

Научная статья

УДК 550.93:552.58(470.23)

doi:10.52349/0869-7892_2025_104_57-68

**К вопросу о возрасте
органогенных отложений разреза
«Ленэнерго» (юго-восточное Приладожье)****А. П. Фоменко¹⁻³✉, А. О. Аксенов^{1, 2, 4},
В. Ю. Кузнецов^{1, 5}, А. Ю. Петров¹, Л. А. Савельева¹**¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия² Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,
fomenko.antonina@gmail.com✉³ Ботанический институт им. В. Л. Комарова Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия⁴ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, Россия⁵ Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия**Ключевые слова:** река Оять, голоцен, торф, гиттия, спорово-пыльцевой анализ, радиоуглеродное датирование, Ладожская трансгрессия**Финансирование:** часть исследований выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-27-00273 «Оценка темпов снижения уровня Ладожского озера за последние 3000 лет по результатам абсолютного датирования береговых форм рельефа».**Для цитирования:** К вопросу о возрасте органогенных отложений разреза «Ленэнерго» (юго-восточное Приладожье) / А. П. Фоменко [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 4. С. 57–68. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_104_57-68

Аннотация. Разрез «Ленэнерго», расположенный в юго-восточном Приладожье на левом берегу р. Оять, играет ключевую роль в изучении голоценовых трансгрессий Ладожского озера. Возникшая неопределенность возрастных данных для органогенных отложений, приведенных в ранее опубликованных материалах, объясняет необходимость его повторного детального изучения комплексом палеогеографических методов. В статье представлены литологическая характеристика разреза, а также результаты детального спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования торфа и гиттии. Накопление органогенных отложений происходило в интервале от 8900 ± 150 ^{14}C л. н. (9960 ± 210 кал. л. н.) до 3530 ± 80 ^{14}C л. н. (3810 ± 110 кал. л. н.). В пребореальном периоде на территории накапливался торф, был распространен разреженный растительный покров. В бореальное время происходила аккумуляция гиттии, возраст которой датируется 8420 ± 90 ^{14}C л. н. (9400 ± 100 кал. л. н.), а на окружающей территории доминировали сосново-березовые леса. На рубеже бореального и атлантического периодов зафиксирован перерыв в осадконакоплении продолжительностью не менее 3500 лет. Накопление гиттии продолжилось в условиях палеолагуны Ладожского озера в течение атлантического и суббореального периодов — от 4880 ± 200 ^{14}C л. н. (5610 ± 250 кал. л. н.) до 3530 ± 80 ^{14}C л. н. (3810 ± 110 кал. л. н.). Господствовали сосново-елово-березовые леса с примесью широколиственных пород. Для полной характеристики условий осадконакопления в юго-восточном Приладожье в течение голоцена представляется перспективным привлечение методов диатомового анализа и геохимических исследований.

Original article

UDC 550.93:552.58(470.23)

doi:10.52349/0869-7892_2025_104_57-68

© Фоменко А. П., Аксенов А. О.,
Кузнецов В. Ю., Петров А. Ю.,
Савельева Л. А., 2025**Age of organic-rich deposits
in the Lenenergo section
(southeastern Lake Ladoga region)****A. P. Fomenko¹⁻³✉, A. O. Aksenov^{1, 2, 4},
V. Yu. Kuznetsov^{1, 5}, A. Yu. Petrov¹, L. A. Savelieva¹**¹ Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia² All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia, fomenko.antonina@gmail.com✉

³ Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

⁴ Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

⁵ The Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia

Keywords: Oyat River, Holocene, peat, gyttja, pollen analysis, radiocarbon dating, Ladoga transgression

Funding: the Russian Science Foundation partly supported the research "Decline rate assessment of the Lake Ladoga level in the last 3,000 years after the coastal landform absolute dating" (project no. 23-27-00273).

For citation: Age of organic-rich deposits in the Lenenergo section (southeastern Lake Ladoga region) / A. P. Fomenko [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (4): 57–68. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_104_57-68

Abstract. The Lenenergo section located on the Oyat River left bank in the southeastern Lake Ladoga region is critical for studying the Holocene transgressions of Lake Ladoga. Uncertainty in the previously published organic-rich deposits age data substantiates the use of paleogeographic methods to reexamine them. The article presents lithological characteristics of the section as well as results of detailed pollen analysis and radiocarbon dating of peat and gyttja. The organic-rich deposits accumulation occurred from $8,900 \pm 150^{14}\text{C}$ yrs BP ($9,960 \pm 210$ cal BP) to $3,530 \pm 80^{14}\text{C}$ yrs BP ($3,810 \pm 110$ cal BP). On the territory, the Preboreal period marked peat accumulation and sparse vegetation cover. Gyttja, whose age was $8,420 \pm 90^{14}\text{C}$ yrs BP ($9,400 \pm 100$ cal BP), accumulated during the Boreal period and was characterized by dominance of pine and birch forests in the environment. The sedimentation hiatus lasting at least 3,500 years was revealed at the turn of the Boreal and Atlantic periods. Gyttja accumulation continued in the conditions of the Lake Ladoga paleolagoon during the Atlantic and Subboreal periods from $4,880 \pm 200^{14}\text{C}$ yrs BP ($5,610 \pm 250$ cal BP) to $3,530 \pm 80^{14}\text{C}$ yrs BP ($3,810 \pm 110$ cal BP). Pine, spruce, and birch forests with an admixture of broad-leaved species dominated. Diatom analysis and geochemical studies are projected to fully characterize sedimentation conditions in the southeastern Lake Ladoga region during the Holocene.

ВВЕДЕНИЕ

Разрез «Ленэнерго» расположен в юго-восточном Приладожье на левом берегу р. Оять близ д. Оятский участок (ранее п. Ленэнерго, п. Свирьстрой, п. Линии Свирьстроя) (рис. 1). Он хорошо известен и неоднократно изучался в связи с уточнением палеогеографической обстановки археологических памятников южного Приладожья и установлением возраста Ладожской трансгрессии [1–14]. Его характерной особенностью является наличие относительно мощного слоя органогенных отложений (гиттия, торф), которые подстилаются песками и глинами верхне-неоплейстоценовых бассейнов, а перекрываются верхнеголоценовыми песками максимальной фазы поднятия уровня во время Ладожской трансгрессии [5; 6; 15]. Таким образом, органогенная толща выступает в качестве геологического маркера при стратификации отложений послеледниковья. Следовательно, точное определение возраста формирования данного слоя является актуальной задачей при изучении четвертичных отложений и истории южного Приладожья.

По-видимому, впервые разрез был обнаружен и описан К. К. Марковым в 1930-х гг., однако полученные им материалы не сохранились [15; 16]. Первое описание разреза и результаты спорово-пыльцевого анализа приведены в работе Г. Н. Лисицыной [5]. В расчистке мощностью ~11 м были вскрыты органогенные отложения, представленные плотным, хорошо разложившимся торфом мощностью 0,62 м. Он подстилается и перекрыт песчано-глинистыми образованиями. По результатам спорово-пыльцевого анализа, выполненного через каждые 10 см, торф сформировался в бореально-атлантическое время голоцена. По образцу из кровли торфа (с глубины

4,3 м от дневной поверхности), предоставленному Г. Н. Лисицыной, получен радиоуглеродный возраст $7970 \pm 260^{14}\text{C}$ л. н. (8880 ± 310 кал. л. н.) [9]. Скорее всего, датированный образец был взят из разреза, изученного в 1961 г. Это значение возраста торфа использовалось и в других работах при палеогеографических реконструкциях, но без привязки к абсолютной отметке высоты [7; 8]. В дальнейшем эта дата указывается как полученная из кровли торфа [6], а в другой работе [3] — из подошвы торфа. Б. И. Кошечкин и И. М. Экман [4], описывая формирование болотных и озерных отложений на берегах Ладожского озера, приводят две датировки — $7970 \pm 260^{14}\text{C}$ л. н. (8880 ± 310 кал. л. н.) и $7960 \pm 230^{14}\text{C}$ л. н. (8860 ± 280 кал. л. н.) — как наиболее древние, полученные в разрезе у п. Ленэнерго на р. Оять на отметке 9,1 м абс. высоты. Это обстоятельство внесло еще большую путаницу в привязке этих дат к толще органогенных отложений разреза. Лабораторные номера этих двух датировок ни в первой, ни в последующих публикациях не приводятся, поэтому проверить их в архивах лаборатории, где они были получены, не представляется возможным.

В 1990 г. была опубликована датировка по обломку древесины из основания горизонта гиттии и торфа мощностью 0,65 м — $5490 \pm 40^{14}\text{C}$ л. н. (6290 ± 50 кал. л. н.) [2]. В публикации И. В. Делюсиной [12] эта же датировка соотносится с подошвой гиттии, а по результатам спорово-пыльцевого анализа органогенной толщи, выполненного с разрешением 10–30 см, отложения формировались в суббореальное время. Позднее в этом же месте разрез был изучен вновь с целью выявления влияния гидрологических изменений на расселение человека в Приладожье. Из подошвы горизонта

торф–гиттия–торф мощностью 0,9 м получен возраст 5860 ± 70 ^{14}C л. н. (6670 ± 90 кал. л. н.) [1; 13; 14].

Таким образом, в разрезе «Ленэнерго» вскрываются органогенные отложения, представленные торфом, гиттией или торфом с гиттией; их мощности варьируют, а результаты палинологических исследований не коррелируют с результатами радиоуглеродного анализа. Нет четкой ясности и в вопросе о возрастном интервале формирования органогенных отложений, а также об условиях окружающей среды времени их накопления. Это связано как с отсутствием четкой привязки границ отложений к абсолютным отметкам и достаточного количества радиоуглеродных датировок, так и с недостатком

детальных результатов микропалеонтологических исследований. При этом разрез является важным объектом для восстановления сложной гидродинамической обстановки конца позднего неоплейстоцена — начала голоцена, а также для реконструкции природной среды в период времени, непосредственно предшествующего началу Ладожской трансгрессии на территории юго-восточного Приладожья. С этой целью в настоящей работе приводятся новые данные о возрасте и условиях формирования органогенной толщи разреза «Ленэнерго», полученные методами радиоуглеродного датирования и детального спорово-пыльцевого анализа.

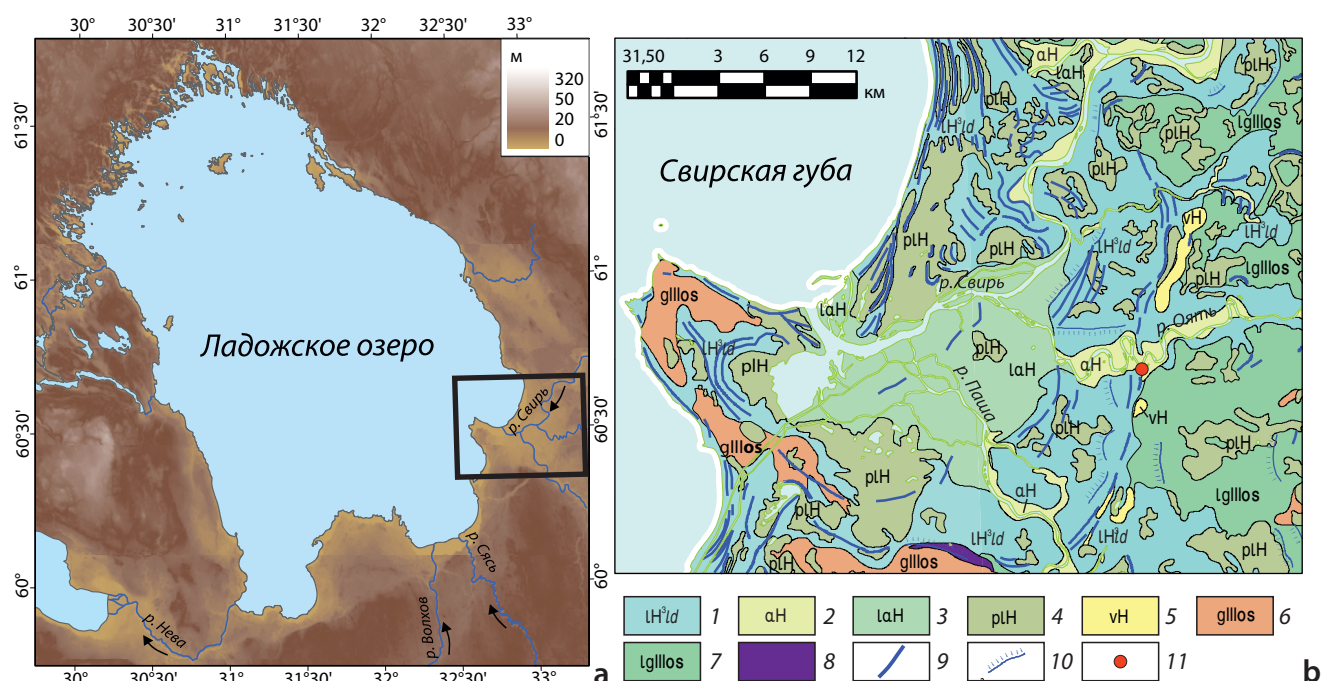


Рис. 1. Местоположение разреза «Ленэнерго»

a — район проведения полевых работ, цифровая модель рельефа, разрешение 30 м^{1*}; **b** — фрагмент карты четвертичных образований масштаба 1 : 200 000 листов Р-36-XXXIII, XXXIV: 1 — озерные образования Ладожской трансгрессии, 2 — голоценовые аллювиальные образования, 3 — голоценовые озерно-аллювиальные образования, 4 — голоценовые болотные образования, 5 — голоценовые эоловые образования, 6 — ледниковые отложения осташковского горизонта верхнего неоплейстоцена, 7 — ледниково-озерные образования осташковского горизонта верхнего неоплейстоцена, 8 — дочетвертичные образования, 9 — береговые валы, бары, 10 — абразионные уступы, 11 — местоположение разреза «Ленэнерго-2019»

Источник: **b** — по С. Д. Шведову^{2*}

Fig. 1. Location of the Lenenergo section

a — field work area, digital relief model, resolution of 30 m^{1*}; **b** — fragment of the Quaternary Formations map at a scale of 1 : 200,000, P-36-XXXIII, XXXIV sheets: 1 — lacustrine deposits of the Ladoga transgression, 2 — Holocene alluvium, 3 — Holocene limnoalluvium, 4 — Holocene palustrian deposits, 5 — Holocene aeolian deposits, 6 — glacial deposits of the Upper Pleistocene Ostashkov Horizon, 7 — glaciolacustrine deposits of the Upper Pleistocene Ostashkov Horizon, 8 — Pre-Quaternary deposits, 9 — longshore bars, bars, 10 — erosion scarps, 11 — Lenenergo section-2019 location

Source: **b** — from S. D. Shvedov^{2*}

^{1*} Hawker L., Neal J. FABDEM V1-0. Дата обновления: 17.12.2021. URL: <https://doi.org/10.5523/bris.25wfy0f9ukoge2gs7a5mqpq2j7> (дата обращения: 06.08.2025).

^{2*} Шведов С. Д. ГДП-200 листов Р-36-XXXIII, XXXIV (Южно-Ладожская площадь). Отчет по Государственному контракту № К.41.2013.002 от 22.04.2013 // ФБУ «ТФГИ по СЗФО». № 520303.

^{1**} Hawker L., Neal J. FABDEM V1-0. Revision date: 17.12.2021. URL: <https://doi.org/10.5523/bris.25wfy0f9ukoge2gs7a5mqpq2j7> (accessed 06.08.2025).

^{2**} Shvedov S. D. Additional site appraisal (scale of 1 : 200,000), P-36-XXXIII, XXXIV sheets (South Ladoga area). Government contract report no. K.41.2013.002 dated 22.04.2013. Territorial Geological Data Bank in North-West Federal District. No. 520303.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Группа разрезов «Ленэнерго» расположена в Пашско-Оятском междуречье юго-восточного Приладожья, на левом берегу р. Оять (рис. 1, а). В геоморфологическом отношении это обнажение представляет собой эрозионный уступ на левом берегу р. Оять, выполненный в отложениях террасированной равнины Ладожской трансгрессии (вторая терраса по К.К. Маркову [15]). Поверхность равнины полого наклонена с юго-востока на северо-запад в сторону Ладожского озера, максимальные отметки абсолютной высоты достигают 15–17 м. Она осложнена береговыми валами, вытянутыми параллельно современной береговой линии, с относительной высотой около 1–2 м. В межваловых понижениях формируются торфяники.

Дочетвертичные образования представлены вендскими, рифейскими и девонскими породами осадочного чехла Восточно-Европейской платформы [17]. Четвертичный покров сложен ледниковыми, флювиогляциальными, ледниково-озерными и эоловыми отложениями верхнего неоплейстоцена, а также озерными, лимноаллювиальными, аллювиальными и болотными отложениями голоцена [18] (рис. 1, б). В погребенных палеодолинах встречаются более древние отложения нижнего, среднего и верхнего неоплейстоцена [19]. Характерной особенностью района исследования является наличие погребенных органогенных отложений нижнего и среднего голоцена, представленных торфом и гиттией [10; 15].

Регион входит в подзону средней тайги, в которой доминируют сосновые лишайниковые и зеленомошные и елово-сосновые леса. В растительном покрове проявляются черты подзоны южной тайги — примесь широколиственных пород, а также наличие черноольховых топей [20]. Широко развиты болота различной трофности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2019 г. в рамках учебной научно-исследовательской практики по четвертичной геологии и геоморфологии Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета разрез «Ленэнерго» был вновь изучен. На левом берегу р. Оять, непосредственно под линиями электропередач, в береговом обрыве с абсолютной высотой бровки ~14 м, был вскрыт и описан разрез «Ленэнерго-2019» (60°27'45,4" с. ш., 33°11'33,3" в. д.). Относительная высота обнажения определена визуально от уреза воды и составила ~8 м, а затем привязана к абсолютной высоте уреза воды р. Оять, снятой с топографической карты. После зачистки обнажения были выполнены литологическое описание и фотодокументация разреза (рис. 2, а, 3). Затем произведен отбор образцов на радиоуглеродный и спорово-пыльцевой анализы в полиэтиленовые пакеты.

Методом спорово-пыльцевого анализа изучено 50 образцов с интервалом от 2 до 6 см не только из органогенной толщи, но и из подстилающих и перекрывающих ее отложений. Предварительная химическая

подготовка проб выполнена с применением методики, включающей обработку 10-процентным раствором соляной кислоты (HCl), затем 10-процентным раствором щелочи (NaOH), а также плавиковой кислотой (HF) для образцов, содержащих минеральные частицы [22]. Масса каждого образца составила 1–2 г. Для определения концентрации пыльцы в каждый образец были добавлены таблетки, содержащие споры *Lycopodium* [23]. Спорово-пыльцевая диаграмма (рис. 3) построена с помощью пакета программ Tilia/TiliaGraph/TGView¹. Процентное содержание каждого пыльцевого и спорового таксона рассчитано от суммы пыльцы наземных растений, за исключением водных. В каждом образце подсчитано в среднем от 150 до 450 пыльцевых зерен, за исключением нескольких образцов, отобранных из подстилающих и перекрывающих органогенные отложения песков. Определение пыльцы и спор проводилось с использованием атласов [24–27] и постоянной коллекции современной пыльцы Санкт-Петербургского государственного университета.

Методом радиоуглеродного анализа изучено 6 образцов органического материала, отобранных из подошвы, средней части и кровли гиттии, а также из прослая торфа. Определение радиоуглеродного возраста проведено с использованием жидкостного сцинтилляционного метода [28]. Значения календарного возраста получены на основании калибровочной программы OxCal 4.4² с применением калибровочной кривой IntCal20 [29]. Все прямые конвенционные датировки, используемые в данной работе из опубликованных источников, откалиброваны с использованием этой же кривой.

Палинологические исследования и радиоуглеродный анализ выполнены в лаборатории «Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана им. В.П. Кёппена» Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Литологическое описание. Мощность вскрытых в 2019 г. отложений составила 8,1 м. Снизу вверх от уреза р. Оять с абсолютной отметкой 6 м вскрыты следующие слои (рис. 2, а, 1):

- 1) 6,00–6,60 м — ленточные глины серо-коричневые с мощностью алевролитовых слоев 1–2 мм;
- 2) 6,60–7,50 м — пески мелкозернистые коричневатые-серые, слоистость неявная, верхний контакт несогласный, маркируется ожелезнением;
- 3) 7,50–10,00 м — пески крупнозернистые бежево-серые, в верхних 0,5 м наблюдается троговая слоистость, верхний контакт несогласный, со следами размыва;
- 4) 10,00–10,03 м — торф черный, хорошо разложившийся, верхний контакт несогласный, со следами размыва;

¹ Grimm E. C. TGView. Version 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum, Research and Collections Center, 2004.

² OxCal. Version 4.4. URL: <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html#> (дата обращения: 06.08.2025).

5) 10,03–10,09 м — гиттия темно-серая с примесью песков, слоистость тонкая горизонтальная, в нижней части включения обломков древесины, верхний контакт несогласный, со следами размыва;

6) 10,09–10,16 м — мелкозернистые бежево-серые пески с растительным детритом, количество которого уменьшается вверх по разрезу, горизонт размыва;

7) 10,16–10,87 м — гиттия, цвет меняется от светло-серого до серо-коричневого, волнисто- и горизонтально-слоистая, на 9,79–9,80 м прослой хорошо разложившегося аллохтонного торфа, верхний контакт несогласный, со следами размыва;

8) 10,87–11,70 м — переслаивание мелкозернистых песков бежево-серых и серых алевроитов с горизонтальной и волнистой слоистостью, на 10,04–10,08 м прослой растительного детрита, верхний контакт согласный, постепенный;

9) 11,70–12,20 м — пески мелкозернистые бежево-серые с фазерной слоистостью, наблюдаются линзы и прослои аллохтонного торфа, верхний контакт резкий, несогласный;

10) 12,20–13,30 м — пески мелкозернистые светло-серые косослоистые, верхний контакт несогласный, со следами размыва;

11) 13,30–13,90 м — пески мелкозернистые светло-серые с перекрестной слоистостью;

12) 13,90–14,10 м — почва.

Таким образом, органогенные отложения вскрыты в интервале от 10,00 до 10,87 м абс. высоты, а их мощность составила 0,87 м. В тексте статьи обсуждается формирование только тех отложений, для которых выполнены спорово-пыльцевой анализ и радиоуглеродное датирование, то есть в интервале глубин от 9,95 до 10,89 м абс. высоты (мощностью 0,94 м).

Спорово-пыльцевой анализ. Всего определено 48 таксонов пыльцы и спор. Кроме этого, зафиксированы цисты пресноводных зеленых водорослей *Pediastrum* и *Botryococcus*. Сохранность всех микрофитофоссилий хорошая. Изменения в составе спорово-пыльцевых спектров позволили выделить 5 пыльцевых зон (далее — ПЗ) (рис. 3). В образце из крупнозернистых песков на глубине 9,95 м микрофоссилии не обнаружены, поэтому он не отражен на диаграмме.

ПЗ 1 (10,00–10,03 м). В спектрах господствует пыльца трав, представленная в основном семейством Cyperaceae (до 76%). Количество пыльцы деревьев и кустарников колеблется от 21 до 43%. Преобладает пыльца *Pinus* (до 14%), *Betula* sect. *Albae* (2–10%) и *Betula nana* (до 15%). Встречены единичные пыльцевые зерна *Menyanthes trifoliata*. Группа споровых растений представлена в основном спорами *Sphagnum* (до 4%). Кроме того, отмечены единичные находки споровых зерен *Encalypta*, *Selaginella selaginoides*. Общая концентрация составила 25–59 тыс. пыльцевых зерен на 1 г осадка (п. з./г).

ПЗ 2 (10,03–10,09 м). Резко возрастает количество пыльцы деревьев и кустарников до 79–88%. Доминирует пыльца *Betula* sect. *Albae* (43–51%), *B. nana* (до 27%) и *Pinus* (до 21%). Присутствуют единичные пыльцевые зерна *Picea* и *Alnus*, а также термофильных пород деревьев и кустарников, таких

как *Ulmus* и *Corylus*. Содержание пыльцы *Artemisia* достигает 2%. Среди прибрежно-водной растительности появляется пыльца *Sparganium*. Увеличивается количество спор *Sphagnum* (до 26%) и Polypodiaceae (до 11%). Общая концентрация пыльцы резко возрастает до 1352 тыс. п. з./г.

ПЗ 3 (10,09–10,14 м). Пыльца и споры представлены единично. Встречаются пыльцевые зерна *Picea*, *Pinus*, *Betula* sect. *Albae*, *B. nana*, *Alnus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Corylus*, Cyperaceae, Poaceae. Кроме того, отмечены споры *Sphagnum* и Polypodiaceae. Общая концентрация пыльцы резко снижается до 3 тыс. п. з./г.

ПЗ 4 (10,14–10,36 м). Количество пыльцы деревьев и кустарников составляет 86–94% и представлено пыльцой *Betula* sect. *Albae*, *Pinus*, *Alnus* и *Picea*. Основной отличительной особенностью зоны является максимальное для разреза содержание пыльцы *Ulmus* (1–6%) и *Corylus* (1–5%) и резкое увеличение пыльцы *Alnus* (до 17%). Отмечается присутствие пыльцы *Quercus* (1–2%) и *Tilia* (1–2%). Подзона 4а выделяется по преобладающему содержанию пыльцы *Picea* и *Fraxinus*. В подзоне 4b также отмечено повышенное содержание пыльцы Rosaceae. В этой зоне обнаружено максимальное количество цист пресноводных зеленых водорослей *Pediastrum*. Общая концентрация пыльцы снова возрастает и колеблется от 11 до 226 тыс. п. з./г осадка.

ПЗ 5 (10,36–10,89 м). В спектрах сохраняется абсолютное доминирование пыльцы деревьев и кустарников. В ее составе значительно содержание пыльцы *Picea* (16–27%) и *Salix* (1–3%). Возрастает процентное содержание пыльцы трав (до 19%), среди которой доминирует пыльца семейств Poaceae (4–15%) и Cyperaceae (2–5%). Зафиксировано максимальное для разреза количество пыльцы макрофитов, представленных в основном пыльцой *Sparganium* (до 3%). Кроме того, отмечена единичная пыльца *Typha* и *Potamogeton*. В этой зоне также наблюдается максимум спор *Equisetum* (1–2%). Общая концентрация пыльцы в среднем составляет около 160 тыс. п. з./г осадка, но резко снижается в самом верхнем образце до 8 тыс. п. з./г осадка.

Радиоуглеродный анализ. Методом радиоуглеродного анализа изучено 6 образцов, которые представлены торфом и гиттией и охватывают возрастной интервал от 8900 ± 150 ^{14}C л. н. (9960 ± 210 кал. л. н.) до 3530 ± 80 ^{14}C л. н. (3810 ± 110 кал. л. н.) (табл. 1). Относительно большая погрешность ^{14}C датировок (от 110 до 200 лет) обусловлена большой примесью минеральных частиц.

ОБСУЖДЕНИЕ

Разрез «Ленэнерго» является одним из ключевых объектов для исследования голоценовых трансгрессий Ладожского озера. В нем сохраняется классическое трехчленное строение, где две песчано-глинистые толщи палеоводоемов разделены органогенными отложениями, представленными торфом и гиттией (рис. 2, а). Такое строение фиксируется во многих разрезах юго-восточного Приладожья [6; 14; 16]. Однако мощность органогенных

Результаты радиоуглеродного датирования образцов из разреза «Ленэнерго-2019»

Table 1. Radiocarbon dating results of samples from the Lenenergo-2019 section

№ п/п	Лабораторный номер	Абс. высота, м	Материал	^{14}C возраст, л. н.	Калиброванный возраст, кал. л. н.
1	ЛУ-9423	10,85–10,87	Кровля гиттии	3530 ± 80	3810 ± 110
2	ЛУ-9422	10,55–10,60	Гиттия	3840 ± 90	4240 ± 130
3	ЛУ-9421	10,33–10,35	Гиттия	4150 ± 110	4670 ± 140
4	ЛУ-9420	10,16–10,18	Подшва гиттии	4880 ± 200	5610 ± 250
5	ЛУ-9419	10,07–10,10	Гиттия	8420 ± 90	9400 ± 100
6	ЛУ-9418	10,00–10,03	Торф	8900 ± 150	9960 ± 210

отложений сильно варьирует. Так, в группе разрезов «Ленэнерго» она колеблется от 0,62 [5] до 0,9 м [1]. А в разрезе, изученном в 2019 г., она составила 0,87 см, что близко к максимальным значениям (рис. 2, а). Кроме того, возраст органических отложений в предыдущих исследованиях точно не определен и варьирует от бореально-атлантического до атлантическо-суббореального (рис. 2, б). Результаты детального спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования органических отложений из разреза «Ленэнерго-2019» позволили выявить ряд особенностей, которые не были зафиксированы в ходе предыдущих исследований этого обнажения.

Накопление крупнозернистых песков, подстилающих органическую толщу, вероятно, происходило в течение позднего дриаса. Такое предположение сделано еще Г.Н. Лисицыной [5] на основании того, что возраст нижележащих ленточных глин, по данным спорово-пыльцевого анализа, соотношен с аллердом. Вскрытая толща песков палеоботанически не была охарактеризована. Тем не менее Г.Н. Лисицыной в кровле песчаной толщи были отмечены текстурные признаки криогенных деформаций (рис. 3, а). При проведении полевых работ на этом разрезе в 2019 г. следов мерзлотных деформаций не зафиксировано. Соответственно, предположение о позднедриасовом возрасте отложений построено исключительно на стратиграфической привязке. Из крупнозернистых песков, подстилающих торф, методом спорово-пыльцевого анализа нами изучен один образец в интервале от 9,95 до 10,00 м абс. высоты, в котором не обнаружено никаких микрофоссилий. Отсутствие, в первую очередь, пыльцы и спор может свидетельствовать как о накоплении осадков в условиях крупного мелководного водоема в окружении открытых ландшафтов, так и являться результатом вымывания микроорганики из крупнозернистых песков. В то же время результаты изучения колонки Co1309, расположенной в северо-западной части Ладожского озера, показывают, что в позднем дриасе были распространены тундростепные сообщества с участием карликовой березки, ивы и ольховника [30].

Выше песков в разрезе «Ленэнерго-2019» залегает прослой торфа мощностью 3 см (10,00–10,03 м, ПЗ 1), который формировался в относительно прохладных условиях, предположительно, пребореального периода, в обстановке березового редколесья. О разреженном растительном и нарушенном почвенном покрове может свидетельствовать присутствие спор энкаипты (*Encalypta*) и плаунка плауновидного (*Selaginella selaginoides*). Кроме этого, на несомкнутый растительный покров и суровые климатические условия указывает и крайне низкая концентрация пыльцы. По другим опубликованным палинологическим данным, растительность этого времени также была представлена березовыми редколесьями и лесами [12; 31]. Возраст торфа из этого прослоя, по нашим данным, составил 8900 ± 150 ^{14}C л. н. (9960 ± 210 кал. л. н.) и в целом не противоречит палинологическим. Ранее считалось, что накопление торфа началось в бореальное и продолжилось в атлантическое время согласно результатам спорово-пыльцевого анализа [5]. Эти данные были подтверждены датировкой 7970 ± 260 ^{14}C л. н. (8880 ± 310 кал. л. н.) [6; 9] (табл. 2). По результатам наших исследований формирование торфа началось еще в пребореальное время голоцена, приблизительно на одну тысячу лет раньше, чем это предполагалось.

Торф с размывом перекрывается толщей гиттиевых отложений (10,03–10,87 м). Наличие размыва подтверждается резкой сменой спорово-пыльцевых спектров и крайне низкой концентрацией пыльцевых зерен. В гиттиях выделяются четыре палинозоны (ПЗ 2–5). Пыльцевые спектры ПЗ 2 (10,03–10,09 м) указывают на резкое изменение в составе растительного покрова. На окружающей территории широкое развитие получили сосново-березовые леса, на заболоченных участках встречалась береза карликовая. Такой тип растительности был распространен на значительной территории Приладожья [12; 30–32]. Для этого интервала характерны максимальные для всего разреза значения концентрации пыльцы, достигающие 1352 тыс. п. з./г осадка, что также свидетельствует о сомкнутом растительном покрове и более благоприятном климате. Однако

Радиоуглеродный возраст отложений из разрезов у д. Оятский участок (Ленэнерго)

Table 2. Radiocarbon age of deposits from the sections near the Oyatsky uchastok village (Lenenergo village)

№ п/п	Лабораторный номер	Материал	^{14}C возраст, л. н.	Калиброванный возраст, кал. л. н.
1	ЛУ-2224	Аллохтонный торф	2810 ± 30	2910 ± 40
2	ЛУ-1929	Плавник	2980 ± 80	3150 ± 110
3	Ле-7076	Кровля торфа	3160 ± 120	3360 ± 150
4	ЛУ-2183	Кровля гиттии	3720 ± 50	4070 ± 80
5	ЛУ-5458	Древесина из гиттии	4000 ± 40	4470 ± 60
6	ЛУ-5454	Древесина из торфа	4220 ± 70	4730 ± 100
7	ЛУ-5436	Древесина из подошвы гиттии	4380 ± 90	5020 ± 140
8	ЛУ-2180	Подошва торфа	5400 ± 50	6190 ± 80
9	ЛУ-1930	Обломок древесины из основания гиттии	5490 ± 40	6290 ± 50
10	ЛУ-5453	Древесина из кровли торфа	5860 ± 70	6670 ± 90
11	Не указан	Кровля торфа	7960 ± 230	8860 ± 280
12	Не указан	Кровля торфа	7970 ± 260	8880 ± 310

В таблице приведены датировки из разрезов у д. Оятский участок, в том числе датировки, полученные непосредственно из органогенных отложений

Источник: 1, 11 — по [4], 2, 9 — по [12], 3 — по [10], 4, 8 — по [6], 5–7, 10 — по [1; 13; 14], 12 — по [7; 9]

The table presents sections dating near the Oyatsky uchastok village, including dating directly from the organic-rich deposits

Source: 1, 11 — from [4], 2, 9 — from [12], 3 — from [10], 4, 8 — from [6], 5–7, 10 — from [1; 13; 14], 12 — from [7; 9]

довольно высокие концентрации пыльцы из этого слоя могут быть также связаны с уплотненностью отложений вследствие последующего накопления относительно мощной толщи озерных осадков.

В интервале от 10,09 до 10,16 м фиксируется еще один горизонт размыва, представленный песками с детритом. Этому слою частично соответствует ПЗ 3 (10,09–10,14 м). В нем отмечаются лишь единичные зерна пыльцы и спор. Хронологические рамки этого перерыва определяются радиоуглеродным возрастом вмещающих гиттий — от 8420 ± 90 ^{14}C л. н. (9400 ± 100 кал. л. н.) до 4880 ± 200 ^{14}C л. н. (5610 ± 250 кал. л. н.). Таким образом, здесь наблюдается перерыв в осадконакоплении длительностью около 3500 лет.

Накопление гиттии продолжилось в атлантический (ПЗ 4) и суббореальный (ПЗ 5) периоды. В атлантическое время (ПЗ 4, 10,14–10,36 м) возросло участие ели и термофильных пород деревьев и кустарников, господствовали сосново-елово-березовые леса с участием лещины, ясеня, вяза, липы и дуба. Вероятно, в условиях подтопления территории водами Ладожского озера широкое распространение получила ольха, предпочитающая грунтовое увлажнение. Значительное развитие получила прибрежно-водная растительность. Среди трав преобладали представители семейств осоковых и злаковых, которые также выносят избыточное увлажнение. Концентрации пыльцы для интервала от 10,14 до 10,36 м (ПЗ 4) относительно невысокие по сравнению с прослоем гиттии в интервале от 10,03 до 10,09 м (ПЗ 2) и варьируют от 11 до 226 тыс. п. з./г осадка.

Примерно на границе ПЗ 4 и ПЗ 5 нами была получена датировка 4150 ± 100 ^{14}C л. н. (4670 ± 140 кал. л. н.). Таким образом, накопление нижней, атлантической части гиттии происходило в интервале от 4880 ± 200 до 4150 ± 100 ^{14}C л. н.

Верхняя часть гиттии, а также нижняя часть песчано-алевритового переслаивания соответствуют ПЗ 5 (10,36–10,89 м), начальная стадия которой на спорово-пыльцевой диаграмме приходится на начало подъема кривой пыльцы *Picea* (рис. 3). В это время на территории по-прежнему господствовали сосново-елово-березовые леса с примесью широколиственных пород. Увеличилась роль ели, которая, вероятно, образовывала чистые ценозы. Климат стал несколько прохладнее и влажнее, что обусловило не только распространение ели, но и ивы. Несмотря на минимальное присутствие пыльцы ивы в спектрах (1–2%), это свидетельствует о ее участии в составе локальной растительности [33]. К этому времени концентрация пыльцы увеличивается до 350 тыс. п. з./г осадка, а затем вновь снижается до 8 тыс. п. з./г осадка. Колебания в концентрации пыльцы в пределах одного слоя могут быть связаны с неравномерным распределением органического вещества. Завершение накопления суббореальной части гиттии фиксируется датировкой из ее кровли 3530 ± 80 ^{14}C л. н. (3810 ± 110 кал. л. н.) (рис. 2, а).

Таким образом, формирование органогенной толщи, согласно результатам спорово-пыльцевого анализа, происходило в несколько этапов — пребореальный, бореальный и бореально-атлантический, отделенных друг от друга седиментационными

перерывами. Этот вывод подтверждается как резкой сменой в составе спорово-пыльцевых спектров, так и радиоуглеродной хронологией. Возраст пребореального торфа составил 8900 ± 150 ^{14}C л. н. (9960 ± 210 кал. л. н.). Накопление бореальной гиттии происходило до 8420 ± 90 ^{14}C л. н. (9400 ± 100 кал. л. н.). Атлантико-суббореальный этап седиментации гиттиевых отложений пришелся на 4880 ± 200 – 3530 ± 80 ^{14}C л. н. (5610 ± 250 – 3810 ± 110 кал. л. н.). Такая интерпретация не согласуется с выводами, полученными предыдущими исследователями по этому разрезу. Наиболее значимо отличается интерпретация Г.Н. Лисицыной, согласно которой органогенная часть разреза представлена исключительно бореальным торфом (разрез V, рис. 2) [5]. Впоследствии для торфа была получена радиоуглеродная датировка 7970 ± 260 ^{14}C л. н. (8880 ± 310 кал. л. н.) [9]. Литологическое строение органогенной толщи по данным других исследователей (разрезы II, III, IV, рис. 2) имеет большие сходства с разрезом, описанным в настоящей работе. В этих разрезах в основании органогенной толщи также встречен слой торфа, однако радиоуглеродные датировки указывают на его более молодой возраст — 5860 ± 70 ^{14}C л. н. (6670 ± 90 кал. л. н.) [1; 13; 14] и 5490 ± 40 ^{14}C л. н. (6290 ± 50 кал. л. н.) [12]. Кроме того, слои торфа наблюдаются и в кровле органогенной толщи (разрезы III, IV, рис. 2). А в разрезе IV (рис. 2) также отмечен горизонт размыва на границе торфа и гиттии.

Полученные результаты не могут дать однозначный ответ на вопрос о происхождении описываемых слоев. Накопление торфа в пребореале указывает на субаэральные обстановки осадконакопления. Присутствие в слое пыльцы вахты трехлистной (*Menyanthes trifoliata*), осоковых (Cyperaceae), ивы (*Salix*), древовидных и кустарниковых видов берез (*Betula* sect. *Albae* и *B. nana*) позволяет предположить низинный тип данного прослоя торфа. Современные низинные болота Приладожья часто встречаются в приозерных понижениях и по берегам рек, для них характерен значительно более богатый, чем для верховых болот, видовой состав [34]. Формирование бореального гиттиевского слоя, с размывом залегающего на торфе, предполагает смену условий седиментации. Вероятно, в бореальном периоде развитие южного Приладожья происходило в континентальных обстановках [10], следовательно, гиттия могла накапливаться в условиях низинных болот, малых озер или речных стариц.

Наиболее достоверно устанавливается происхождение атлантико-суббореальной гиттии. Ранее для коррелируемого слоя, изученного в этом обнажении, был выполнен диатомовый анализ [13; 14]. Состав диатомовых водорослей из слоя гиттии позволил авторам предположить, что она накапливалась в неглубоком водоеме, куда были занесены планктонные виды Ладожского озера (в составе диатомовых комплексов определены индикаторные «ладожские» виды). По данным А.В. Лудиковой [35; 36], группа «ладожских» видов диатомей характерна для отложений Ладожской трансгрессии, после ее завершения эти индикаторные виды исчезают из состава комплексов. В отложениях гиттии

нами зафиксирована пыльца прибрежно-водной растительности (*Sparganium*, *Typha*, *Nymphaeaceae*, *Potamogeton*), произрастающей в стоячих и медленно текущих водоемах, по заболоченным берегам рек и озер. Таким образом, можно предположить, что верхняя часть гиттии, вскрытая в разрезе «Ленэнерго», накапливалась в мелководных замкнутых или полужамкнутых обстановках Ладожского озера. Дальнейшая смена гиттии песчано-алевритовым переслаиванием вверх по разрезу указывает на увеличение глубины и, следовательно, степени открытости акватории. Все это в совокупности с результатами радиоуглеродного датирования позволяет связать формирование атлантико-суббореальной гиттии и перекрывающих отложений с подъемом уровня воды во время Ладожской трансгрессии. Горизонт размыва возрастом от 8420 ± 90 ^{14}C л. н. (9400 ± 100 кал. л. н.) до 4880 ± 200 ^{14}C л. н. (5610 ± 250 кал. л. н.), отделяющий бореальный слой от атлантико-суббореального, таким образом, возник в начальную фазу трансгрессии. Формирование подобных локальных горизонтов характерно для прибрежных и мелководных обстановок и происходит вследствие штормовых событий [37]. Другой причиной возникновения размыва в прибрежных условиях Ладожского озера могут являться многолетние малоамплитудные колебания уровня воды, влияющие на береговую морфолитодинамику и в настоящее время [38].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования разреза «Ленэнерго-2019», а также их сопоставление с данными предыдущих исследований позволили сделать следующие выводы:

- впервые в данном разрезе реконструкция растительности на основе спорово-пыльцевого анализа подтверждена изменениями концентрации пыльцы, максимальные значения которой составили 1352 тыс. п. з./г осадка для гиттии и минимальные — 3 тыс. п. з./г осадка для мелкозернистых песков;

- органогенные отложения мощностью 0,87 м формировались от 8900 ± 150 ^{14}C л. н. (9960 ± 200 кал. л. н.) до 3530 ± 80 ^{14}C л. н. (3810 ± 110 кал. л. н.) в три этапа;

- время образования нижнего слоя торфа началось в пребореальный период голоцена не позднее 8900 ± 150 ^{14}C л. н. (9960 ± 200 кал. л. н.), что является самой древней датировкой для всех изученных разрезов «Ленэнерго» у д. Оятский участок;

- накопление гиттии началось в бореальном периоде и продолжилось в конце атлантического и первой половине суббореального периодов, в интервале от 4880 ± 200 ^{14}C л. н. (5610 ± 250 кал. л. н.) до 3530 ± 80 ^{14}C л. н. (3810 ± 110 кал. л. н.);

- на протяжении формирования органогенной толщи выделено не менее трех перерывов в осадконакоплении, зафиксированных в литологической смене осадков, а также резких изменениях концентрации пыльцы и состава спорово-пыльцевых спектров. Наиболее длительный перерыв, продолжительностью

не менее 3500 лет, установлен на рубеже бореального и атлантического периодов.

Сопоставление разрезов «Ленэнерго», вскрытых в районе д. Оятский участок на левом берегу р. Оять, представляет определенную сложность, в том числе из-за разной привязки местонахождения разреза «Ленэнерго» (п. Ленэнерго, п. Свирьстрой, п. Линии Свирьстроя, д. Оятский участок), постоянной эрозии берега, а также отсутствия точной привязки по абсолютной высоте. Уровень воды в р. Оять может значительно меняться, что показали наблюдения, проводимые во время ежегодных учебных практик в этом районе. Так, уровень воды в реках Свирь, Паша и Оять в июне 2024 г. был на 1,0–1,5 м выше, чем в предыдущие пять лет. Поэтому привязка только к урезу воды не является надежной, и необходимы точные инструментальные измерения высоты и привязка к гидропосту. Сравнение датировок горизонта торфа и гиттии показало разброс значений возраста вскрытых отложений, обусловленный сложными гидродинамическими процессами и связанными с ними изменениями уровня Ладожского озера.

Для полной характеристики условий осадконакопления органогенных отложений и восстановления палеогеографических событий в регионе юго-восточного Приладожья необходимо наращивание данных с привлечением результатов как спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования, так и диатомового анализа и геохимических исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Новые данные относительно трансгрессии Ладожского озера, образования реки Невы и сельскохозяйственного освоения северо-запада России / А.Л. Александровский [и др.] // Доклады Академии наук. 2009. Т. 424, № 5. С. 682–687.
2. Возраст береговых образований по радиоуглеродным и палинологическим данным // История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки / Х.А. Арсланов [и др.]; отв. ред. Д.Д. Квасов. Л.: Наука, 1990. С. 26–33.
3. Бискэ Ю.С., Сумарева И.В., Шитов М.В. Позднеголоценовое сейсмическое событие в юго-восточном Приладожье. I. Принципы исследования и деформационные текстуры // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. География. География. 2009. № 1. С. 3–25.
4. Кошечкин Б.И., Экман И.М. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера / отв. ред. Н.Н. Давыдова, Б.И. Кошечкин. СПб.: Рос. геогр. о-во, 1993. С. 49–60.
5. Лисицына Г.Н. Вопросы палеогеографии неолита районов северо-запада Европейской части СССР // Гурина Н.Н. Древняя история северо-запада Европейской части СССР / Материалы и исследования по археологии СССР / отв. ред. П.И. Борисовский. № 87. М.; Л., 1961. С. 535–578.
6. Новые данные по голоценовой истории Ладожского озера / Д.Б. Малаховский [и др.] // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера / отв. ред. Н.Н. Давыдова, Б.И. Кошечкин. СПб.: Рос. геогр. о-во, 1993. С. 61–73.
7. Рельеф и стратиграфия четвертичных отложений северо-запада Русской равнины : К IV конгрессу INQUA в Варшаве 1961 / отв. ред. К.К. Марков. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. 252 с.

8. Серебрянный Л.Р., Чеботарева Н.С. Некоторые дискуссионные вопросы палеогеографии и стратиграфии четвертичных отложений центра и северо-запада Русской равнины (в связи с данными радиоуглеродного датирования) // Антропоген Русской равнины и его стратиграфические компоненты / отв. ред. М.И. Нейштадт. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1963. С. 74–85.

9. Старик И.Е., Арсланов Х.А. Возраст по радиоуглероду некоторых образцов четвертичного периода // Доклады Академии наук. 1961. Т. 138, № 1. С. 102–105.

10. Шитов М.В. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера: дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.01. СПб., 2007. 204 с.

11. Стоянки А.А. Иностранцева и голоценовая тектоника Южного Приладожья. Геологический контекст / М.В. Шитов [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2019. Т. 64, № 4. С. 628–650. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.408>.

12. Delusin I. The Holocene pollen stratigraphy of Lake Ladoga and the vegetation history of its surroundings : *Annales Academiae Scientiarum Fennicae. Ser. A. III. Geologica-Geographica. Vol. 153. Helsinki, Finland : Suomalainen Tiedekatemia*, 1991. 66 p.

13. The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-western Russia / P.M. Dolukhanov [et al.] // *Quaternary International*. 2009. Vol. 203, nos. 1–2. P. 33–51. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.04.021>.

14. Holocene oscillations of the Baltic Sea and Lake Ladoga levels and early human movements / P.M. Dolukhanov [et al.] // *Quaternary International*. 2010. Vol. 220, nos. 1–2. P. 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.09.022>.

15. Марков К.К. Последлениковая история юго-восточного побережья Ладожского озера // Вопросы географии / отв. ред. К.К. Марков. Вып. 12. М.: Гос. изд-во геогр. лит., 1949. С. 213–220.

16. Марков К.К., Порецкий В.С., Шляпина Е.В. О колебаниях уровня Ладожского и Онежского озер в послелениковское время // Труды Комиссии по изучению четвертичного периода. Т. IV, № 1. Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1934. С. 71–129.

17. Атлас Ленинградской области / Т.А. Андреева [и др.]; гл. ред. Д.А. Субетто. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2022. 111 с.

18. Геоморфология и четвертичные отложения северо-запада европейской части СССР (Ленинградская, Псковская и Новгородская области) / отв. ред. Д.Б. Малаховский, К.К. Марков. Л.: Наука, 1969. 256 с.

19. Плешивцева Э.С., Гаркуша В.И., Горшкова С.С. Микулинские озера в междуречье Паши и Ояти (Ленинградская область) // История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины / гл. ред. В.А. Румянцев. СПб.: Наука, 1998. С. 111–114.

20. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР / В.Д. Александрова [и др.]; отв. ред. В.Д. Александрова, Т.К. Юрковская. Л.: Наука, 1989. 63 с.

21. Chronology of vegetation and paleoclimatic stages of northwestern Russia during the Late Glacial and Holocene / Kh. A. Arslanov [et al.] // *Radiocarbon*. 1999. Vol. 41, no. 1. P. 25–45. <https://doi.org/10.1017/S0033822200019317>.

22. Berglund B. E., Ralska-Jasiewiczowa M. Pollen analysis and pollen diagrams // *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology* / Ed. B. E. Berglund. Chichester; New York; Brisbane; Toronto; Singapore : John Wiley & Sons, 1986. P. 455–484.

23. Stockmarr J. Tablets with spores used in absolute pollen analysis // *Pollen et Spores*. 1971. Vol. 13. P. 615–621.

24. Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры Европейской части СССР / А.Е. Бобров [и др.]. Л.: Наука, 1983. 208 с.

25. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука, 1972. Т. 1. 171 с.

26. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука, 1978.

Т. 2. Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. 183 с.

27. Moore P. D., Webb J. A., Collinson M. E. Pollen analysis. 2nd ed. Oxford, 1991. 216 p.

28. Арсланов Х. А. Радиоуглерод: геохимия и геохронология / отв. ред. Ю. А. Шуколюков. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 298 с.

29. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) / P. J. Reimer [et al.] // *Radiocarbon*. 2020. Vol. 62, no. 4. P. 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>.

30. Vegetation and climate changes in northwestern Russia during the Lateglacial and Holocene inferred from the Lake Ladoga pollen record / L. A. Savelieva [et al.] // *Boreas*. 2019. Vol. 48, no. 2. P. 349–360. <https://doi.org/10.1111/bor.12376>.

31. Изменение природных обстановок в голоцене на Онежско-Ладожском перешейке / Т. В. Сапелько [и др.] // *Известия Русского географического общества*. 2016. Т. 148, № 2. С. 35–44.

32. Climate and environment on the Karelian Isthmus, northwestern Russia, 13000–9000 cal. yrs BP / D. A. Subetto [et al.] // *Boreas*. 2002. Vol. 31, no. 1. P. 1–19. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2002.tb01051.x>.

33. Рашке Е. А., Савельева Л. А. Субрецентные спорово-пыльцевые спектры и современная растительность дельты реки Лена, Российская Арктика // *Сибирский экологический журнал*. 2017. Т. 24, № 4. С. 456–472. <https://doi.org/10.15372/SEJ20170407>.

34. Доронина А. Ю. Сосудистые растения Карельского перешейка (Ленинградская область). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2007. 574 с.

35. Лудикова А. В. Свидетельства среднеголоценовой трансгрессии Ладожского озера по данным диатомового анализа // *Известия Русского географического общества*. 2015. Т. 147, № 4. С. 38–51.

36. New diatom and sedimentary data confirm the existence of the northern paleo-outlet from Lake Ladoga to the Baltic Sea / A. V. Ludikova [et al.] // *Quaternary*. 2024. Vol. 7, no. 3. P. 31. <https://doi.org/10.3390/quat7030031>.

37. A review of storms and marine coastal flooding in the Baltic Sea — insights from instrumental, historical and sedimentary record / K. Leszczyńska [et al.] // *Earth-Science Reviews*. 2025. Vol. 266. P. 105137. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2025.105137>.

38. Большинов Д. Ю. Современные многолетние колебания уровня Ладожского озера и возможная причина Ладожской трансгрессии позднего голоцена // *Известия Русского географического общества*. 2018. Т. 150, № 4. С. 15–31. <https://doi.org/10.7868/S0869607118040023>.

REFERENCES

1. New data on the Ladoga transgression, the Neva River formation, and agricultural development of northwestern Russia / A. L. Aleksandrovskii [et al.]. *Doklady Earth Sciences*. 2009; 425: 274–278. <https://doi.org/10.1134/S1028334X09020226>. (In Russ.).

2. Age of shore formations according to radiocarbon and palynologic data / Kh. A. Arslanov [et al.]; Publ. Ed. D. D. Kvasov. *History of the Ladoga, Onega, Peipus, Baikal, and Khanka lakes*. Leningrad: Nauka; 1990. P. 26–33. (In Russ.).

3. Biske Yu. S., Sumareva I. V., Sheetov M. V. Late Holocene paleoseismic event at southeastern coast of Lake Ladoga. I. Principles of research and deformation structures. *Vestnik of Saint-Petersburg University*. 2009; (1): 3–25. (In Russ.).

4. Koshechkin B. I., Ekman I. M. Holocene transgressions of Lake Ladoga. *Evolution of natural conditions and current state of Lake Ladoga geosystem*. St. Petersburg: Russ. Geogr. Soc.; 1993. P. 49–60. (In Russ.).

5. Lisitsyna G. N. The Neolithic paleogeography in northwestern regions of the European part of the USSR. *Gurina N. N. The ancient history of North-West European part of the USSR: Proceedings and Research in Archeology of the USSR* / Publ. Ed.

P. I. Borisovskiy. No. 87. Moscow; Leningrad; 1961. P. 535–578. (In Russ.).

6. New data on the Holocene history of Lake Ladoga / D. B. Malakhovskiy [et al.]. *Evolution of natural conditions and current state of Lake Ladoga geosystem*. St. Petersburg: Russ. Geogr. Soc.; 1993. P. 61–73. (In Russ.).

7. Relief and stratigraphy of the Quaternary deposits in the north-western part of the Russian Plain: Publ. for the Sixth Congress of INQUA Warsaw 1961 / Publ. Ed. K. K. Markov. Moscow: Publ. House of the Acad. of Sci. of the USSR; 1961. 252 p. (In Russ.).

8. Serebryannyy L. R., Chebotareva N. S. Some controversial issues of paleogeography and stratigraphy of the Quaternary deposits in the Central and North-West Russian Plain (in connection with radiocarbon data). *Antropogen of the Russian Plain and its stratigraphic components* / Publ. Ed. M. I. Neyshadt. Moscow: Publ. House of the Acad. of Sci. of the USSR; 1963. P. 74–85. (In Russ.).

9. Starik I. E., Arslanov Kh. A. Radiocarbon age of some Quaternary samples. *Doklady Akademii nauk*. 1961; 138 (1): 102–105. (In Russ.).

10. Sheetov M. V. Holocene transgressions of Lake Ladoga: PhD diss. (Geology and Mineralogy): 25.00.01. St. Petersburg; 2007. 204 p. (In Russ.).

11. Archaeological sites of A. A. Inostrantsev and Holocene tectonics of South Ladoga region: Geological context / M. V. Sheetov [et al.]. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*. 2019; 64 (4): 628–650. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.408>. (In Russ.).

12. Delusin I. The Holocene pollen stratigraphy of Lake Ladoga and the vegetation history of its surroundings: *Annales Academiae Scientiarum Fennicae. Ser. A. III. Geologica-Geographica*. Vol. 153. Helsinki, Finland: Suomalainen Tiedekatemia; 1991. 66 p.

13. The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-western Russia / P. M. Dolukhanov [et al.]. *Quaternary International*. 2009; 203 (1–2): 33–51. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.04.021>.

14. Holocene oscillations of the Baltic Sea and Lake Ladoga levels and early human movements / P. M. Dolukhanov [et al.] // *Quaternary International*. 2010; 220 (1–2): 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.09.022>.

15. Markov K. K. Postglacial history of the southeastern shore of Lake Ladoga. *Voprosy Geografii* / Publ. Ed. K. K. Markov. Vol. 12. Moscow: State Publ. House of Geogr. Books; 1949. P. 213–220. (In Russ.).

16. Markov K. K., Poretskiy V. V., Shlyapina E. V. Fluctuations in the levels of Ladoga and Onega lakes in the postglacial period. *Proceedings of the Quaternary Research Commission*. Vol. IV, no. 1. Leningrad: Publ. House of the Acad. of Sci. of the USSR; 1934. P. 71–129. (In Russ.).

17. Atlas of Leningrad region / T. A. Andreeva [et al.]; Chief Ed. D. A. Subetto. St. Petersburg: Herzen Univ.; 2022. 111 p. (In Russ.).

18. Geomorphology and Quaternary deposits of the North-West European part of the USSR (Leningrad, Pskov, and Novgorod regions) / Publ. Eds. D. B. Malakhovskiy, K. K. Markov. Leningrad: Nauka; 1969. 256 p. (In Russ.).

19. Pleshivtseva E. S., Garkusha V. I., Gorshkova S. S. Mikulino lakes within the Pasha and Oyat interfluvium (Leningrad region). *The History of Pleistocene lakes of the East European Plain*. St. Petersburg: Nauka; 1998. P. 111–114. (In Russ.).

20. Geobotanical zoning of the Non-Black Earth region of the European RSFSR / V. D. Aleksandrova [et al.]; Publ. Ed. V. D. Aleksandrova, T. K. Yurkovskaya. Leningrad: Nauka; 1989. 63 p. (In Russ.).

21. Chronology of vegetation and paleoclimatic stages of northwestern Russia during the Late Glacial and Holocene / Kh. A. Arslanov [et al.]. *Radiocarbon*. 1999; 41 (1): 25–45. <https://doi.org/10.1017/S0033822200019317>.

22. Berglund B. E., Ralska-Jasiewiczowa M. Pollen analysis and pollen diagrams. *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology* / Ed. B. E. Berglund. Chichester; New York; Brisbane; Toronto; Singapore: John Wiley & Sons; 1986. P. 455–484.

23. Stockmarr J. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*. 1971; 13: 615–621.

24. Spores of ferns and pollen of gymnosperms and monocotyledonous plants of the flora of the European part of the USSR / A.E. Bobrov [et al.]. Leningrad: Nauka; 1983. 208 p. (In Russ.).

25. Kupriyanova L.A., Aleshina L.A. Pollen and plant spores of the flora of the European part of the USSR. Leningrad: Nauka; 1972. Vol. 1. 171 p. (In Russ.).

26. Kupriyanova L.A., Aleshina L.A. Pollen and plant spores of the flora of the European part of the USSR. Leningrad: Nauka; 1978. Vol. 2. Pollen of dicotyledonous plants of the flora of the European part of the USSR. 183 p. (In Russ.).

27. Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. Pollen analysis. 2nd ed. Oxford; 1991. 216 p.

28. Arslanov Kh.A. Radiocarbon: Geochemistry and geochronology / Publ. Ed. Yu.A. Shukolyukov. Leningrad State Univ. Publ. House; 1987. 298 p. (In Russ.).

29. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) / P.J. Reimer [et al.]. *Radiocarbon*. 2020; 62 (4): 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>.

30. Vegetation and climate changes in northwestern Russia during the Lateglacial and Holocene inferred from the Lake Ladoga pollen record / L.A. Savelieva [et al.]. *Boreas*. 2019; 48 (2): 349–360. <https://doi.org/10.1111/bor.12376>.

31. Paleoenvironmental changes on the Onega-Ladoga Isthmus during the Holocene / T.V. Sapelko [et al.]. *Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2016; 148 (2): 35–44. (In Russ.).

32. Climate and environment on the Karelian Isthmus, northwestern Russia, 13000–9000 cal. yrs BP / D.A. Subetto [et al.]. *Boreas*. 2002; 31 (1): 1–19. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2002.tb01051.x>.

33. Raschke E.A., Savelieva L.A. Subrecent spore-pollen spectra and modern vegetation from the Lena River Delta, Russian Arctic. *Contemp. Probl. Ecol*. 2017; 10: 395–410. <https://doi.org/10.1134/S1995425517040084>. (In Russ.).

34. Doronina A. Yu. Vascular plants of the Karelian Isthmus (Leningrad region). Moscow: KMK Sci. Press Ltd., 2007. 574 p. (In Russ.).

35. Ludikova A.V. Diatom evidences for the mid-Holocene Lake Ladoga transgression. *Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2015; 147 (4): 38–51. (In Russ.).

36. New diatom and sedimentary data confirm the existence of the northern paleo-outlet from Lake Ladoga to the Baltic Sea / A.V. Ludikova [et al.]. *Quaternary*. 2024; 7 (3): 31. <https://doi.org/10.3390/quat7030031>.

37. A review of storms and marine coastal flooding in the Baltic Sea — insights from instrumental, historical and sedimentary record / K. Leszczyńska [et al.]. *Earth-Science Reviews*. 2025; 266: 105137. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2025.105137>.

38. Bolshiyonov D. Yu. Modern multi-year fluctuations of Ladoga Lake water level and possible reason of the Late Holocene Ladoga transgression. *Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2018; 150 (4): 15–31. <https://doi.org/10.7868/S0869607118040023>. (In Russ.).

Антонина Павловна Фоменко

¹ Аспирант кафедры геоморфологии;

² геолог;

³ старший лаборант

¹ Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

² Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия;

³ Ботанический институт им. В. Л. Комарова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0005-0523-5321>

Scopus Author ID 58296182800

ResearcherID HLQ-0714-2023

SPIN-код РИНЦ 9718-1272

fomenko.antonina@gmail.com

Antonina P. Fomenko

¹ Postgraduate Student, Department of Geomorphology;

² Geologist;

³ Senior Laboratory Assistant

¹ Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;

² All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia;

³ Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0005-0523-5321>

Scopus Author ID 58296182800

ResearcherID HLQ-0714-2023

RSCI SPIN-code 9718-1272

fomenko.antonina@gmail.com

Алексей Олегович Аксенов

¹ Ассистент кафедры геоморфологии;

² инженер 1 категории;

³ ведущий инженер

¹ Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

² Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия;

³ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-4950-4571>

Scopus Author ID 57220870100

ResearcherID T-5712-2017

SPIN-код РИНЦ 6751-7087

axyon.2801@mail.ru

Alexey O. Aksenov

¹ Teaching Assistant, Department of Geomorphology;

² First Category Engineer;

³ Leading Engineer

¹ Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;

² All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia;

³ Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-4950-4571>

Scopus Author ID 57220870100

ResearcherID T-5712-2017

RSCI SPIN-code 6751-7087

axyon.2801@mail.ru

Владислав Юрьевич Кузнецов

¹ Доктор геолого-минералогических наук,
заведующий кафедрой геоморфологии;
² ведущий научный сотрудник

¹ Институт наук о Земле,
Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия;
² Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-0544-6752>
Scopus Author ID 7404321154
ResearcherID I-8019-2013
SPIN-код РИНЦ 7606-8711
v.kuznetsov@spbu.ru

Алексей Юрьевич Петров

Инженер-исследователь лаборатории «Геоморфологические
и палеогеографические исследования полярных регионов
и Мирового океана» имени В. П. Кёппена

Институт наук о Земле,
Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-7577-9114>
Scopus Author ID 59100790600
ResearcherID O-3362-2016
SPIN-код РИНЦ 8687-6533
petrovalexey1987@gmail.com

Лариса Анатольевна Савельева

Кандидат географических наук,
доцент кафедры геоморфологии

Институт наук о Земле,
Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-2749-7603>
Scopus Author ID 6506063442
ResearcherID H-9135-2013
SPIN-код РИНЦ 8772-8733
l.savelieva@spbu.ru

Vladislav Yu. Kuznetsov

¹ DSc (Geology and Mineralogy),
Head, Department of Geomorphology;
² Leading Researcher

¹ Institute of Earth Sciences,
Saint-Petersburg State University,
Saint Petersburg, Russia;
² The Herzen State Pedagogical University of Russia,
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-0544-6752>
Scopus Author ID 7404321154
ResearcherID I-8019-2013
RSCI SPIN-code 7606-8711
v.kuznetsov@spbu.ru

Alexey Yu. Petrov

Research Engineer, Laboratory "Geomorphology
and Palaeogeography of Polar Regions and the World Ocean"
named after W.P. Köppen

Institute of Earth Sciences,
Saint-Petersburg State University,
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-7577-9114>
Scopus Author ID 59100790600
ResearcherID O-3362-2016
RSCI SPIN-code 8687-6533
petrovalexey1987@gmail.com

Larisa A. Savelieva

PhD (Geography),
Associate Professor, Department of Geomorphology

Institute of Earth Sciences,
Saint-Petersburg State University,
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-2749-7603>
Scopus Author ID 6506063442
ResearcherID H-9135-2013
RSCI SPIN-code 8772-8733
l.savelieva@spbu.ru

Авторское выражение благодарности: авторы выражают благодарность студентам Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, принимавшим участие в литологическом описании разреза и отборе образцов в ходе учебной научно-исследовательской практики по четвертичной геологии и геоморфологии, состоявшейся в 2019 г. Благодарим М. В. Шитова за консультацию в вопросах палеогеографии Приладожья.

Acknowledgments: the authors thank the students of the Institute of Earth Sciences at Saint-Petersburg State University, who contributed to the lithological description of the section and sampling during the academic research internship in Quaternary Geology and Geomorphology held in 2019. We are grateful to M. V. Sheetov for the advice on paleogeographic features of the Lake Ladoga region.

Вклад авторов: Фоменко А. П. — спорово-пыльцевой анализ, подготовка графических материалов, написание исходного текста, итоговые выводы.
Аксенов А. О. — подготовка графических и дополнительных материалов, написание исходного текста, итоговые выводы.
Кузнецов В. Ю. — научное руководство, подготовка дополнительных материалов, итоговые выводы, доработка текста.

Петров А. Ю. — радиоуглеродное датирование.
Савельева Л. А. — научное руководство, спорово-пыльцевой анализ, подготовка дополнительных материалов, итоговые выводы, доработка текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: Fomenko A. P. — pollen analysis, preparing graphics, writing the draft, final conclusions.
Aksenov A. O. — preparing graphics, preparing supplementary data, writing the draft, final conclusions.
Kuznetsov V. Yu. — research supervision, preparing supplementary data, final conclusions, follow-on revision.
Petrov A. Yu. — radiocarbon dating.

Savelieva L. A. — research supervision, pollen analysis, preparing supplementary data, final conclusions, follow-on revision.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 19.06.2025
Одобрена после рецензирования 27.08.2025
Принята к публикации 22.12.2025

Submitted 19.06.2025
Approved after reviewing 27.08.2025
Accepted for publication 22.12.2025

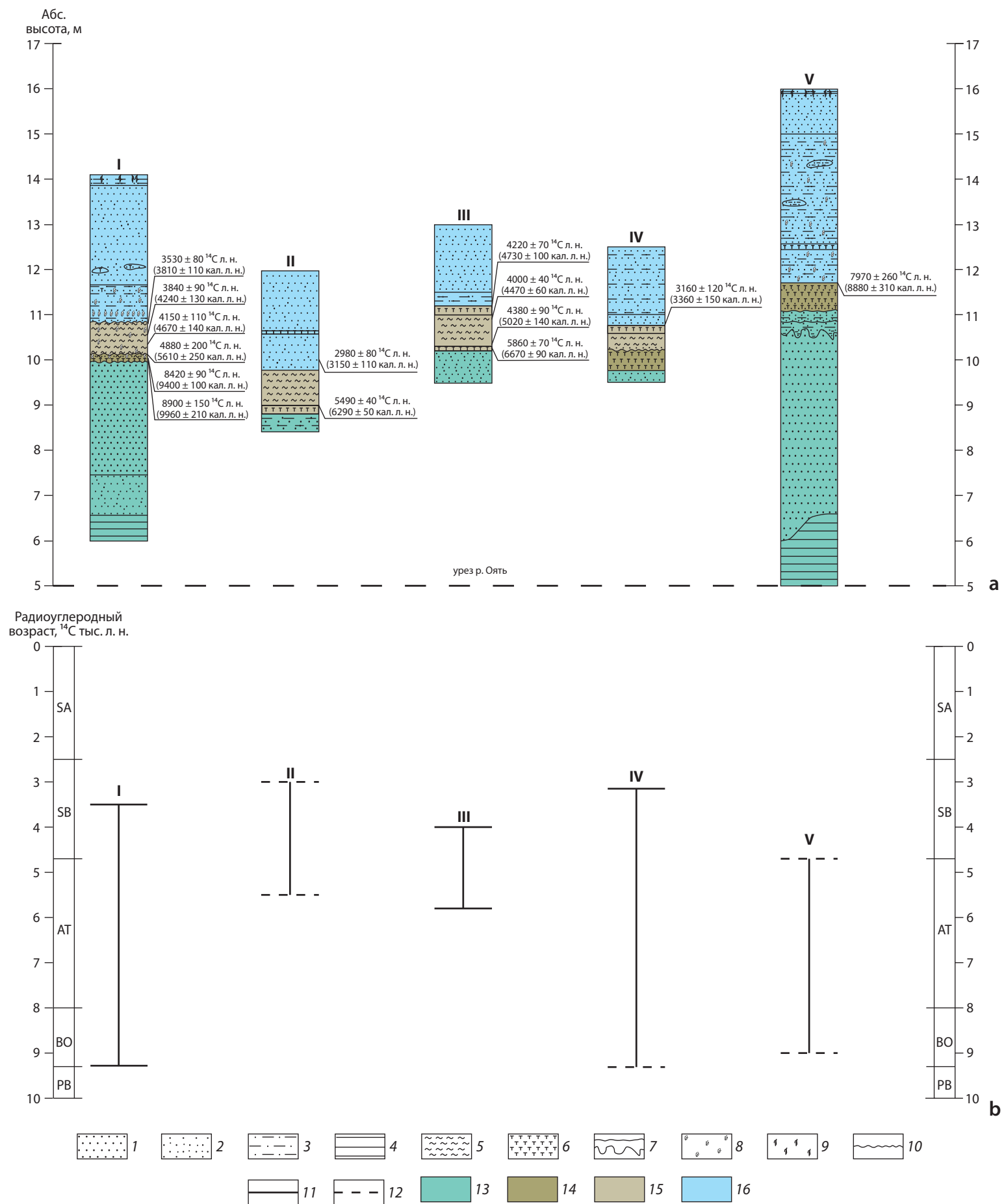


Рис. 2. Корреляция разрезов у д. Оятский участок

а — литолого-генетическая корреляция, **б** — геохронологическая и климатостратиграфическая корреляция интервала формирования слоя органогенных отложений: I — разрез «Ленэнерго-2019», II — р. Оять, п. Ленэнерго, III — р. Оять, п. Ленэнерго, IV — р. Оять, п. Ленэнерго, V — р. Оять, п. Линии Свирьстроя; 1 — пески грубо-, крупнозернистые, 2 — пески средне-, мелкозернистые, 3 — алевриты, 4 — глины, 5 — гиттия, 6 — торф, 7 — вторичные деформации, 8 — растительный детрит, 9 — корни современной растительности, 10 — стратиграфическое несогласие, 11 — граница интервала, определенная по геохронологическим данным, 12 — граница интервала, определенная по лито- и палинотратиграфическим данным, 13 — озерные, аллювиальные отложения позднелепесточные, 14 — озерные и болотные отложения бореального и атлантического периодов, 15 — озерные и болотные отложения атлантического и суббореального периодов, 16 — озерные отложения суббореального и субатлантического периодов
Источник: **б** — деление голоцена по [21]; II — по [4; 12], III — по [1; 13; 14], IV — по [3], V — по [5; 6; 9]

Fig. 2. Correlation of sections near the Oyatsky uchastok village

а — lithological and genetic correlation, **б** — geochronological and climatostratigraphic correlation of organic-rich deposits layer formation interval: I — Lenenergo-2019 section, II — Oyat River, Lenenergo village, III — Oyat River, Lenenergo village, IV — Oyat River, Lenenergo village, V — Oyat River, Svirstroy Lines village; 1 — coarse-grained, hard-grained sands, 2 — medium-grained, fine-grained sands, 3 — silt, 4 — clay, 5 — gyttja, 6 — peat, 7 — secondary deformations, 8 — plant detritus, 9 — modern vegetation roots, 10 — stratigraphic unconformity, 11 — interval boundary as per geochronological data, 12 — interval boundary as per lithostratigraphic and palynostratigraphic data, 13 — Late Pleistocene lacustrine and alluvial deposits, 14 — lacustrine and palustrine deposits of the Boreal and Atlantic periods, 15 — lacustrine and palustrine deposits of the Atlantic and Subboreal periods, 16 — lacustrine deposits of the Subboreal and Subatlantic periods
Source: **б** — the Holocene subdivisions from [21]; II — from [4; 12], III — from [1; 13; 14], IV — from [1; 13; 14], V — from [5; 6; 9]

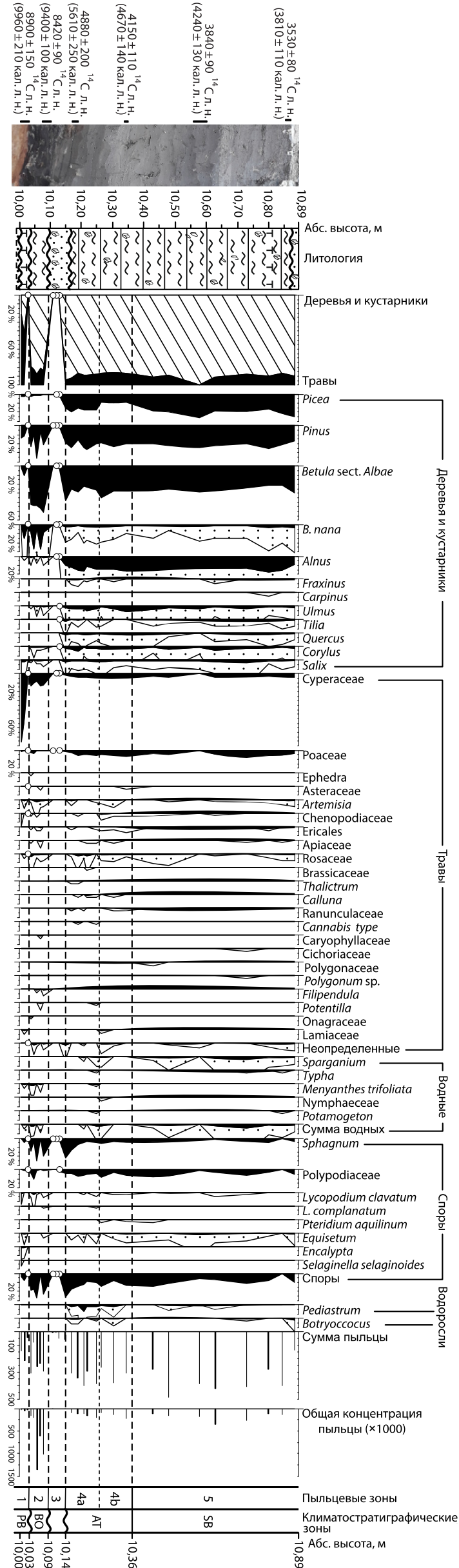


Рис. 3. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза «Лененрто-2019»

Условные обозначения см. на рис. 2

Fig. 3. Pollen percentage diagram of the Lenenrto-2019 section

Refer to the symbols in fig. 2