60	24,70	22,83	18,29	18,29	24,70	22,83	22,83
грубый алеврит	0,016–0,031	9,84	12,77	14,05	14,78	22,99	25,09	15,82	16,25	19,16	14,10	14,05	14,05	19,16	14,10	14,10
средний алеврит	0,008–0,016	6,37	7,89	9,23	11,90	18,30	23,27	23,25	23,14	13,60	10,70	9,23	9,23	13,60	10,70	10,70
мелкий алеврит	0,004–0,008	2,16	2,56	3,23	5,18	7,60	11,03	19,63	18,16	8,00	7,10	3,23	3,23	8,00	7,10	7,10
очень мелкий алеврит	0,002–0,004	0,61	0,71	1,02	1,94	2,86	4,53	12,87	12,50	5,59	5,02	1,02	1,02	5,59	5,02	5,02
глина	<0,002	0,94	1,06	1,68	2,54	3,71	5,06	13,36	14,52	7,80	6,71	1,68	1,68	7,80	6,71	6,71

Таблица 5

Фракционный состав донных отложений озера Ржаное  
Size-fraction composition of Lake Rzhanoye sediments

Фракция	Размер фракции, мм	Содержание фракции, %																																	
		2,50–2,51	3,68–3,69	4,44–4,45	4,87–4,88	5,63–5,64	5,70–5,71	6,22–6,23	6,28–6,29	6,30–6,31	6,31–6,32	6,37–6,38	6,39–6,40	6,44–6,45	6,47–6,48	6,51–6,52	7,59	6,99	11,10	19,99	25,72	26,51	18,93	11,09	10,68	8,96	25,00	0,40	0,85	1,26	41,15	0,67			
очень грубый песок	1–2	0,09	1,52	0,16	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
грубый песок	0,5–1	5,30	5,60	9,15	4,36	0,78	0,67	0,37	3,76	0,15	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
средний песок	0,25–0,5	7,59	6,99	2,79	5,79	9,02	14,57	16,34	10,68	8,96	25,00	0,40	0,85	1,26	41,15	0,67	7,59	6,99	11,10	19,99	25,72	26,51	18,93	11,09	10,68	8,96	25,00	0,40	0,85	1,26	41,15	0,67	7,59	6,99	
очень мелкий песок	0,125–0,25	12,62	12,86	11,10	19,99	28,18	26,51	18,93	11,09	10,68	8,96	25,00	0,40	0,85	1,26	41,15	0,67	12,62	12,86	11,10	19,99	28,18	26,51	18,93	11,09	10,68	8,96	25,00	0,40	0,85	1,26	41,15	0,67	12,62	12,86
очень грубый алеврит	0,063–0,125	25,17	25,70	16,67	22,78	25,29	21,39	16,48	14,82	9,06	11,97	7,88	8,54	5,35	11,04	9,97	25,17	25,70	16,67	22,78	25,29	21,39	16,48	14,82	9,06	11,97	7,88	8,54	5,35	11,04	9,97	25,17	25,70	16,67	22,78
очень грубый алеврит	0,031–0,063	23,71	22,34	16,98	17,30	14,40	13,69	11,04	16,61	7,19	5,38	6,88	5,34	2,01	1,77	13,18	23,71	22,34	16,98	17,30	14,40	13,69	11,04	16,61	7,19	5,38	6,88	5,34	2,01	1,77	13,18	23,71	22,34	16,98	17,30
грубый алеврит	0,016–0,031	15,60	15,44	16,54	13,34	11,23	11,22	10,24	17,99	12,16	5,96	11,32	8,58	8,15	0,00	17,92	15,60	15,44	16,54	13,34	11,23	11,22	10,24	17,99	12,16	5,96	11,32	8,58	8,15	0,00	17,92	15,60	15,44	16,54	13,34
средний алеврит	0,008–0,016	7,09	7,37	14,69	9,74	7,26	7,74	10,94	13,73	19,37	7,30	22,19	19,91	20,72	0,18	19,90	7,09	7,37	14,69	9,74	7,26	7,74	10,94	13,73	19,37	7,30	22,19	19,91	20,72	0,18	19,90	7,09	7,37	14,69	9,74
мелкий алеврит	0,004–0,008	1,78	1,91	5,80	3,40	2,29	2,46	7,05	5,69	14,07	7,50	18,26	18,58	19,62	1,91	12,76	1,78	1,91	5,80	3,40	2,29	2,46	7,05	5,69	14,07	7,50	18,26	18,58	19,62	1,91	12,76	1,78	1,91	5,80	3,40
очень мелкий алеврит	0,002–0,004	0,28	0,27	3,58	1,78	0,68	0,80	4,08	2,44	8,48	5,96	11,62	12,14	13,37	4,15	8,51	0,28	0,27	3,58	1,78	0,68	0,80	4,08	2,44	8,48	5,96	11,62	12,14	13,37	4,15	8,51	0,28	0,27	3,58	1,78
глина	<0,002	0,77	0,00	2,54	1,46	0,88	0,95	4,53	3,18	9,56	8,82	12,50	13,08	14,98	11,04	9,40	0,77	0,00	2,54	1,46	0,88	0,95	4,53	3,18	9,56	8,82	12,50	13,08	14,98	11,04	9,40	0,77	0,00	2,54	1,46

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

Графическое представление гранулометрического состава исследованных проб донных отложений озера Анашкино изображено на диаграммах кривых распределения размерных фракций на рис. 3 А и 3 Б и проб озера Ржаное – на рис. 4А, 4Б и 4В. Группировка фракций выполнена для лучшего представления общих закономерностей и выявления различий в графическом виде.

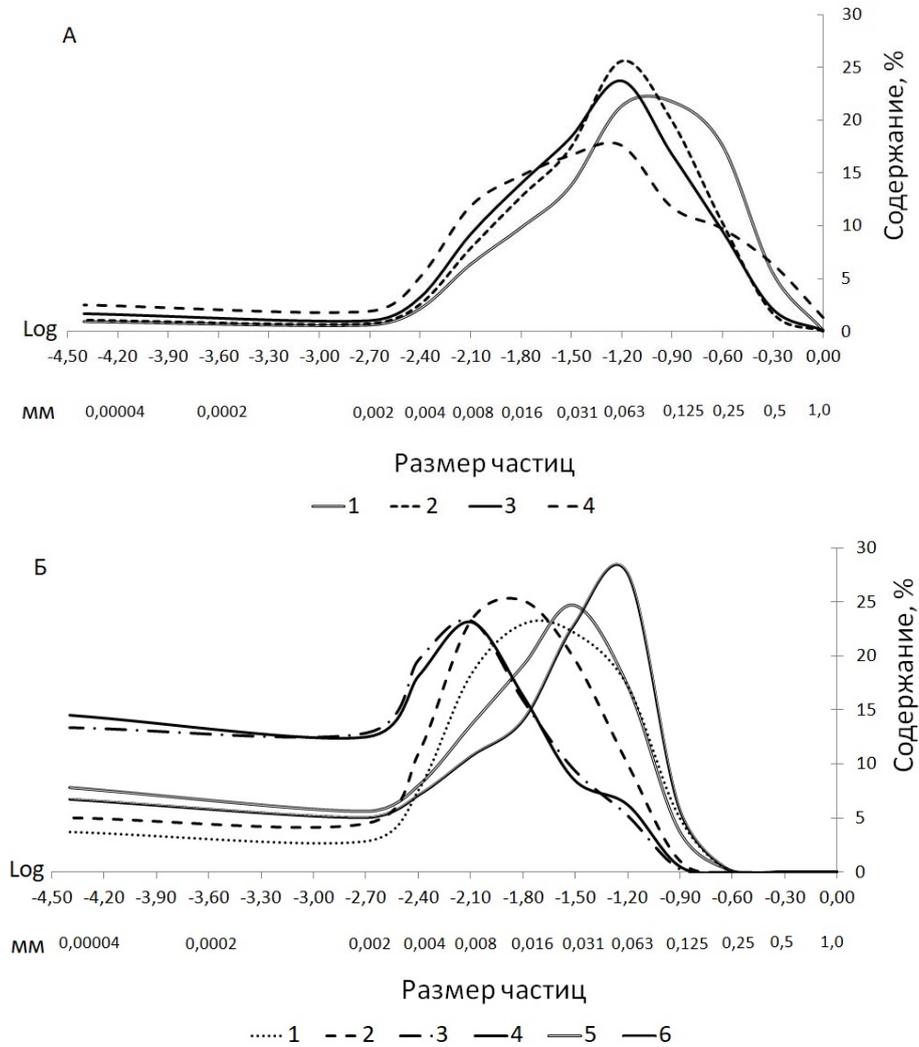


Рис. 3. Диаграмма кривых распределения размерных фракций донных отложений озера Анашкино:  
А – интервал отбора, м: 1) 9,32–9,33; 2) 9,48–9,49; 3) 9,65–9,66; 4) 9,75–9,76;  
Б – интервал отбора, м: 1) 9,91–9,92; 2) 9,96–9,97; 3) 10,03–10,04; 4) 10,15–10,16; 5) 10,19–10,20; 6) 10,30–10,31  
Fig.3. Diagram of size fraction distribution curves for Lake Anashkino sediments:  
А – sampling interval, m: 1) 9.32–9.33; 2) 9.48–9.49; 3) 9.65–9.66; 4) 9.75–9.76  
Б – sampling interval, m: 1) 9.91–9.92; 2) 9.96–9.97; 3) 10.03–10.04; 4) 10.15–10.16; 5) 10.19–10.20; 6) 10.30–10.31

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
 Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

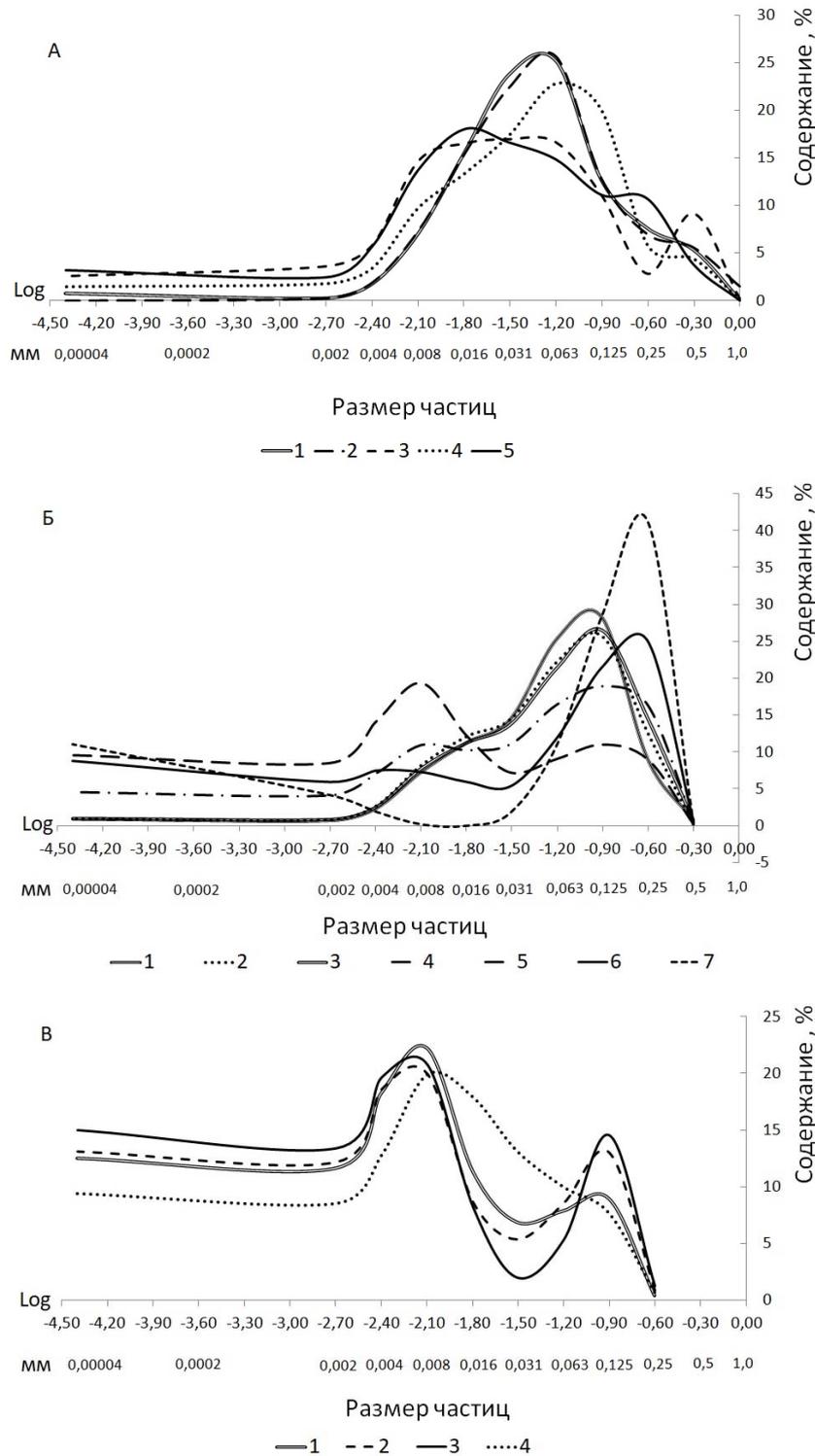


Рис. 4. Диаграмма кривых распределения размерных фракций донных отложений озера Ржаное:  
 А – интервал отбора, м: 1) 2,50–2,51; 2) 3,68–3,69; 3) 4,44–4,45; 4) 4,87–4,88; 5) 6,28–6,29;  
 Б – интервал отбора, м: 1) 5,36–5,37; 2) 5,63–5,64; 3) 5,70–5,71; 4) 6,22–6,23; 5) 6,30–6,31; 6) 6,31–6,32; 7) 6,47–6,48;  
 В – интервал отбора, м: 1) 6,37–6,38; 2) 6,39–6,40; 3) 6,44–6,45; 4) 6,51–6,52  
 Fig. 4. Diagram of size fraction distribution curves for Lake Rzhanoye sediments:  
 А – sampling interval, m: 1) 2.50–2.51; 2) 3.68–3.69; 3) 4.44–4.45; 4) 4.87–4.88; 5) 6.28–6.29;  
 Б – sampling interval, m: 1) 5.36–5.37; 2) 5.63–5.64; 3) 5.70–5.71; 4) 6.22–6.23; 5) 6.30–6.31; 6) 6.31–6.32; 7) 6.47–6.48;  
 В – sampling interval, m: 1) 6.37–6.38; 2) 6.39–6.40; 3) 6.44–6.45; 4) 6.51–6.52

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

Для расчета коэффициента сортировки ( $S_0$ ), коэффициента асимметрии ( $S_k$ ) и коэффициента крупности ( $K$ ) были построены кумулятивные кривые (рис. 5А и 5Б).

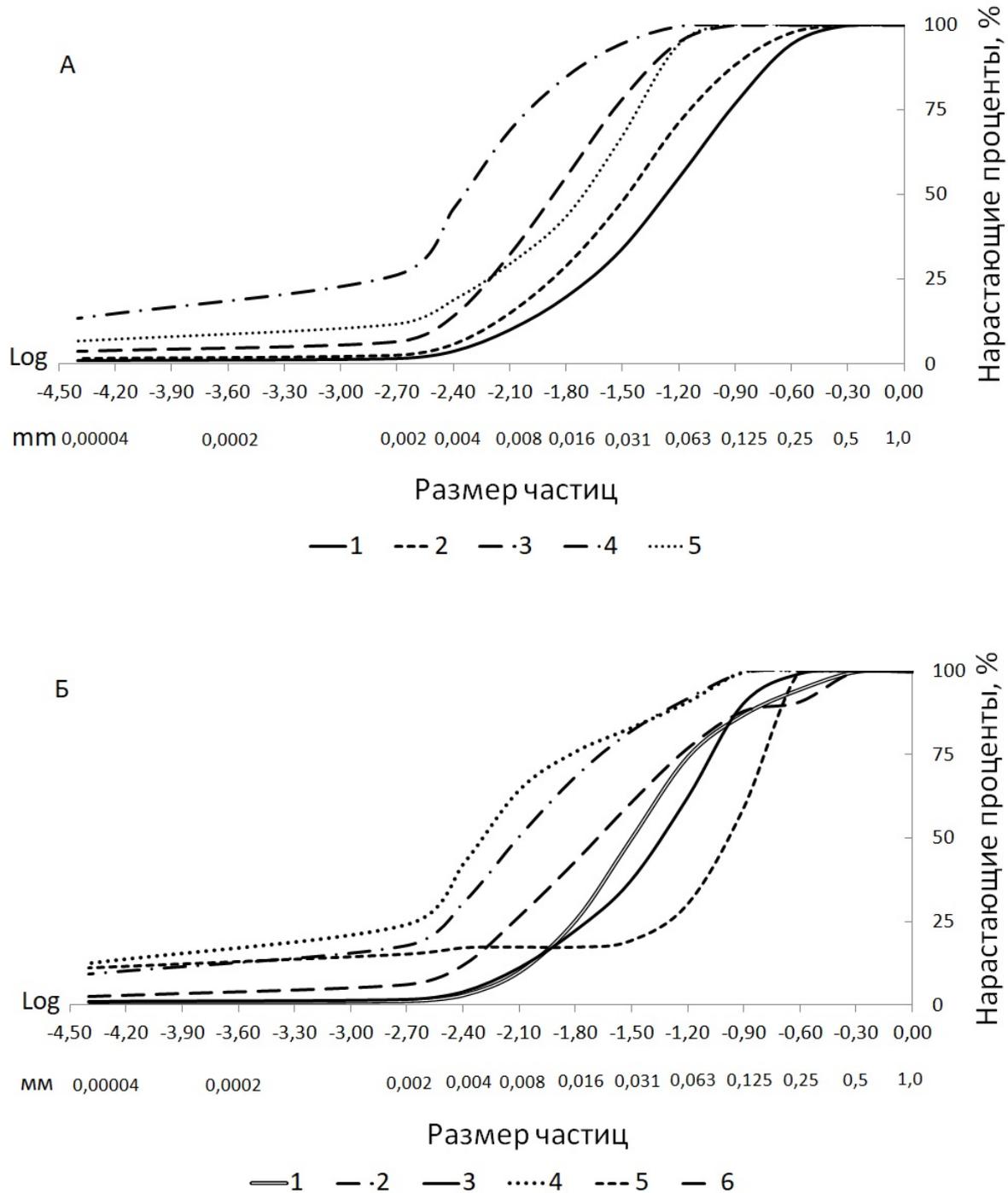


Рис. 5. Диаграмма кумулятивных кривых образцов проб донных отложений

А – озеро Анашкино: интервал отбора, м:

1) 9,32–9,33; 2) 9,65–9,66; 3) 9,91–9,92; 4) 10,03–10,04; 5) 10,30–10,31;

Б – озеро Ржаное: интервал отбора, м:

1) 2,50–2,51; 2) 4,44–4,45; 3) 5,36–5,37; 4) 5,37–5,38; 5) 6,47–6,48; 6) 6,51–6,52

Fig. 5. Diagram of cumulative curves for sediment samples

A – Lake Anashkino: sampling interval, m:

1) 9.32–9.33; 2) 9.65–9.66; 3) 9.91–9.92; 4) 10.03–10.04; 5) 10.30–10.31

Б – Lake Rzhanoye: sampling interval, m:

1) 2.50–2.51; 2) 4.44–4.45; 3) 5.36–5.37; 4) 5.37–5.38; 5) 6.47–6.48; 6) 6.51–6.52

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
 Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

Изученные донные отложения (9,32–10,32 м с озера Анашкино и 2,50–6,52 м с озера Ржаное), по классификации П. Траска [36], являются в основном плохо сортированными осадками (коэффициент сортировки  $S_0$  изменяется от 2,19 до 3,16 в озере Анашкино и от 2,29 до 4,84 в озере Ржаное). Пробы донных отложений интервалов 9,91–9,92 м ( $S_0 = 2,07$ ) и 9,96–9,97 м ( $S_0 = 2,04$ ) (рис. 9), интервалов 3,68–3,69 м ( $S_0 = 2,02$ ), 5,36–5,37 м ( $S_0 = 2,07$ ) и 6,47–6,48 м ( $S_0 = 1,78$ ) относятся к средне-сортированным осадкам. Один образец донных отложений озера Ржаное – хорошо отсортированные отложения (6,51–6,52 м,  $S_0 = 1,2$ ) (рис. 6А и 6Б).

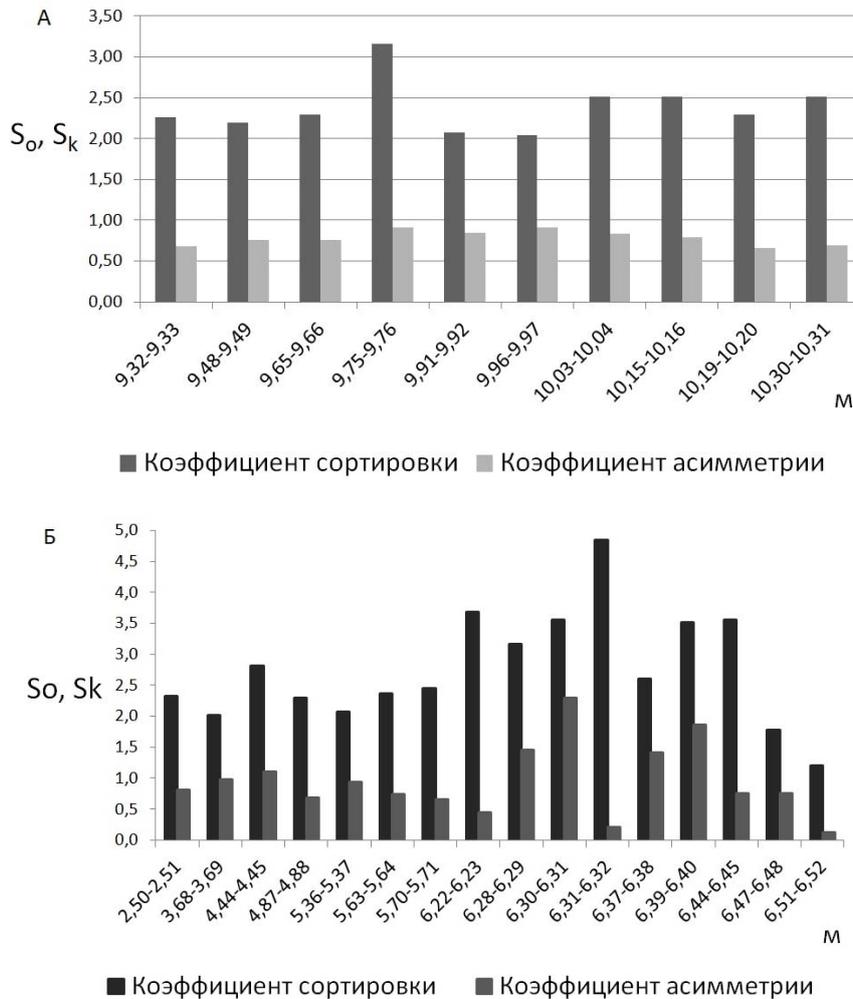


Рис. 6. Динамика коэффициента сортировки и коэффициента асимметрии донных отложений  
 А – озеро Анашкино; Б – озеро Ржаное  
 Fig. 6. Variations of the sorting coefficient and skewness of sediments  
 А– Lake Anashkino; Б– Lake Rzhanoye

Все исследованные пробы озера Анашкино и большая часть проб озера Ржаное характеризуются коэффициентом асимметрии меньше единицы, что свидетельствует о преобладании более крупной фракции в донных отложениях.

Согласно генетической диаграмме Р. Пассега [29], более древние осадки озера Анашкино (9,96–10,31 м) отлагались в условиях турбидитных потоков (рис. 7). Для условий накопления более молодых донных отложений (9,32–9,92 м) характерны течения с низкими скоростями.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

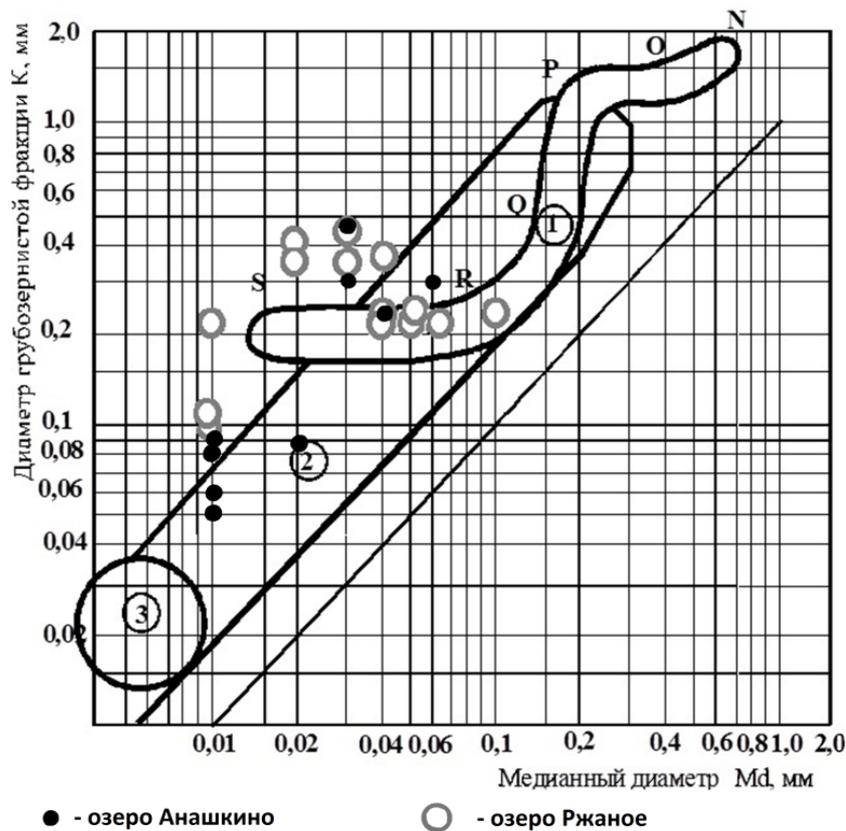


Рис. 7. Распределение проб донных отложений озера Анашкино и озера Ржаное на генетической диаграмме Р. Пассега:

- N/O – осадки перекатывания; O/P – осадки перекатывания с незначительным количеством осадков взвеси;  
P/Q – осадки взвеси с некоторым количеством осадков перекатывания (отложения течений с высокими скоростями);  
Q/R – отложения течений со средними скоростями; R/S – однородные осадки взвеси (отложения течений с низкими скоростями). 1. Отложения потоков; 2. Турбидитные отложения;  
3. Осадки, отложенные из взвеси в спокойных водах

Fig. 7. Distribution of sediment samples for Lake Anashkino and Lake Rzhanoye in a Passega's C-M plot: N/O sediments transported by rolling; O/P sediments transported by rolling with a minor amount of sediment transported as suspension; P/Q sediments transported as suspension with some contribution of sediments transported by rolling (deposited by high-velocity currents); Q/R sediments deposited by medium-velocity currents; R/S sediments transported as homogeneous suspension (deposited by low-velocity currents). 1. Tractive current deposits; 2. Turbidites; 3. Sediments deposited from suspension in still water.

Согласно генетической диаграмме Р. Пассега [29], при формировании донных осадков озера Ржаное (рис. 7) происходило чередование отложений потоков (5,36–6,23 м, 6,31–6,32 м, 6,47–6,48 м) и отложений течений с низкими скоростями (2,50–4,88 м, 6,28–6,29 м, 6,30–6,31 м, 6,37–6,45 м, 6,51–6,52 м).

Ниже представлены диаграммы распределения процентного содержания фракций в колонках донных отложений озер Анашкино (рис. 8А) и Ржаное (рис. 8Б). На диаграммах визуализировано распределение фракций по колонке отложений относительно глубины залегания (слева направо: от фракции очень грубого песка до фракции глины).

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
 Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

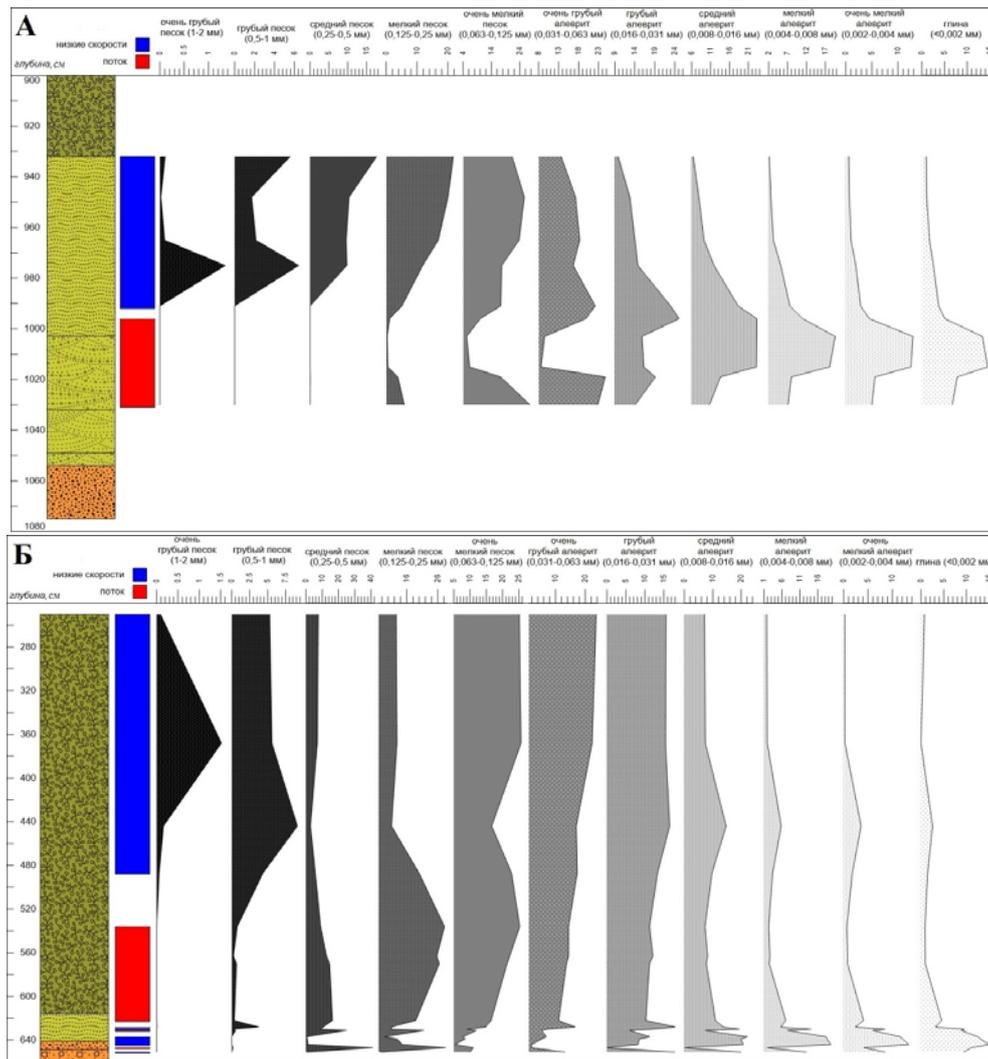


Рис. 8. Смена палеогидродинамических обстановок осадконакопления

А – озеро Анашкино: условия течений с низкими скоростями (интервал 9,32–9,92 м); условия турбидитных потоков (интервал 9,96–10,31 м); Б – озеро Ржаное: условия потоков, интервал, м: 1) 5,36–6,23; 2) 6,31–6,32; 3) 6,47–6,48; условия течений с низкими скоростями, интервал, м: 4) 2,50–4,88; 5) 6,28–6,29; 6) 6,30–6,31; 7) 6,37–6,45; 8) 6,51–6,52

Fig. 8. Changes of paleo-hydrodynamic sedimentation environments

A – Lake Anashkino: low-velocity currents environment (9.32–9.92 m interval); turbidity currents environment (9.96–10.31 m interval)

Б – Lake Rzhanoye: tractive currents environment, interval, m: 1) 5.36–6.23; 2) 6.31–6.32; 3) 6.47–6.48; low-velocity currents environment, interval, m: 4) 2.50–4.88; 5) 6.28–6.29; 6) 6.30–6.31; 7) 6.37–6.45; 8) 6.51–6.52

Для определения времени существования палеопролива, трассируемого современной системой малых озер, было проведено радиоуглеродное датирование образцов органического вещества из разреза донных отложений озера Ржаное. Образцы на датирование были выделены из колонки отложений мощностью 2,7 м (4,0–6,7 м), отобранной в точке с глубиной воды 1,7 м. Всего были получены две датировки отложений, сформировавшихся при определенных палеогидродинамических обстановках осадконакопления (табл. 1). Датировка 12743 календарных лет назад характеризует проточные условия и накопление терригенных осадков. Возраст 9349 календарных лет назад можно интерпретировать как обособление малого озера от основной акватории Онежского озера.

По результатам радиоуглеродного датирования определено время обособления озера Ржаное, связанное с падением уровня Онежского озера. Изоляция озера Ржаное произошла в конце пребореала. С бореального времени в озере накапливаются сапропели (рис. 9).

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

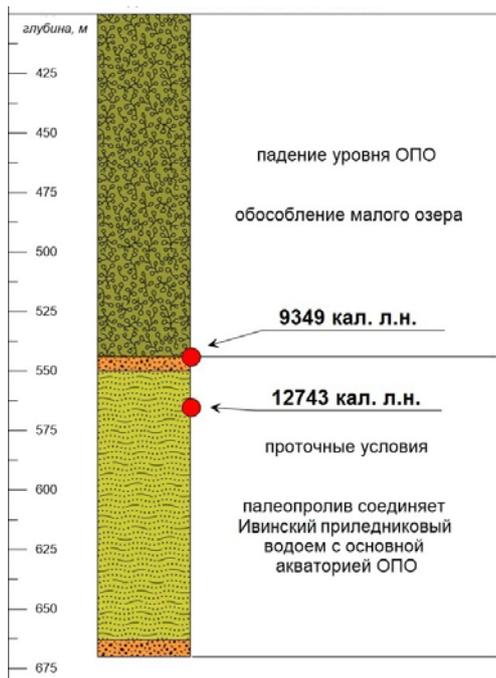


Рис. 9. Реконструкция условий формирования донных отложений озера Ржаное

Fig. 9. A reconstruction of Lake Rzhanoye sedimentation environments

## Выводы

В результате изучения гранулометрического состава донных отложений выявлены палеогидродинамические условия осадконакопления для озер Анашкино и Ржаное. Анализ гранулометрического состава позволил выделить чередование слоев с разной крупностью осадка относительно глубины залегания отложений.

В озере Анашкино донные отложения горизонта 9,96–10,31 м сформировались в высокодинамических условиях обмеления во время снижения уровня Онежского приледникового озера, отложения горизонта 9,32–9,92 м накапливались в условиях течений с низкими скоростями. Отложения озера Ржаное формировались при чередовании сильнопроточных (5,36–6,23 м, 6,31–6,32 м, 6,47–6,48 м) и слабопроточных условий (2,50–4,88 м, 6,28–6,29 м, 6,30–6,31 м, 6,37–6,45 м, 6,51–6,52 м), что, вероятно, связано с динамикой снижения уровня ОПО и формирования малых озер.

В процессе формирования донных отложений малых озер Шокшинской гряды в период изменения нивального климата на гумидный произошло не менее пяти смен динамических режимов вод в озере Анашкино и не

менее пяти в озере Ржаное.

По данным гранулометрического анализа донных отложений озер Анашкино и Ржаное можно сделать выводы о наличии в прошлом на исследуемой территории проточных условий. Севернее Шокшинской гряды располагался пролив, соединявший приледниковый водоем в районе Ивинской низменности с основной акваторией ОПО. Данный пролив существовал на стадии максимального развития ОПО.

Строение донных отложений и гранулометрический состав отражают историю перехода условий осадконакопления от крупного приледникового озера Онежского с сильными гидродинамическими условиями, а изученный район является зоной соединения основной акватории ОПО с его крупным заливом – Ивинским.

После регрессии ОПО, связанной с открытием более низкого порога стока, палеопролив прекратил свое существование, а на его месте сформировалась система малых реликтовых озер. По данным радиоуглеродного датирования, палеопролив севернее Шокшинской гряды существовал вплоть до конца пребореала.

## Список источников

1. Бабич В.В., Дарьин А.В., Калугин И.А., Маркович Т.И., Зыков В.В., Рогозин Д.Ю. Сезонная изменчивость седиментационных потоков в соленом меромиктическом озере Ши́ра (Хакасия) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 12. С. 22–34. doi: 10.18799/24131830/2021/12/3178
2. Безрукова Е.В., Тарасов П.Е., Кулагина Н.В., Абзаева А.А., Летунова П.П., Кострова С.С. Палинологическое исследование донных отложений озера Котокель: (район озера Байкал) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 4. С. 586–595.
3. Беляев П.Ю., Рыбалко А.Е., Субетто Д.А., Зобков М.Б., Фёдоров Г.Б. Четвертичные отложения и рельеф Онежского озера // Географический вестник = Geographicalbulletin. 2021. № 1(56). С. 6–16. doi: 10.17072/2079-7877-2021-6-16.
4. Бисёв Г.С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск, 1959. 307 с.
5. Величко А.А., Кременецкий К.В., Негенданк И. и др. Позднечетвертичная палеогеография северо-востока Европы (по данным комплексного изучения осадков Галичского озера) // Известия РАН. Серия географическая. 2001. № 3. С. 42–54.
6. Демидов И.Н. Донные отложения и колебания уровня Онежского озера в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С. 207–218.
7. Демидов И.Н. Деградация позднеледниковья оледенения в бассейне Онежского озера. // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 8. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. С. 134–142.
8. Демидов И.Н., Шелехова Т.С. Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространения, перспективы использования). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 89 с.

## Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

9. Каревская И.А., Панин А.В. Палеогеографические методы исследований. Реконструкция палеогеографических событий и этапов: учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2012. 200 с.
10. Коваль С.А., Войцеховский Г.В. Компьютерная обработка результатов гранулометрического анализа и их генетическая интерпретация. Воронеж: ВГУ, 2001. 35 с.
11. Козлов Е.А. Возможности анализа связи климат – осадконакопление для озер Беларуси в голоцене // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2. Химия. Биология. География. 2010. № 1. С. 81–86.
12. Лаврова Н.Б., Филимонова Л.В. Изучение палеогеографии Онежского озера и его бассейна в позднеледниковье и голоцене // Современные проблемы четвертичной геологии и географии Северо-Запада Европейской части России и сопредельных стран. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. С. 56–60.
13. Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д. Изменения уровня Онежского озера в позде-последнеледниковое время по данным изучения разреза озерно-болотных отложений острова Большого Клименецкого // Труды КарНЦ РАН. 2018. № 9. С. 103–114. doi: 10.17076/lim880
14. Макаров В.Н., Седельникова А.Л. Донные отложения озер г. Якутск как динамичная геокриолого-геохимическая система // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2022. Т. 27(3). С. 381–392. doi: 10.31242/2618-9712-2022-27-3-381-392
15. Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Бобров В.А., Кривоногов С.К. Геохимия сапропелей голоценовых разрезов из малых озер юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2019. 444 с. doi: 10.21782/B978-5-6041446-9-5.
16. Молчанов И.В. Онежское озеро. Л.: Гидрометеиздат, 1946. 208 с.
17. Назаров Н.Н., Тютякин Д.Г., Фролова И.В., Черепанов А.В. Факторы и условия дифференциации наносов в береговой зоне Камских водохранилищ // Географический вестник. 2011. № 4. С. 4–11.
18. Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям / Д.А. Субетто., Н.А. Белкина, В.Д. Страховенко и др.; отв. ред. Д.А. Субетто. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. 332 с.
19. Потахин М.С. Новые данные по морфологии озер Шокшинской гряды (юго-восточное Прионежье) // География: развитие науки и образования. СПб: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 2020. С. 152–156.
20. Пронина А.В., Греков И.М. Гранулометрический анализ верхнего яруса донных отложений озера Усвятское (Псковская область) // География: развитие науки и образования. СПб: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 2022. С. 195–198.
21. Синкевич Е.И., Экман И.М. Донные отложения озер восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1995. 177 с.
22. Страховенко В.Д., Росляков Н.А., Сысо А.И., Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю., Таран О.П., Пузанов А.В. Геохимическая характеристика сапропелей Новосибирской области // Водные ресурсы. 2016. Т. 43, № 3. С. 336–344. doi: 10.7868/S0321059616030160.
23. Субетто Д.А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции: монография. СПб: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 339 с.
24. Субетто Д.А., Прыткова М.Я. Донные отложения разнотипных водоемов. Методы изучения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. 89 с.
25. Субетто Д.А., Потахин М.С., Зобков М.Б., Тарасов А.Ю., Шелехова Т.С., Гурбич В.А. Развитие Онежского озера в послеледниковье по результатам ГИС-моделирования // Геоморфология. 2019. № 3. С. 83–90. doi: 10.31857/S0435-42812019383-90.
26. Шелехова Т.С., Слукковский З.И., Лаврова Н.Б. Методы исследования донных отложений озер Карелии. Петрозаводск: КарНЦРАН, 2020. 112 с.
27. Blott S.J., Pye K. Gradstat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2001. № 26. P. 1237–1248. doi: 10.1002/esp.261.
28. Hang T., Gurbich V., Subetto D., Strakhovenko V., Potakhin M., Belkina N., Zobkov M. A local clay-varve chronology of Onega Ice Lake, NW Russia. *Quaternary International*. 2019. Vol. 524. P. 13–23. doi: 10.1016/j.quaint.2019.03.021.
29. Passega R., Byramjee R. Grain-size image of clastic deposits. *Sedimentology*. 1969. Vol. 13, № 3–4. P. 233–252. doi: 10.1111/j.1365-3091.1969.tb00171.x.
30. Saarnisto M., Saarinen T. Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the Lake Onega Basin to the Salpausselka End Moraines. *Global and Planetary Change*. 2001. Vol. 31. P. 387–405. doi:10.1016/S0921-8181(01)00131-X.
31. Shala S., Helmens K.F., Jansson K.N., Kylander M.E., Risberg J., Löwemark L. Palaeoenvironmental record of glacial lake evolution during the early Holocene at Sokli, NE Finland. *Boreas*. 2014. Vol. 43. P. 362–376. doi: 10.1111/bor.12043.
32. Shichi K., Takahara H., Krivonogov S.K., Bezrukova E.V., Kashiwaya K., Takehara A., Nakamura T. Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate records from Lake Kotokel, central Baikal region. *Quaternary International*. 2009. Vol. 205. P. 98–110. doi:10.1016/j.quaint.2009.02.005.
33. Strakhovenko V., Subetto D., Hang T., Ovdina E., Danilenko E., Belkina N., Potakhin M., Zobkov M., Gurbich V. Mineral and geochemical composition of the Onega Ice Lake sediments. *BALTICA*. 2018. Vol. 31, No. 2. P. 165–172.
34. Strakhovenko V., Subetto D., Ovdina E., Danilenko I., Belkina N., Efremenko N., Maslov A. Mineralogical and Geochemical composition of Late Holocene bottom sediments of Lake Onego. *Journal of Great Lakes Research*. 2020. Vol. 46, Is. 3. P. 443–455. doi: 10.1016/j.jglr.2020.02.007.
35. Subetto D., Rybalko A., Strakhovenko V., Belkina N., Tokarev M., Potakhin M., Aleshin M., Belyaev P., Dubois N., Kuznetsov V., Korost D., Loktev A., Shalaeva N., Kiskina A., Kostromina N., Kublitskiy Y., Orlov A. Structure of Late Pleistocene and Holocene Sediments in the Petrozavodsk Bay, Lake Onego (NW Russia). *Minerals*. 2020. Vol. 10(11). 964 p. doi: 10.3390/min10110964.
36. Trask P.D. Origin and environment of source sediment of petroleum. Houston, 1932. 281 p.
37. Zobkov M., Potakhin M., Subetto D., Tarasov A. Reconstructing Lake Onego evolution during and after the Late Weichselian glaciation with special reference to water volume and area estimations. *Journal of Paleolimnology*. 2019. Vol. 62(1). P. 53–71. doi: 10.1007/s10933-019-00075-3.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

## References

1. Babich V.V., Dar'in A.V., Kalugin I.A., Markovich T.I., Zykov V.V., Rogozin D.Yu. (2021) Seasonal variability of sedimentary flows in the saline meromictic lake Shira (Khakassia), *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*, vol. 332, no. 12, pp. 22–34. doi: 10.18799/24131830/2021/12/3178
2. Bezrukova E.V., Tarasov P.E., Kulagina N.V., Abzaeva A.A., Letunova P.P., Kostrova S.S. (2011) Palynological study of bottom sediments of Lake Kotokel: (Lake Baikal region), *Geologiya i geofizika*, vol. 52, no. 4, pp. 586–595.
3. Belyaev P.Yu., Rybalko A.E., Subetto D.A., Zobkov M.B., Fedorov G.B. (2021) Quaternary deposits and geomorphological features of Lake Onega, *Geographical bulletin*, no. 1(56), pp. 6–16. doi:10.17072/2079-7877-2021-6-16
4. Biske G.S. (1959) Quaternary deposits and geomorphology of Karelia, Petrozavodsk, Russia.
5. Velichko A.A., Kremenetsky K.V., Negendank J. et al. (2001) Late Quaternary paleogeography of the northeast of Europe (according to the data of a comprehensive study of the sediments of Lake Galich), *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, no. 3, pp. 42–54.
6. Demidov I.N. (2004) Bottom sediments and fluctuations in the level of Lake Onega in the Late Glacial, *Geologiya i poleznye iskopayemye Karelii*, 7, pp. 207–218.
7. Demidov I.N. (2005) Degradation of the Late Valdai Glaciation in the basin of Lake Onega. *Geologiya i poleznye iskopayemye Karelii*, 8, pp. 134–142.
8. Demidov I.N., Shelekhova T.S. (2006) Diatomites of Karelia (formation and distribution patterns, prospective uses), Petrozavodsk, Russia.
9. Karevskaya I.A., Panina A.V. (2012) Paleogeographic research methods. Reconstruction of paleogeographic events and stages, [Teaching aid], Faculty of Geography, MSU, Moscow, Russia.
10. Koval' S.A., Voitsekhovskiy G.V. (2001) Computer processing of grain size analysis results and their genetic interpretation, Voronezh, Russia.
11. Kozlov E.A. (2010) Possibilities of analyzing the relationship between climate and sedimentation for Belarusian Lakes in the Holocene, *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2, Himiya. Biologiya. Geografiya*, no. 1, pp. 81–86.
12. Lavrova N.B., Filimonova L.V. (2017) Study of the Paleogeography of Lake Onega and Its Basin in the Late Glacial and Holocene, *Sovremennye problem chetvertichnoy geologii i geografii Severo-zapada Evropejskoj chaste Rossii i sopredel'nyh stran*, pp. 56–60.
13. Ludikova A.V., Kuznetsov D.D. (2018) Changes in the level of Lake Onega in the late-post-glacial period according to the study of the section of lacustrine-marsh deposits of Bolshoy Klimenetsky Island, *Trudy KarNC RAN*, no. 9, pp. 103–114. doi:10.17076/lim880
14. Makarov V.N., Sedelnikova A.L. (2022) Bottom sediments of Yakutsk lakes as a dynamic geocryological-geochemical system, *Arctic and Subarctic Natural Resources*, vol. 27(3), pp. 381–392. doi: 10.31242/2618-9712-2022-27-3-381-392.
15. Maltsev A.E., Leonova G.A., Bobrov V.A., Krivonogov S.K. (2019) Geochemistry of sapropels from Holocene sections from small lakes in the south of Western Siberia and Eastern Baikal region, Novosibirsk, Russia. doi: 10.21782/B978-5-6041446-9-5.
16. Molchanov I.V. (1946) Onega Lake, Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
17. Nazarov N.N., Tyunyatkin D.G., Frolova I.V., Cherepanov A.V. (2011) Factors and conditions of sediment differentiation in the coastal zone of the Kama reservoirs, *Geographical bulletin*, no. 4, pp. 4–11.
18. Paleolimnology of Lake Onega: from a periglacial lake to modern conditions: [collective monograph]: Subetto D.A., Belkina N.A., Strakhovenko V.D. et al. (2022) Petrozavodsk, Russia.
19. Potahin M.S. (2020) New data on the morphology of lakes in the Shoksha ridge (south-eastern Onega area), *Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya*, pp. 152–156.
20. Pronina A.V., Grekov I.M. (2022) Granulometric analysis of the upper core of the bottom sediments of Lake Usvyatskoye (Pskov region), *Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya*, pp. 195–198.
21. Sinkevich E.I., Ekman I.M. (1995) Bottom sediments of lakes in the eastern part of the Fennoscandian crystalline shield, Petrozavodsk, Russia.
22. Strakhovenko V.D., Roslyakov N.A., Syso A.I., Ermolaeva N.I., Zarubina E.Yu., Taran O.P., Puzanov A.V. (2016) Geochemical characteristics of sapropels in the Novosibirsk region, *Vodnye resursy*, vol. 43, no. 3, pp. 336–344. doi: 10.7868/S0321059616030160.
23. Subetto D.A. (2009) Lake sediments: paleolimnological reconstructions. Scientific monograph, Sankt-Peterburg, Russia.
24. Subetto D.A., Prytkova M.Ya. (2016) Bottom sediments of different types of reservoirs. Study methods, Petrozavodsk, Russia.
25. Subetto D.A., Potahin M.S., Zobkov M.B., Tarasov A.Yu., Shelekhova T.S., Gurbich V.A. (2019) Lake Onego development in the Late Glacial assessed with the use of GIS technologies, *Geomorfologiya*, no. 3, pp. 83–90.
26. Shelekhova T.S., Slukovsky Z.I., Lavrova N.B. (2020) Methods for studying bottom sediments of lakes in Karelia, Petrozavodsk, Russia.
27. Blott S.J., Pye K. (2001) Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments, *Earth Surface Processes and Landforms*, no. 26, pp. 1237–1248. doi: 10.1002/esp.261.
28. Hang T., Gurbich V., Subetto D., Strakhovenko V., Potahin M., Belkina N., Zobkov M. (2019) A local clay-varve chronology of Onega Ice Lake, NW Russia, *Quaternary International*, 524, pp. 13–23. doi: 10.1016/j.quaint.2019.03.021.
29. Passega R., Byramjee R. (1969) Grain-size image of clastic deposits, *Sedimentology*, vol. 13, no. 3–4, pp. 233–252. doi: 10.1111/j.1365-3091.1969.tb00171.x
30. Saarnisto M., Saarinen T. (2001) Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the Lake Onega Basin to the Salpausselka End Moraines, *Global and Planetary Change*, vol. 31, pp. 387–405. doi: 10.1016/S0921-8181(01)00131-X
31. Shala S., Helmens K.F., Jansson K.N., Kylander M.E., Risberg J., Löwemark L. (2014) Palaeoenvironmental record of glacial lake evolution during the early Holocene at Sokli, NE Finland, *Boreas*, vol. 43, pp. 362–376. doi: 10.1111/bor.12043.
32. Shichi K., Takahara H., Krivonogov S.K., Bezrukova E.V., Kashiwaya K., Takehara A., Nakamura T. (2009) Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate records from Lake Kotokel, central Baikal region, *Quaternary International*, vol. 205, pp. 98–110. doi: 10.1016/j.quaint.2009.02.005.
33. Strakhovenko V., Subetto D., Hang T., Ovdina E., Danilenko E., Belkina N., Potahin M., Zobkov M., Gurbich V. (2018) Mineral and geochemical composition of the Onega Ice Lake sediments, *BALTICA*, vol. 31, no. 2, pp. 165–172.

## Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.

34. Strakhovenko V., Subetto D., Ovdina E., Danilenko I., Belkina N., Efremenko N., Maslov A. (2020) Mineralogical and Geochemical composition of Late Holocene bottom sediments of Lake Onego, *Journal of Great Lakes Research*, vol. 46, Issue 3, pp. 443–455. doi: 10.1016/j.jglr.2020.02.007.

35. Subetto D., Rybalko A., Strakhovenko V., Belkina N., Tokarev M., Potakhin M., Aleshin M., Belyaev P., Dubois N., Kuznetsov V., Korost D., Loktev A., Shalaeva N., Kiskina A., Kostromina N., Kublitskiy Y., Orlov A. (2020) Structure of Late Pleistocene and Holocene Sediments in the Petrozavodsk Bay, Lake Onego (NW Russia), *Minerals*, 10 (11), 964 p. doi: 10.3390/min10110964

36. Trask P.D. (1932) Origin and environment of source sediment of petroleum. Houston.

37. Zobkov M., Potakhin M., Subetto D., Tarasov A. (2019) Reconstructing Lake Onego evolution during and after the Late Weichselian glaciation with special reference to water volume and area estimations, *Journal of Paleolimnology*, no. 62 (1), pp. 53–71. doi: 10.1007/s10933-019-00075-3.

Статья поступила в редакцию: 30.05.23, одобрена после рецензирования: 06.11.23, принята к опубликованию: 13.05.24.

The article was submitted: 30 May 2023; approved after review: 06 November 2023; accepted for publication: 13 May 2024.

## Информация об авторах

**Надежда Александровна Мясникова**

кандидат географических наук, младший научный сотрудник группы исследований донных отложений, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН; 185030, Россия, г. Петрозаводск, пр. Александра Невского, 50;

e-mail: nadezda\_myasnikova@mail.ru

**Александр Владимирович Орлов**

младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории рационального природопользования кафедры физической географии и природопользования факультета географии, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена; 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, 48;

младший научный сотрудник группы исследований донных отложений, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН; 185030, Россия, г. Петрозаводск, пр. Александра Невского, 50

e-mail: 95orlov@rambler.ru

**Максим Сергеевич Потахин**

кандидат географических наук, старший научный сотрудник группы исследований донных отложений, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН; 185030, Россия, г. Петрозаводск, пр. Александра Невского, 50;

старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории рационального природопользования кафедры физической географии и природопользования факультета географии, Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена; 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, 48;

доцент, Петрозаводский государственный университет; 185910, Россия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

e-mail: mpotakhin@mail.ru

**Дмитрий Александрович Субетто**

доктор географических наук, доцент, декан факультета географии, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена; 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, 48

e-mail: subetto@mail.ru

## Information about the authors

**Nadezda A. Myasnikova**

Candidate of Geographical Sciences, Junior Researcher, Bottom sediments research group, Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 50, prospect Aleksandra Nevskogo, Petrozavodsk, 185030, Russia

**Alexander V. Orlov**

Junior Researcher, Laboratory of Rational Nature Management, Department of Physical Geography and Nature Management, Faculty of Geography, Herzen University;

48, Moika Embankment, St. Petersburg, 191186, Russia;

Junior Researcher, Bottom sediments research group, Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 50, prospect Aleksandra Nevskogo, Petrozavodsk, 185030, Russia

**Maxim S. Potakhin**

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Bottom sediments research group, Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences; 50, prospect Aleksandra Nevskogo, Petrozavodsk, 185030, Russia;

Senior Researcher, Laboratory of Rational Nature Management, Department of Physical Geography and Nature Management, Faculty of Geography, Herzen University;

48, Moika Embankment, St. Petersburg, 191186, Russia;

Associate Professor, Petrozavodsk State University; 33, Lenina st., Petrozavodsk, 185910, Russia

**Dmitry A. Subetto**

Doctor of Geographical Sciences, Dean of the Faculty of Geography, Herzen University;

48, Moika Embankment, St. Petersburg, 191186, Russia

---

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология*  
*Мясникова Н.А., Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А.*

***Вклад авторов***

Мясникова Н.А. – идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста.

Орлов А.В. – сбор материала, обработка материала, написание статьи.

Потахин М.С. – сбор материала, обработка материала, научное редактирование текста.

Субетто Д.А. – идея, сбор материала, обработка материала, научное редактирование текста.

***Конфликт интересов.*** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

***Contribution of the authors***

Nadezda A. Myasnikova – the idea; material collection; data processing; writing of the article; scientific editing of the text.

Alexander V. Orlov – material collection; data processing; writing of the article.

Maxim S. Potakhin – material collection; data processing; scientific editing of the text.

Dmitry A. Subetto – the idea; material collection; data processing; scientific editing of the text.

***Conflict of interest.*** The authors declare no conflict of interest.