

УДК 581.1:551.583.7(470.54)+630*43+504.3.054
DOI 10.52575/2712-9047-2025-7-3-281-299
EDN OYMWXU

Флора, параметры древостоя, история формирования и газообмен низинного лесного болота (на примере болота Паклинское, Свердловская область)

Н.Ю. Груданов¹, А.С. Третьякова¹, А.А. Кочубей¹,
В.А. Лебедев¹, Т.Г. Антипина¹, А.А. Зорина¹,
Д.К. Диярова², С.А. Сенатор³, Д.А. Филиппов⁴

¹ Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук,
Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

² Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук,
Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 200

³ Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН,
Россия, 127276, г. Москва, ул. Ботаническая, 4

⁴ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук,
Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, 109

E-mail: nickolai.grudanoff@yandex.ru; as.tretyakova1@yandex.ru; 79326010873@yandex.ru;
lebedev.uro.ran@gmail.com; antanya1306@mail.ru; alesya.zorina44@gmail.com;
dasha_d@ipae.uran.ru; stsenator@yandex.ru; philippov_d@mail.ru

Поступила в редакцию 01.09.2025; поступила после рецензирования 12.09.2025;
принята к публикации 15.09.2025

Аннотация. Летом 2023 года проведено исследование болота Паклинское (Средний Урал, Свердловская область), включающее ботанический, лесоводственный, стратиграфический и газообменный аспекты. Во флоре обнаружено 93 вида сосудистых растений, среди которых семь регионально редких и охраняемых таксонов. Древостой болота представлен преимущественно сосновой обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) трёх возрастных генераций. Несмотря на высокое семеношение (более 60 тыс. шишек/га в год), всходов сосны не наблюдается из-за наличия развитого мощного мохового яруса. Реконструкция окружающей болото лесной растительности показывает схожую динамику со среднеуральскими спорово-пыльцевыми диаграммами. Болотообразовательный процесс в голоцене проходил в евтрофных и проточных условиях и связан с последовательной сменой облесённых травяно-гипновых сообществ древесно-травяными, ивово-осоковыми, открытыми осоково-пушицевыми и переходом в сосново-болотнотравяную низинную стадию. Межкочечные пространства выступают как зоны эмиссии метана, тогда как кочки преимущественно фиксируют CO₂. Наибольшие эмиссии парниковых газов зафиксированы в средних слоях торфяной залежи (100–200 см), что связано с наличием анаэробных процессов разложения органики. Реализованный подход углубляет представления об экологической структуре болотной экосистемы.

Ключевые слова: биоразнообразие, флора, болотообразовательный процесс, газообмен, голоцен, древостой, лесовозобновление, лесные пожары, стратиграфия, Средний Урал

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 123112700111-4 (БС УрО РАН), № 122042700002-6 (ГБС РАН), № 124032100076-2 (ИБВВ РАН).

Для цитирования: Груданов Н.Ю., Третьякова А.С., Кочубей А.А., Лебедев В.А., Антипина Т.Г., Зорина А.А., Диярова Д.К., Сенатор С.А., Филиппов Д.А. 2025. Флора, параметры древостоя, история формирования и газообмен низинного лесного болота (на примере болота Паклинское, Свердловская область). *Полевой журнал биолога*, 7(3): 281–299. DOI: 10.52575/2712-9047-2025-7-3-281-299
EDN: OYMWXU

Flora, Forest Stand Parameters, Formation History, and Gas Exchange of a Eutrophic Forest Mire (a Case Study of the Paklinskoe Mire, Sverdlovsk Region, Russia)

Nickolay Yu. Grudanov¹, Alyona S. Tretyakova¹, Alyona A. Kochubey¹,
Vladimir A. Lebedev¹, Tatyana G. Antipina¹, Alesya A. Zorina¹,
Daria K. Diyarova², Stepan A. Senator³, Dmitriy A. Philippov⁴

¹ Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
202a 8 Marta St, Yekaterinburg 620144, Russia

² Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
200 8 Marta St, Yekaterinburg 620144, Russia

³ Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences,
4 Botanicheskaya St, Moscow 127276, Russia

⁴ Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences,
109 Borok vill., Yaroslavl Region 152742, Russia

E-mail: nickolai.grudanoff@yandex.ru; as.tretyakova1@yandex.ru; 79326010873@yandex.ru;
lebedev.uro.ran@gmail.com; antanya1306@mail.ru; alesya.zorina44@gmail.com;
dasha_d@ipae.uran.ru; stsenator@yandex.ru; philippov_d@mail.ru

Received September 1, 2025; Revised September 12, 2025; Accepted September 15, 2025

Abstract. In the summer of 2023, the research team conducted a study of the Paklinskoe mire (Central Urals, Sverdlovsk Region, Russia), focusing on botanical, silvicultural, stratigraphic, and gas exchange aspects. A total of 93 vascular plant species were revealed in the flora, including seven taxa that are rare and protected on the regional level. The tree stand of the mire is predominantly composed of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from three age generations. Despite high seed production (over 60,000 cones/ha per year), no pine seedlings were observed, which is attributed to the thick moss cover. Reconstruction of the forest vegetation surrounding the mire shows similar dynamics to the Central Uralian spore-pollen diagrams. The mire formation process in the Holocene took place in eutrophic conditions with the release of groundwater and is associated with the successive replacement of forested grass-hypnum communities with woody-grassy, willow-sedge, open sedge-cotton grass communities and the transition to a pine-mire-grass eutrophic stage. Inter-hummock areas act as methane emission zones, while hummocks primarily sequester CO₂. The highest gas emissions were recorded in the middle peat layers (100–200 cm), which is associated with anaerobic organic decomposition processes. The implemented approach deepens our understanding of the ecological structure of the mire ecosystem.

Keywords: biodiversity, flora, mire formation process, gas exchange, Holocene, forest stand, reforestation, forest fires, stratigraphy, Central Urals

Funding: the research was supported by Ministry of Education and Science of Russian Federation, projects no. 123112700111-4 (RASUBIBG), no. 122042700002-6 (MBG RAS), no. 124032100076-2 (IBIW RAS).

For citation: Grudanov N.Yu., Tretyakova A.S., Kochubey A.A., Lebedev V.A., Antipina T.G., Zorina A.A., Diyarova D.K., Senator S.A., Philippov D.A. 2025. Flora, Forest Stand Parameters, Formation History, and Gas Exchange of a Eutrophic Forest Mire (a Case Study of the Paklinskoe Mire, Sverdlovsk Region, Russia). *Field Biologist Journal*, 7(3): 281–299. DOI: 10.52575/2712-9047-2025-7-3-281-299 EDN: OYMWXU

Введение

Торфяные болота являются уникальными экосистемами, имеют биосферное значение, играя особую роль в регуляции глобального углеродного баланса, поддержании биоразнообразия, влияют на гидрологический режим территории, обладают разнообразными ресурсами [Боч, Мазинг, 1988; Торфяные..., 2001; Панов и др., 2009; Инишева и др., 2019; Tanneberger

et al., 2021 и др.]. Они служат природными хранилищами углеродного сырья, влияют на поддержание газового состава атмосферы, выполняя буферную роль в процессах глобального изменения климата [Сирин, 2022; и др.]. В условиях резко меняющегося климата комплексные междисциплинарные исследования болот становятся актуальными, позволяют оценивать современное состояние болотных экосистем и прогнозировать динамику их изменений в будущем [Tsyganov et al., 2021; Филиппов, 2023]. Подобные изыскания могут предполагать, например, выявление и анализ взаимосвязей между растительным покровом, историей формирования торфяной залежи и биогеохимическими процессами, протекающими в болотных системах.

Настоящая работа посвящена одному из низинных торфяных облесённых болот, расположенных на Среднем Урале (болото Паклинское, Свердловская область), и направлена на анализ современного состояния флоры болота, его древостоя, воссоздание картины динамики торфообразования и окружающей растительности, измерение потоков CO_2 и CH_4 . Подобные исследования для Свердловской области нам не известны, они имеют важное значение для понимания структурно-функциональной организации торфяно-болотных экосистем и для решения задач их сохранения и рационального использования. Предварительные результаты этой работы были представлены на профильном научном симпозиуме [Третьякова и др., 2024б].

Материал и методы исследования

Полевые комплексные исследования проведены авторами настоящей работы в июле 2023 года. В качестве модельного объекта было выбрано болото Паклинское (рис. 1). Оно расположено в центральной части Горноуральского городского округа Свердловской области, севернее п. Новоасбест и северо-восточнее п. Вилуй (57.78515°N , 60.30010°E). Болото низинное сильно облесённое с выходами грунтовых вод, площадью $3,40 \text{ km}^2$. Через западную часть болота протекает руч. Большой Павловский (приток р. Вилуй, бассейн Оби, Карского моря). Мощность торфяных залежей достигает $4,4 \text{ m}$ (хотя средняя глубина составляет $1,25 \text{ m}$), преобладают низинные осоковые и древесно-осоковые торфа (степень разложения – 25–45 %, средняя зольность – 11,7 %) [Торфяной..., 1955; Торфяные..., 1976]. С 2001 года болото охраняется как ботанический и гидрологический памятник природы регионального значения¹ на площади $3,47 \text{ km}^2$.

Изучение современной флоры болота выполнено традиционным маршрутным методом. По материалам полевых исследований был составлен сводный список флоры, который был дополнен гербарными данными Музея Института экологии растений и животных УрО РАН (SVER), а также собран гербарий. Образцы переданы в коллекции Ботанического сада УрО РАН (г. Екатеринбург, ЕКАТ), Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (г. Москва, МНА) и Болотной исследовательской группы Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (п. Борок, МIRE). Исходный список флоры был обнародован ранее [Третьякова и др., 2024а]. Номенклатура сосудистых растений в статье приведена в соответствии с международной базой данных «Plants of the World Online» [POWO, 2025], папоротниковых – в соответствии с «Pteridophyte Phylogeny Group» [Hassler, 1994–2025; PPG I, 2016].

Для изучения параметров древостоя и подроста на болоте была заложена пробная площадь² размером $0,95 \text{ га}$, внутри которой работали на 20 учётных площадках по 1 m^2 . Для оценки успешности естественного возобновления был применён ценопопуляционно-микроэкосистемный метод [Санникова, 1992; Санникова и др., 2012]. На пробной площади выполнен сплошной перечёт деревьев (живых экземпляров и сухостоя) с измерением их диаметра

¹ Постановление Правительства Свердловской области от 17 января 2001 года N 41-ПП «Об утверждении Перечней особо охраняемых природных территорий областного значения, расположенных в Свердловской области, и установлении режима особой охраны особо охраняемой природной территории областного значения категории "Лесной парк"».

² ОСТ 56-69-83. «Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки».

на высоте 1,3 м, определена высота деревьев с помощью лазерного дальномера SNDWAYS-1000A. Для определения среднего возраста деревьев были взяты керны возрастным буравом. Измерения годичных колец и прироста древесины в буровых кернах проведены и обработаны с помощью комплекса LINTAB. Для определения возраста предыдущих пожаров были взяты вы-sечки из мест огневых поражений стволов на прилегающей к пробе территории.

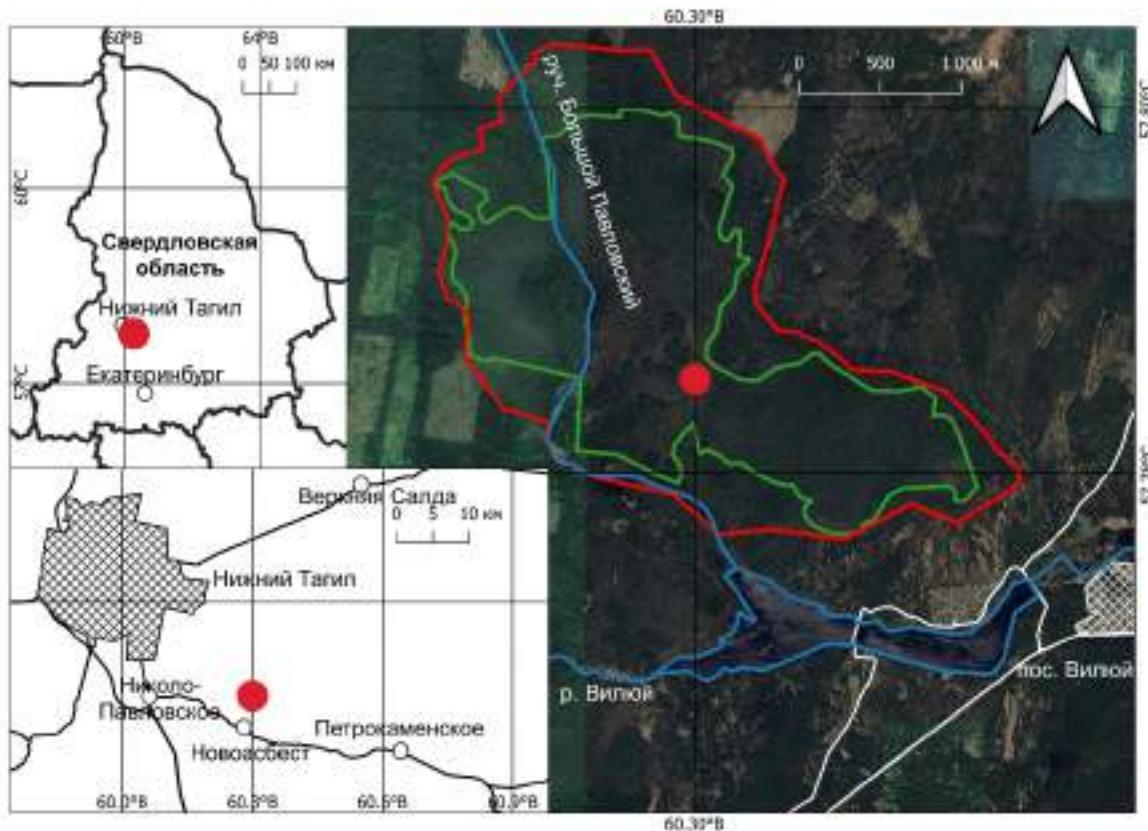


Рис. 1. Географическое положение болота Паклинское (Свердловская область):
красной линией обозначены контуры болотного массива, зелёной – границы особо охраняемой
природной территории

Fig. 1. Geographical location of the Paklinskoe mire (Sverdlovsk Region, Russia):
the red line marks the contours of the mire massif; the green line marks the boundaries of the specially
protected natural area

На каждой учётной площадке характеризовали травянисто-кустарничковый ярус: видовой состав сообщества, его ярусность, частное и общее проективное покрытие каждого яруса. У древесного подроста изучали параметры: численность (шт.), возраст (годы), высота (см), годичные приросты главного терминального побега (см) за последние 3–5 лет, жизнеспособность и диаметр кроны (см). Кроме того, на учётной площадке измеряли высоту кочек, их покрытие, а также определяли люксметром «ТКА ПКМ (31)» интенсивность общей фотосинтетически активной радиации (люксы). Оценку семеношения проводили по методу Лехто [Lehto, 1956], при котором происходит учёт шишек, опавших в моховой очёс на учётной площадке.

Для изучения болотообразовательного процесса, палеоэкологической реконструкции и измерения парниковых газов внутри торфяной толщи был произведен с использованием пробоотборника для почвы и торфяных отложений (торфяного бура) Eijkelkamp (Нидерланды) послойный отбор торфяного керна от поверхности до материнской породы. Взят керн общей мощностью 250 см, из которого отобрано 45 образцов с шагом 5 см. Камеральную обработку образцов торфа производили по утвержденной методике³. Ботанический анализ торфа выполняли на микроскопе AXIO Scope A1 ZEISS при увеличении × 50–100. Таксономическую принадлеж-

³ ГОСТ 28245-89. «Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения».

ность микрофоссилий устанавливали с помощью атласов и определителей растительных остатков основных торфообразователей [Домбровская и др., 1959; Кац и др., 1977]. Химическую переподготовку образцов для спорово-пыльцевого анализа проводили с использованием щелочного метода Л. фон Поста для обработки торфяных отложений [Палеопалинология..., 1966], сепарационного метода В.П. Гричука для минерализованных рыхлых осадков и сепарационного метода разделения осадка в тяжёлой жидкости для обработки минерализованных образцов придонных отложений [Гричук, 1940; Гричук, Заклинская, 1948]. Подготовленные образцы заливали глицерином. При микроскопическом анализе идентификацию таксонов проводили с использованием ряда специализированных определителей [Покровская, 1950; Fægri et al., 1989; Moore et al., 1991; Komárek, Jankovská, 2001; Рудая, 2010]. Материалы ботанического и спорово-пыльцевого анализов вносили в электронные таблицы. Статистическая обработка заключалась в переводе данных с абсолютных в относительные показатели, подсчёте доли группы древесных растений и кустарников (AP), трав и кустарничков (NAP), споровых растений от общей суммы пыльцы и спор, а также доли каждого таксона по отношению к AP в процентах. По результатам этих анализов были построены диаграммы, с использованием компьютерных программ TILIA-2 и TILIA-GRAPH [Grimm, 1990, 1992].

Измерение потоков CO_2 (NEE) и CH_4 проводилось камерным методом с помощью многокомпонентного газоанализатора Gasmet модель DX-4030 ("Gasmet Technologies Oy", Финляндия). Для измерения прозрачную экспозиционную камеру объёмом 1,47 л устанавливали в пределах модельной площади на облесённом низинном болотном участке на различных формах микрорельефа: кочки высотой 20–35 см и понижения между кочек. Время для стабилизации потока CO_2 после установки камеры составляло от 10 до 60 сек. Продолжительность одного измерения составляла 3 мин, повторность трёхкратная, перед каждым последующим измерением камеру проветривали. По разности концентраций CO_2 и CH_4 в начале и в конце экспозиции, а также с учётом времени экспозиции рассчитывали величину потока в $\text{мг } \text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ и $\text{мг } \text{CH}_4 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ [Смагин, 2012; Мигловец и др., 2014].

Для оценки эмиссионной активности торфяной залежи из керна послойно отбирали через каждые 10 см образцы торфа, помещали в экспозиционную камеру объёмом 1,47 дм³. По разности концентраций CO_2 и CH_4 в камере в начале и в конце экспозиции, а также с учётом времени экспозиции (3 мин) рассчитывали скорость эмиссии в $\text{мг } \text{CO}_2 \text{ г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$ и $\text{мг } \text{CH}_4 \text{ г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$. Температуру воздуха и почвы регистрировали с помощью четырёхканального цифрового термометра CENTER (Center, Тайвань) с термопарами К-типа. Абсолютно-сухую массу образцов торфа определяли по завершении экспериментальных работ, высушивая их в камеральных условиях при температуре 105 °C в течение 72 ч.

Результаты исследования и их обсуждение

Флористическое разнообразие. Всего во флоре анализируемого болота представлено 93 вида сосудистых растений, относящихся к 60 родам и 33 семействам. В семейственно-видовом спектре доминируют *Cyperaceae* (11 видов), *Ericaceae* и *Rosaceae* (по 10), *Orchidaceae* и *Salicaceae* (по 5). Наиболее крупными родами являются *Carex* L. (10 видов), *Salix* L. и *Rubus* L. (по 5). Достаточно высокое флористическое разнообразие, вероятно, объясняется наличием болотных участков напорного грунтового питания и облесённым характером фитоценозов [Третьякова и др., 2024a].

По характеру долготного распространения во флоре существенно преобладают голарктические (50 видов), евроазиатские (9) и европейско-западноазиатские (12) виды. Наиболее крупный широтный геоэлемент анализируемой флоры – бореальный (40 видов). Единичных представителей имеет группа «северных» видов: гипоаркто-бореальные и аркто-бореальные (7 и 3 соответственно).

Во флоре изученного болота наблюдается существенное разнообразие жизненных форм. Среди выявленных биоморфологических групп (по классификации И.Г. Серебрякова [1962]) абсолютное большинство составляют поликарпические травы (56 %). В этой группе наиболее представлены корневищные растения (32 вида), а также столонообразу-

ющие и ползучие (7). На втором месте по участию в сложении болотной флоры располагается группа древесных растений (28 видов), причём преобладают кустарниковые формы (13 видов). Группа высших споровых растений насчитывает 9 видов: корневищные травянистые хвощи и корневищные травянистые папоротники (4 и 5 видов соответственно). Монокарпические травы представлены крайне слабо (3 вида).

На болоте Паклинское было зафиксировано пять редких видов (*Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó, *D. incarnata* (L.) Soó, *Goodyera repens* (L.) R.Br. (рис. 2а), *Listera ovata* (L.) R.Br., *Malaxis monophyllos* (L.) Sw.), включённых в региональную Красную книгу [2018]. Кроме того, *Equisetum scirpoides* Michx. (см. рис. 2б) и *Rubus chamaemorus* L., по мнению М.С. Князева с соавторами, являются видами, нуждающимися в охране на территории Свердловской области [Князев и др., 2016, 2019]. Это подчёркивает природоохранную значимость данного болота.



а



б

Рис. 2. Редкие растения на болоте Паклинское (Свердловская область):
а – *Goodyera repens*; б – *Equisetum scirpoides* (фотографии Д.А. Филиппова)
Fig. 2. Rare plants in the Paklinskoe mire (Sverdlovsk Region, Russia):
а – *Goodyera repens*; б – *Equisetum scirpoides* (photos by D.A. Philippov)

Параметры древостоя, естественного возобновления подроста и постпирогенных сукцессий. Параметры древостоя оценены на пробной площади, которая представляет собой участок типичного болотного сообщества – сосново-осоково-кустарничково-сфагнового. Состав древостоя – 9С1Е, относительная полнота древостоя – 0,6–0,7. Преобладающая древесная порода – *Pinus sylvestris* L. (высота до 14,5 м, максимальный диаметр 33 см, бонитет V). *Picea obovata* Ledeb. встречается во всех ярусах древостоя (высота от 3,5 до 13 м (в среднем 9,5), преимущественно относится ко II ярусу). На деревьях отмечены следы пожаров, разновысотные гаревые раны. В составе подлеска отмечен *Juniperus communis* L. Признаков естественного возобновления основных пород (сосна, ель) не обнаружено.

Возрастной анализ кернов показал, что деревья на участках составляют 3 генерации, которые достаточно близки по возрасту [Санников и др., 2004]. Материнский древостой сосны имеет средний возраст 170 лет (с максимумом 190 лет), высоту 13–14,5 м, диаметр 25–33 см; второе поколение представлено деревьями возраста 120–125 лет (диаметр 20–22 см); третье поколение имеет возраст 80–82 года (диаметр 10–17 см, высота 8–10 м). Первые два поколения образуют I ярус, третье поколение преимущественно относится ко II ярусу.

Анализ пожарных выпилов, спилов и кернов позволил ретроспективно проследить достаточно чёткую периодизацию пожаров: древостой горел около 40, 60 и 80 лет назад. Свежих следов гари не было обнаружено. В части спилов и кернов наблюдаются следы пожаров 95- и 120-летней давности. Пожар 120-летней давности косвенно подтверждается наличием второй генерации древостоя 120–125 лет.

Измерение высоты кочек и проективного покрытия живого напочвенного покрова в пределах модельного участка (на 25 учётных площадках по 1 м² каждая) показало, что средняя высота моховых кочек составила $31,5 \pm 12,9$ см (максимум 50 см), осоковых кочек – $40,7 \pm 14,2$ см (максимум 60 см) при средних параметрах. Проективное покрытие достигало 98 %, при среднем значении 87 ± 6 %. Толщина мохового слоя достигала 10 см, в среднем – около 5,5–6 см. Полученные данные говорят о длительном отсутствии огневого поражения, что соответствует полученным пожарным датировкам.

Оценка семеношения сосны по методу Лехто (на основе учёта шишек, опавших в мховой очёс на учётных площадках) [Lehto, 1956] показала, что оно достаточное и вполне обильное для болотного биогеоценоза – $62,2 \pm 13,9$ тыс. га/год, но при этом молодого подроста и всходов хвойных растений обнаружено не было. В основном это объясняется наличием развитого мохового яруса, который не позволяет упавшим семенам успешно укореняться и давать новую генерацию.

Болотообразовательный процесс. Развитие болота Паклинское началось около 10 тыс. лет назад и происходило в условиях постоянного обильного минерального питания и пропо-точности воды. В месте отбора проб болото имело слабо выраженный микрорельеф и харак-теризовалось как низинное напорного грунтового питания болотнотравяно-сфагновое. Тор-фяные залежи мощностью 240 см подстилаются илистыми отложениями и серой глиной. На всём протяжении своего развития болото было низинным, что отражается в накоплении именно низинных торфов (в особенности осоковых и древесно-осоковых) от инициальных до современных этапов развития данного объекта. На нём прослеживается ранее отмеченная закономерность более медленного торфонакопления именно у облесённых болот, нежели у открытых [Кутенков, 2004]. Смена видов торфа в вертикальном профиле залежи отражает смену растительных материнских сообществ во времени (рис. 3).

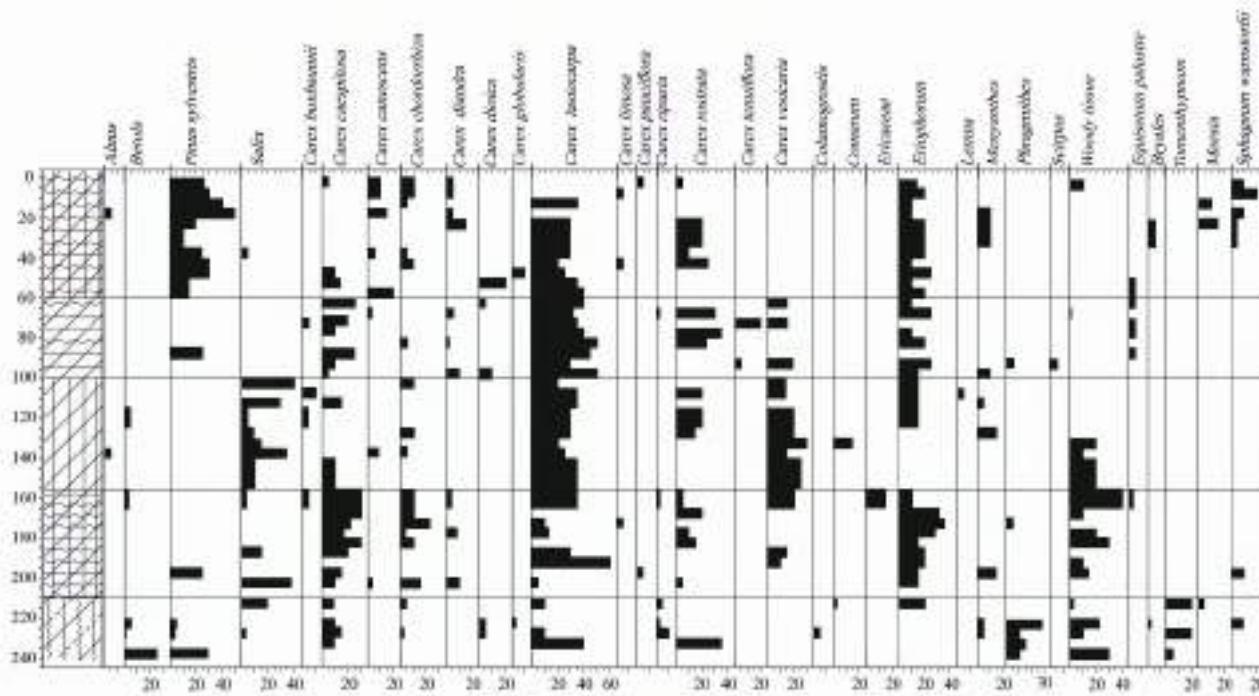


Рис. 3. Диаграмма ботанического состава голоценовых отложений болота Паклинское (Свердловская область)

Fig. 3. Diagram of the botanical composition of the Holocene deposits in the Paklinskoe mire (Sverdlovsk Region, Russia)

Торфонакопление началось с заболачивания берёзово-соснового леса на участках с выклиниванием грунтовых вод. На этой инициальной стадии (240–210 см) активно развивались тростник (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), осоки (*Carex lasiocarpa* Ehrh., *C. cespitosa* L., *C. rostrata* Stokes и др.), а также гипновые мхи (*Tomentypnum nitens* (Hedw.) Loeske). Наличие проточности индицируют доминирующие виды этой стадии – тростник и томентипнум.

На второй стадии (210–155 см) произошло уменьшение влажности болота и падение уровня болотно-грунтовых вод. Из сообщества практически исчезли берёзы (*Betula* sp.), активно начали развиваться пушица (*Eriophorum* L.), дернистая и отчасти волосистоплодная осоки (*Carex cespitosa*, *C. lasiocarpa*).

На следующей стадии (155–100 см) снова произошла смена фитоценозов и на первые роли вышли ивы (*Salix* sp.) и осоки (*Carex lasiocarpa* и отчасти *C. vesicaria* Huds.). Болотный участок стал открытым (закустаренным, но не облесённым).

На четвёртой стадии (100–60 см) исчез кустарниковый ярус, деревья практически не встречались (вероятно, это связано с высокой обводнённостью участка), болото было открытым и травяным (доминировали пушица (*Eriophorum*), осоки *Carex lasiocarpa*, *C. cespitosa*, *C. rostrata*).

Современная стадия (60–0 см) связана с началом облесения болота, активным формированием древесного яруса из *Pinus sylvestris*, среди травянистых растений сохранение доминирующих позиций у осок, а также появление сфагновых мхов (прежде всего *Sphagnum warnstorffii* Russow, который является индикатором низинных ключевых болот).

В развитии болота активную роль играют осоки. Так, *Carex lasiocarpa* и *C. cespitosa*, как правило, произрастают на травяных и травяно-моховых низинных или переходных болотах. Наличие этих осок во всех стадиях указывает на высокую обводнённость и богатое минеральное питание. Однако *C. cespitosa* (рис. 4) может произрастать лишь в условиях периодического затопления водой и легко переносит засушливые периоды в течение вегетационного сезона. *Carex rostrata* часто покрывает обширные площади с высоким стоянием уровня грунтовых вод. Подчеркнём, что в структуре торфяных залежей последние два вида осок по-очередно сменяют друг друга, редко встречаются совместно, что позволяет проследить периоды понижения и повышения обводнённости болота (например, 20–40 см, 60–65 см, 115–130 см). Остатки осок *Carex limosa* L. и *C. pauciflora* Lightf. в торфе отмечаются крайне редко, что объясняется их меньшей требовательностью к минеральному питанию, поэтому они тяготеют в основном к олиготрофным болотам [Солоневич, 1956].



Рис. 4. *Carex cespitosa* на болоте Паклинское (Свердловская область)
(фотография Д.А. Филиппова)

Fig. 4. *Carex cespitosa* on the Paklinskoe mire (Sverdlovsk Region, Russia)
(photo by D.A. Philippov)

В целом в истории развития болота можно выделить пять основных этапов (или палеосообществ), последовательно сменяющих друг друга: 1) древесно-тростниково-осоково-гипновый (*Pinus sylvestris* + *Betula pubescens* – *Phragmites australis* + *Carex* – *Tomentypnum nitens*); 2) древесно-дернистоосоково-пушицевый (*Pinus sylvestris* – *Carex cespitosa* + *Eriophorum*); 3) ивово-осоковый (*Salix* – *Carex lasiocarpa* + *Carex vesicaria*); 4) осоково-пушицевый (*Carex lasiocarpa* + *Eriophorum*); 5) сосново-осоково-пушицевый (*Pinus sylvestris* – *Carex lasiocarpa* + *Eriophorum*). С момента образования фитоценозов и до настоящего времени их состав относительно мало изменялся, наблюдались небольшие колебания долевого участия ряда видов, характерных в основном для низинных болот. В современном покрове преобладают сосновые, сосново-березовые, сосново-еловые болотнотравяно-гипновые и болотнотравяные евтрофные сообщества (рис. 5).



Рис. 5. Современная растительность болота Паклинское (Свердловская область)
(фотография Д.А. Филиппова)

Fig. 5. Modern vegetation of the Paklinskoe mire (Sverdlovsk Region, Russia)
(photo by D.A. Philippov)

Помимо ботанического анализа торфов был выполнен спорово-пыльцевой анализ, позволивший реконструировать окружающую болото растительность. Всего было выделено пять основных палинозон (рис. 6). На рисунке римскими цифрами от II до VI обозначены номера палинозон, также дополнительно выделены подзоны, отражающие важные изменения в спектрах (а – ранний, б – поздний). Номера унифицированы, согласуются с другими уральскими диаграммами [Хотинский, 1977]: I – позднеледниковые, II – пре boreальный период, III – бореальный; IV – атлантический; V – суб boreальный; VI – субатлантический. Характер палиноспектров и кластерный анализ помог выделить катастрофические климатические события 8,2 и 4,2 ka, разбивающие колонку на ранний, средний и поздний голоцен, соответствующие современному делению голоцена на стадии Greenland, North Grippian и Meghalay [Walker et al., 2019]. Ниже дана характеристика отдельных палинозон.

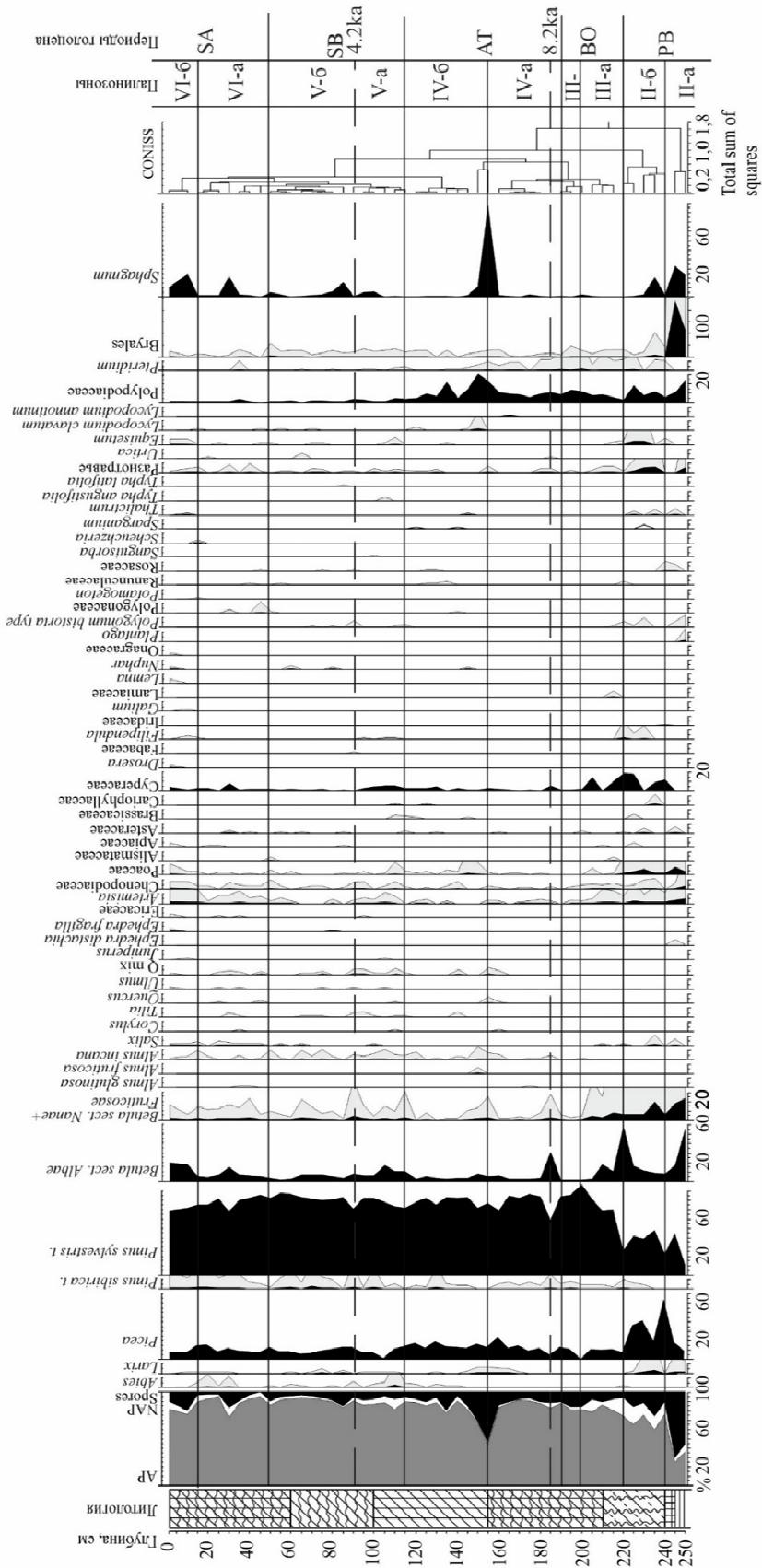


Рис. 6. Спорово-пыльцевая диаграмма болота Паклинское (Свердловская область)
(пояснения см. в тексте)

Fig. 6. Spore-pollen diagram of the Paklinskoe mire (Sverdlovsk Region, Russia)
(see text for explanation)

Палинозона II-а (250–240 см) объединяет слои глины и илистых отложений. Сумма древесных растений (далее – АР) составляет 25–40 % от общей суммы пыльцы и спор. Доминирует пыльца берёз (*Betula* sect. *Albae*) – 56 % от суммы АР; доля кустарниковых берёз (*Betula* sect. *Nanae* + *Fruticosae*) – 23 %; пыльца сосны (*Pinus sylvestris*) – 10 % и ели (*Picea*) – 9 %. В группе трав выделяется комплекс ветроопыляемых растений (около 13 % от группы АР): полынь (*Artemisia* L.), маревые (*Chenopodiaceae*) и злаковые (*Poaceae*). Споровый комплекс занимает значительную долю в спектре, доминируют гипновые мхи (110–240 % от суммы АР) (судя по ботаническому составу торфов из данного слоя это *Tomentypnum nitens* и *Meesia triquetra* (Jolycl.) Ångstr.), отмечены также сфагновые мхи (*Sphagnum* L.) 23–32 % и папоротниковые (*Polypodiophyta*) – 11–23 %. Такие особенности палиноспектров характеризуют открытые ландшафты с отдельными участками редколесий в раннем голоцене, распространённые на Среднем Урале. Также участки понижений и окраины болот покрыты берёзовыми ерниками. Климатические условия умеренно холодные и влажные.

Палинозона II-б (240–210 см), слой тростниково-гипнового низинного торфа. Палинокомплекс начинается с нижнего абсолютного максимума ели 64 % на глубине 240 см и пика 36–41 % (230–225 см), доля сосны от 22 до 70 % (215 см), содержание древовидных берёз сокращается до 10–20 %, присутствует пыльца лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.), сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) и ивы, доля ветроопыляемых снижается, а мезофильных трав (за счёт лугового разнотравья) увеличивается. Локальная болотная растительность представлена Сулерасеае, сфагновыми мхами (образуют небольшой пик (21 %) на глубине 235 см), *Polypodiaceae* (10–20 %). Растительность реконструируется как елово-берёзовые редкостойные леса и сосновые на дренированных участках, открытые участки лугов в понижениях и евтрофные болота с кустарниковой растительностью. Климатические условия континентальные и более сухие, хронологически могут соответствовать позднему преобразу.

Палинозона III-а (220–200 см) объединяет слои низинных гипново-тростникового и древесного торфов. Палиноспектры характеризуются доминированием пыльцы древесных растений (74–82 %), в том числе отмечается резкий рост содержания пыльцы *Pinus sylvestris* от 26 до 97 % – абсолютный максимум, тогда доля ели снижается до 11 %, а берёзы – с 59 до 2 %. В травянистой части спектров в целом уменьшается разнообразие таксонов, снижается участие ветроопыляемых трав. Из споровых растений практически исчезают мхи, доля папоротниковых изменяется от 3 % в нижней части до 11 % – в верхней. Такие изменения в спектрах отражают распространение сосновых лесов на анализируемой территории.

Палинозона III-б (200–190 см), слой древесного торфа. Спектры отличает уменьшение содержания сосны и небольшой рост кривой ели (до 13 %). В спектрах споровые растения представлены папоротниковыми. Спектры отражают начало похолодания.

Палинозона IV-а (190–155 см), слой древесного торфа. Тренд на похолодание и иссушение климата сохраняется. На глубине 185 см происходит падение кривой сосны (до 59 %), исчезновение пыльцы ели, ему соответствует небольшой пик пыльцы древовидных берёз (31 %) и кустарниковых берёз, отмечается также минимальное содержание пыльцы трав и споровых растений. Этот уровень может быть сопоставим с событием 8,2 ka – сухим похолоданием. Выше этого уровня начинается рост кривой сосны и достигает 84 %, увеличивается содержание ели до 10–13 %, увеличивается содержание спор папоротниковых с 10 до 23 %. Все изменения указывают на потепление и увлажнение климата в среднем голоцене.

Палинозона IV-б (155–115 см), слой древесно-осокового торфа. Нижняя граница палинозоны выделяется по максимуму спор сфагновых мхов и папоротниковых, небольшому увеличению доли кустарниковых берёз. Палинокомплекс характеризуется высоким содержанием пыльцы древесных растений (до 82–90 %). Среди древесных растений доминирует пыльца *Pinus sylvestris* на уровне 73–83 %, доля пыльцы ели колеблется в пределах 12–19 %, в составе спектров появляется пыльца пихты (*Abies sibirica* Ledeb.), вяза (*Ulmus* L.), липы

(*Tilia* L.), ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench), возрастает содержание пыльцы мезофильных трав. Все эти особенности указывают на значительное потепление и увлажнение климата в среднем голоцене первой половины атлантического периода.

Палинозона V-а (115–90 см) объединяет слои древесно-осокового и пушицево-осокового торфов. Для спектров палинозоны характерно высокое содержание древесных (прежде всего *Pinus sylvestris*). Участие ели незначительно уменьшается, присутствует пыльца пихты, сосны сибирской, ольхи серой, также увеличивается участие широколиственных пород (в частности лещины (*Corylus*) и дуба (*Quercus* L.)). Локальная часть спектра включает пыльцу осоковых, рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.), папоротников (Polypodiaceae, *Pteridium* Gled. ex Scop.) и хвощей (*Equisetum* L.). Палинокомплекс описывает тёплые и влажные условия раннего суб boreала.

Палинозона V-б (90–50 см) объединяет слои пушицево-осокового и древесно-пушицево-осокового торфа. Нижняя граница проведена на уровне падения кривой сосны, сокращение широколиственных пород и пика кустарниковых берёз. Характер спектров фиксирует похолодание (хоть и незначительное), сопоставимое с событием 4,2 ka. Спектры выше имеют следующие отличия: появление пыльцы лиственницы, ив, пики кустарниковых берёз, исчезновение пыльцы пихты, дуба и лещины. Все эти изменения указывают на похолодание климата в позднем голоцене.

Палинозона VI-а (50–15 см), часть слоя древесно-пушицево-осокового торфа. Спектры характеризуют уменьшение содержания *Pinus sylvestris* с 88 до 74 %, доля ели несколько возрастает (с 8 до 15 %), постоянное присутствие *Pinus sibirica*. Пик берёзы на уровне 30 см соответствует минимуму сосны и отражает сукцессионную смену древостоя (под действием пожаров, либо в результате естественных процессов). Отмечено увеличение широколиственных пород (появляется пыльца лещины и дуба). В травянистой части спектров присутствует пыльца ветроопыляемых трав, разнотравья и осоковых.

Палинозона VI-б (верхние 15 см), древесно-пушицево-осоковый торф. Спорово-пыльцевой комплекс отражает формирование растительности современного облика: уменьшение пыльцы сосны на 10–14 % и ели до 10 %, возрастание содержания пыльцы берёзы.

В целом, по результатам ботанического и спорово-пыльцевого анализов отложений болота Паклинское и сопоставлению этих материалов с таковыми, имеющимися для других торфяных болот Среднего Урала [Zaretskaya et al., 2014; Panova Antipina, 2016; Panova, Antipina, 2017; и др.], можно реконструировать динамику лесной и болотной растительности анализируемой территории, начиная с раннего голоцена (около 10 тыс. лет назад).

Ранний голоцен (~10–8,2 тыс. лет назад). Спорово-пыльцевые спектры описывают раннеголоценовое потепление. С повышением испаряемости уровень водоёмов понижался, начались процессы эвтрофирования и заторфования. На мелководьях поселялись гипновые мхи, сосудистые макрофиты и кустарники. Болото переживало эвтрофную стадию развития, связанную с развитием древесной болотной растительности, сменяющую травяные и травяно-гипновые ценозы. В окружающих ландшафтах (сочетающих открытые участки мелководий, степные и тундровые элементы, редколесья из ели и лиственницы) на дренируемых возвышенностях встречалась сосна обыкновенная. Во второй половине преобреального периода повысилась сомкнутость древостоев, елово-лиственничные леса сменили редколесья. В бореальном периоде (10–9 тыс. лет назад) в условиях нового потепления климата в лесах уже доминируют берёзы, получают распространение сосново-берёзовые леса. Им на смену, благодаря увеличению роли *Pinus sylvestris*, около 8,8 тыс. лет пришли елово-берёзово-сосновые леса.

Средний голоцен (8,2–4,2 тыс. лет назад). На болоте преобладают осоковые фитоценозы, а наличие древесного яруса может указывать на проточный режим и привнос дополнительного количества минеральных веществ. Древесно-осоковые палеосообщества откладывают соответствующие низинные торфа. Позднее (в результате повышения уровня болотных вод) фитоценозы изменяются: вместо доминирующих древесных растений

приходят болотные травы (в особенности пушица). Окружающая болото растительность представлена елово-сосновыми лесами с участием также пихты, сосны сибирской и широколиственных пород, что соответствует тёплым и достаточно влажным условиям термического оптимума голоцена.

Поздний голоцен (последние 4,2 тыс. лет). Колебания гидрологического режима (за счёт участия в питании болота проточных вод ручья и напорных грунтовых вод) фиксируются болотной растительностью. Верхние 60 см залежи свидетельствуют о более засушливых условиях и повторному облесению данного болотного участка. На данном этапе развития наблюдается появление сфагновых мхов. Окружающая лесная растительность позднего голоцена всё больше приобретает современный облик: уменьшается участие широколиственных пород, несколько снижается обилие *Pinus sylvestris*, возрастает роль берёзы. Климатические условия более прохладные.

Газообмен. В результате исследования потоков парниковых газов на модельном участке болота Паклинское (табл. 1) зафиксировано, что средняя величина CO_2 для положительных микроформ составила $-14,29 \pm 0,83 \text{ мг CO}_2 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, а для межкочечных понижений – $36,72 \pm 4,16 \text{ мг CO}_2 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, что ярко подчёркивает влияние микрорельефа как на направление потока CO_2 , так и на его величину, что ранее отмечали уже и другие исследователи [Михайлов и др., 2011].

Таблица 1
 Table 1

Потоки CO_2 и CH_4 на разных участках микрорельефа низинного лесного болота ($m \pm SE$)
 CO_2 and CH_4 fluxes in different areas of the microrelief of a eutrophic forest mire ($m \pm SE$)

Микрорельеф	Т, °C почва	Т, °C воздух	мг $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$	мг $\text{CH}_4 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$
Кочка ($n = 12$)	$21,85 \pm 3,56$	$26,1 \pm 0,36$	$-14,29 \pm 0,83$	$2,12 \pm 0,29$
Межкочечное пространство ($n = 14$)	$15,42 \pm 1,19$	$25,8 \pm 0,17$	$36,72 \pm 4,16$	$7,41 \pm 0,64$

Для CH_4 наиболее высокие значения характерны для межкочий – $7,41 \pm 0,64 \text{ мг CH}_4 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ против $2,12 \pm 0,29 \text{ мг CH}_4 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ для кочек, что также согласуется с результатами работ коллег [Шнырев, Глаголев, 2007]. Также следует отметить тесную связь потока метана с температурой почвы как для кочек ($r = 0,45, p = 0,04$), так и для межкочечных пространств ($r = 0,68, p = 0,01$).

В таблице 2 представлены усреднённые значения эмиссии диоксида углерода и метана, а также качественный состав других газообразных соединений в зависимости от глубины залегания торфа. Наибольшее количество сопутствующих продуктов, а также максимальные значения потоков CO_2 и CH_4 обнаружены на глубине от 1,0 до 2,0 м, минимальные – от 2,0 до 2,4 м (придонные слои).

Таблица 2
 Table 2

Потоки CO_2 и CH_4 в торфяной залежи болота Паклинское (Свердловская область)
 на различной глубине ($m \pm SE$)

CO_2 and CH_4 fluxes in the peat deposit of the Paklinskoe mire (Sverdlovsk Region, Russia)
 at different depths ($m \pm SE$)

Глубина, см	мг $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$	мг $\text{CH}_4 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$	Сопутствующие продукты
0–50	$9,33 \pm 1,98$	$0,11 \pm 0,01$	$\text{C}_2\text{H}_6, \text{NO}, \text{N}_2\text{O}$
50–100	$7,63 \pm 0,57$	$0,15 \pm 0,01$	$\text{C}_2\text{H}_6, \text{NO}, \text{N}_2\text{O}$
100–150	$10,71 \pm 1,54$	$1,24 \pm 0,08$	$\text{C}_2\text{H}_6, \text{NO}, \text{CH}_3\text{Cl}, \text{N}_2\text{O}, \text{NH}_3$
150–200	$10,66 \pm 1,21$	$1,23 \pm 0,04$	$\text{C}_2\text{H}_6, \text{NO}, \text{CH}_3\text{Cl}$
200–240	$4,56 \pm 0,19$	$0,09 \pm 0,02$	$\text{C}_2\text{H}_6, \text{NO}$

Заключение

Выполненное в 2023 году комплексное исследование болота Паклинское (Свердловская область) позволило получить разноплановое представление об экологических характеристиках одного из типичных низинных облесённых болот Среднего Урала, одновременно выполняющего функции гидрологического, биологического и углеродно-аккумулирующего природного объекта. Ниже приведены некоторые выводы.

1) Флора болота отличается высокой таксономической насыщенностью (93 вида сосудистых растений). Флористическая структура указывает на богатое минеральное питание и водонасыщенность местообитания. На болоте произрастает семь регионально редких и охраняемых таксонов. Это подчёркивает ценность болота для сохранения биологического разнообразия Среднего Урала.

2) Древостой болота представлен преимущественно сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*) 3 возрастных генераций. Несмотря на высокое семеношение (более 60 тыс. шишек/га в год), всходов хвойных пород не наблюдается, что объясняется мощным моховым покровом и неблагоприятными микрогидрологическими условиями для прорастания семян.

3) Болотообразовательный процесс связан со сменой облесённых травяно-гипновых сообществ сначала древесно-травяными, потом ивово-осоковыми, затем открытыми осоково-пушицевыми и переход в сосново-болотнотравяную низинную стадию. Это указывает на длительный процесс естественного развития болота в голоцене без изменения трофического статуса, сопровождаемый чередованием климатически обусловленных фаз повышенной и пониженной обводнённости.

4) Реконструкция окружающей болото лесной растительности показывает схожую динамику со среднеуральскими диаграммами: а) ранний голоцен – формирование редколесий и лесов; б) средний голоцен – доминирование сосновых лесов, при этом в оптимум голоцена леса наиболее богаты по видовому составу и характеризуются как смешанные – хвойные с подлеском из широколиственных древесных растений; в) поздний голоцен – с трендом на похолодание происходит обеднение дендрофлоры, за счёт выпадения широколиственных пород, лесная растительность приобретает современный облик.

5) Газообменные параметры (потоки CO_2 и CH_4), измеренные как на поверхности, так и по профилю торфяной залежи, демонстрируют вариабельность, обусловленную микрорельефом (кочки/межкочки), глубиной торфа и температурным режимом. Межкочечные пространства выступают как основные зоны эмиссии метана, тогда как кочки преимущественно фиксируют CO_2 . Наибольшие эмиссии газов зафиксированы в средних слоях торфа (100–200 см), что связано с наличием анаэробных процессов разложения органики, эти данные согласуются с результатами ботанического анализа, условиями обводнённости.

В целом комплексный подход, сочетающий ботанический, спорово-пыльцевой, лесоводственный, стратиграфический и газообменный анализы, позволяет выявить и лучше представить внутренние взаимосвязи между структурными компонентами болотной экосистемы. Только на основании сопряжённого анализа можно оценить стабильность болотных биоценозов, проследить исторические и современные фазы болотообразования, определить роль болота в глобальных углеродных потоках, выработать рекомендации по сохранению редких природных объектов. Особенно актуально это для Уральского региона, где значительная часть болот подверглась осушению, пожарам и нарушению гидрологического режима.

Список литературы

- Боч М.С., Мазинг В.В. 1988. Ресурсы болот СССР: их оценка и использование. *Растительные ресурсы*, 24(1): 3–12.
- Гричук В.П. 1940. Методика обработки осадочных пород, бедных органическими остатками, для целей пыльцевого анализа. *Проблемы физической географии*, 8: 53–58.
- Гричук В.П., Заклинская Е.Д. 1948. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М., Географгиз, 175 с.

- Домбровская А.В., Коренева М.М., Тюремнов С.Н. 1959. Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе. М., Л., Гос. энергет. изд-во, 90 с. + 69 л.
- Инишева Л.И., Порохина Е.В., Сергеева М.А., Кобак К.И. 2019. Торфяные болота и их биосферная роль. *Биосфера*, 11(3): 128–133. DOI: 10.24855/biosfera.v11i3.509129
- Кац Н.Я., Кац С.В., Скобеева Е.И. 1977. Атлас растительных остатков в торфах. М., Недра, 371 с.
- Князев М.С., Золотарёва Н.В., Подгаевская Е.Н., Третьякова А.С., Куликов П.В. 2016. Конспект флоры Свердловской области. Часть I: споровые и голосеменные растения. *Фиторазнообразие Восточной Европы*, 10(4): 11–41.
- Князев М.С., Чкалов А.В., Третьякова А.С., Золотарёва Н.В., Подгаевская Е.Н., Пакина Д.В., Куликов П.В. 2019. Конспект флоры Свердловской области. Часть V: двудольные растения (Rosaceae). *Фиторазнообразие Восточной Европы*, 13(4): 305–352. DOI: 10.24411/2072-8816-2019-10056
- Красная книга Свердловской области. 2018. Животные, растения, грибы. Екатеринбург, ООО «Мир», 450 с.
- Кутенков С.А. 2004. Эколого-ценотическая структура и динамика болотных лесов Карелии. Дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 189 с.
- Мигловец М.Н., Загирова С.В., Михайлов О.А. 2014. Эмиссия метана в растительных сообществах мезо-олиготрофного болота средней тайги. *Теоретическая и прикладная экология*, 1: 93–98.
- Михайлов О.А., Загирова С.В., Мигловец М.Н., Шнайдер Ю., Гажович М., Кутцбах Л. 2011. Оценка потоков диоксида углерода в растительных сообществах мезо-олиготрофного болота средней тайги. *Теоретическая и прикладная экология*, 2: 44–51.
- Палеопалинология. Т. 1. Методика палеопалинологических исследований и морфология некоторых ископаемых спор, пыльцы и других растительных микрофоссилий. 1966. Л., Недра, 372 с.
- Панов В.В., Ямпольский А.Л., Лопатин К.И., Толстограй В.И. 2009. Торфяные болота: окружающая среда, ресурсы и политика. *Вестник Нижневартовского государственного гуманитарного университета*, 1: 46–49.
- Панова Н.К., Антипина Т.Г. 2017. Голоценовая история лесов на восточном склоне Среднего Урала. *Леса России и хозяйство в них*, 3: 53–64.
- Покровская И.М. 1950. Пыльцевой анализ. М., Госгеолитиздат, 533 с.
- Рудая Н.А. 2010. Палинологический анализ: Учебно-методическое пособие. Новосибирск, НГУ, 48 с.
- Санников С.Н., Санникова Н.С., Петрова И.В. 2004. Естественное лесовозобновление в Западной Сибири (эколого-географический очерк). Екатеринбург, УрО РАН, 198 с.
- Санникова Н.С. 1992. Микроэкосистемный анализ ценопопуляций древесных растений. Екатеринбург, Наука, 64 с.
- Санникова Н.С., Манников С.Н., Петрова И.В., Мищихина Ю.Д., Черепанова О.Е. 2012. Факторы конкуренции древостоя-эдификатора: количественный анализ и синтез. *Экология*, 6: 403–409.
- Серебряков И.Г. 1962. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М., Высшая школа, 377 с.
- Сирин А.А. 2022. Болота и антропогенно-измененные торфяники: углерод, парниковые газы, изменение климата. *Успехи современной биологии*, 142(6): 560–577. DOI: 10.31857/S0042132422060096
- Смагин А.В. 2012. Теория и практика конструирования почв. М., Изд-во Моск. ун-та, 544 с.
- Солоневич Н.Г. 1956. Материалы к эколого-биологической характеристике болотных трав и кустарников. В кн.: Растительность Крайнего Севера СССР и её освоение. Вып. 2. М., Л., Изд-во АН СССР: 307–497.
- Торфяной фонд Свердловской области (по состоянию разведанности на 01.01.55). 1955. Москва, 419 с.
- Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации. 2001. М., ГЕОС, 190 с.
- Торфяные месторождения Свердловской области. 1976. Москва, 500 с.
- Третьякова А.С., Груданов Н.Ю., Сенатор С.А., Шилов Д.С., Филиппов Д.А. 2024а. Флора некоторых охраняемых болот южной части Свердловской области. Сообщение 3. *Растительный мир Азиатской России*, 17(3): 204–215. DOI: 10.15372/RMAR20240303
- Третьякова А.С., Кочубей А.А., Лебедев В.А., Груданов Н.Ю., Диярова Д.К., Сенатор С.А., Филиппов Д.А. 2024б. Флора, параметры древостоя и газообмен низинного лесного болота (на примере болота Паклинское, Свердловская область). В кн.: Западно-сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настояще. Материалы Седьмого международного полевого симпозиума. Томск, изд-во Томского гос. университета: 49–51.

- Филиппов Д.А. 2023. Структура и системная организация гидробиоценозов болот. Дис. ... докт. биол. наук. Борок, 589 с.
- Хотинский Н.А. 1977. Голоцен Северной Евразии. М., Наука, 200 с.
- Шнырев Н.А., Глаголев М.В. 2007. Характерные значения потоков метана из болот Западной Сибири. В кн.: Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: Прошлое и настоящее. Материалы второго международного полевого симпозиума (г. Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.). Томск, изд-во НТЛ: 144–146.
- Fægri K., Kaland P.E., Krzywinski K. 1989. Textbook of Pollen Analysis. 4th edition. Chichester, Wiley, 328 p.
- Grimm E.C. 1990. TILIA and TILIA GRAPH: PC spreadsheet and graphics software for pollen data. *INQUA Working Group on Data-Handling Methods. Newsletter*, 4: 5–7.
- Grimm E.C. 1992. TILIA 1.11 and TILIA GRAPH 1.17. Springfield, Illinois State Museum, Research and Collection Center, 65 p.
- Hassler M. 1994–2025. World Ferns. Synonymic Checklist and Distribution of Ferns and Lycophytes of the World. Version 25.08. URL: www.worldplants.de/ferns/ (update August 18, 2025; accessed August 29, 2025).
- Komárek J., Jankovská V. 2001. Review of the Green Algae Genus *Pediastrum*: implication for pollen analytical research. *Bibliotheca Phycologica*, 108: 1–128.
- Lehto J. 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla. *Acta Forestalia Fennica*, 66(2): 1–106.
- Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. 1991. Pollen analysis. Second edition. Blackwell Science, 216 p.
- Panova N.K., Antipina T.G. 2016. Late Glacial and Holocene Environmental History on the Eastern Slope of the Middle Ural Mountains, Russia. *Quaternary International*, 420: 76–89. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.10.035
- POWO. 2025. Plants of the World Online. URL: <https://powo.science.kew.org> (дата обращения: 30.07.2025).
- PPG I. 2016. A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution*, 54(6): 563–603. DOI: 10.1111/jse.12229
- Tanneberger F., Joosten H., Moen A., Barthelmes A., Tegetmeyer C., Lewis E., Miles L., Sirin A. 2021. Mires in Europe—Regional Diversity, Condition and Protection. *Diversity*, 13(8): 381. DOI: 10.3390/D13080381
- Tsyganov A.N., Zarov E.A., Mazei Y.A., Kulkov M.G., Babeshko K.V., Yushkovets S.Y., Payne R.J., Ratcliffe J.L., Fatyunina Y.A., Zazovskaya E.P., Lapshina E.D. 2021. Key periods of peatland development and environmental changes in the middle taiga zone of Western Siberia during the Holocene. *Ambio*, 50(11): 1896–1909. DOI: 10.1007/s13280-021-01545-7
- Walker M., Head M. J., Lowe J., Berkelhammer M., Björck, S., Cheng H., Cwynar L.C., Fisher D., Gkinis V., Long A., Newnham R., Rasmussen O.S., Weiss H. 2019. Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalization of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes. *Journal of Quaternary Science*, 34(3): 173–186. DOI: 10.1002/jqs.3097
- Zaretskaya N.E., Panova N.K., Antipina T.G., Zhilin M.G., Uspenskaya O.N., Savchenko S.N. 2014. Geochronology, stratigraphy, and evolution of Middle Uralian peatlands during the Holocene (exemplified by the Shigir and Gorbunovo peat bogs). *Stratigraphy and Geological Correlation*, 22(6): 632–654. DOI: 10.1134/S0869593814060082

References

- Botch M.S., Mazing V.V. 1988. Resursy bolot SSSR: ikh otsenka i ispol'zovaniye [Resources of the USSR mires: their assessment and use]. *Rastitelnye Resursy*, 24(1): 3–12.
- Grichuk V.P. 1940. Metodika obrabotki osadochnykh porod, bednykh organicheskimi ostatkami, dlya tseley pyl'tsevogo analiza [Procedure for processing sedimentary rocks poor in organic remains for pollen analysis]. *Problemy fizicheskoy geografii*, 8: 53–58.
- Grichuk V.P., Zaklinskaya E.D. 1948. Analiz iskopayemykh pyl'tsy i spor i yego primeneniye v paleogeografii [Analysis of fossil pollen and spores and its application to paleogeography]. Moscow, Geografgiz, 175 p.
- Dombrovskaya A.V., Koreneva M.M., Tyuremnov S.N. 1959. Atlas rastitel'nykh ostatkov, vstrechaemykh v torfe [Atlas of vegetative remains marked in peat]. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat, 90 + 69 p.

- Inisheva L.I., Porokhina Ye.V., Sergeyeva M.A., Kobak K.I. 2019. Peatlands and their role in the biosphere. *Biosfera*, 11(3): 128–133 (in Russian). DOI: 10.24855/biosfera.v11i3.509129
- Katz N.Ya., Katz S.V., Skobeeva E.I. 1977. Atlas rastitel'nykh ostatkov v torfakh [Atlas of plant remains in peat]. Moscow, Nedra, 371 p.
- Knyazev M.S., Zolotareva N.V., Podgaevskaya E.N., Tretyakova A.S., Kulikov P.V. 2016. Annotated checklist of the flora of Sverdlovsk Region. Part I: Spore and Gymnosperms plants. *Phytodiversity of Eastern Europe*, 10(4): 11–41 (in Russian).
- Knyazev M.S., Chkalov A.V., Tretyakova A.S., Zolotareva N.V., Podgaevskaya E.N., Pakina D.V., Kulikov P.V. 2019. Annotated checklist of the flora of Sverdlovsk Region. Part V: Dicotyledonous plants (Rosaceae). *Phytodiversity of Eastern Europe*, 13(4): 305–352 (in Russian). DOI: 10.24411/2072-8816-2019-10056
- Red Data Book of the Sverdlovsk Region. 2018. Animals, plants, fungi. Yekaterinburg, OOO "Mir", 450 p. (in Russian).
- Kutakov S.A. 2004. Ekologo-tsenoticheskaya struktura i dinamika bolotnykh lesov Karelii [Ecological and cenotic structure and dynamics of swamp forests of Karelia]. Diss. ... cand. biol. sciences. Petrozavodsk, 189 p.
- Miglovec M.N., Zagirova S.V., Mikhaylov O.A. 2014. Methane emission in plant communities of meso-oligotrophic peatland of middle taiga. *Theoretical and Applied Ecology*, 1: 93–98 (in Russian).
- Mikhaylov O.A., Zagirova S.V., Miglovec M.N., Schneider J., Gažovič M., Kutzbach L. 2011. Evaluation of fluxes of carbon dioxide in vegetative communities of the meso-oligotrophic bog in the middle taiga. *Theoretical and Applied Ecology*, 2: 44–51 (in Russian).
- Paleopalinologiya. T. 1. Metodika paleopalinologicheskikh issledovaniy i morfologiya nekotorykh iskopayemykh spor, pyl'tsy i drugikh rastitel'nykh mikrofossiliy [Paleopalynology. Vol. 1. Methods of paleopalynological studies and morphology of some fossil spores, pollen and other plant microfossils]. 1966. Leningrad, Nedra, 372 p.
- Panov V.V., Yampolskiy A.L., Lopatin K.I., Tolstogray V.I. 2009. Torfyanyye bolota: okruzhayushchaya sreda, resursy i politika [Peat bogs: Environment, Resources and Policy]. *Bulletin of Nizhnevartovsk State Human University*, 1: 46–49.
- Panova N.K., Antipina T.G. 2017. Holocene history of forests on the eastern slope of the Middle Urals. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh*, 3: 53–64.
- Pokrovskaya I.M. 1950. Pyl'tsevoy analiz [Pollen analysis]. Moscow, Gosgeolitizdat, 533 p.
- Rudaya N.A. 2010. Palinologicheskiy analiz: Uchebno-metodicheskoye posobiye [Palynological analysis: tutorial]. Novosibirsk, NSU, 48 p.
- Sannikov S.N., Sannikova N.S., Petrova I.V. 2004. Yestestvennoye lesovozobnovleniye v Zapadnoy Sibiri (ekologo-geograficheskiy ocherk) [Natural reforestation in Western Siberia (ecological and geographical essay)]. Yekaterinburg, UrO RAN, 198 p.
- Sannikova N.S. 1992. Mikroekosistemnyy analiz tsenopopulyatsiy drevesnykh rasteniy [Microecosystem analysis of woody plant coenopopulations]. Yekaterinburg, Nauka, 64 p.
- Sannikova N.S., Sannikov S.N., Petrova I.V., Mishchikhina Y.D., Cherepanova O.E. 2012. Competition factors of edificator tree stand: quantitative analysis and synthesis. *Ekologiya*, 6: 403–409 (in Russian).
- Serebriakov I.G. 1962. Ekologicheskaya morfologiya rasteniy. Zhiznennyye formy pokrytosemennykh i khvoynyykh [Ecological morphology of plants. Growth forms of Angiosperms and Conifers]. Moscow, Publ. Vysshaya shkola, 377 p.
- Sirin A.A. 2022. Peatbogs and Anthropogenically Modified Peatlands: Carbon, Greenhouse Gases and Climate Change. *Uspekhi sovremennoy biologii*, 142(6): 560–577. DOI: 10.31857/S0042132422060096
- Smagin A.V. 2012. Teoriya i praktika konstruirovaniya pochv [Theory and practice of soil design]. Moscow, Moscow University Press, 544 p.
- Solonevitch N.G. 1956. A bio-ecological study of some bog grasses and small shrubs. In: Vegetation of the Far North of the USSR and its development. Is. 2. Moscow, Leningrad, Publ. House of the USSR Academy of Sciences: 307–497 (in Russian).
- Torfyanyoy fond Sverdlovskoy oblasti (po sostoyaniyu razvedannosti na 01.01.55) [Peat cadastre of the Sverdlovsk Region (as of exploration as of January 1, 1955)]. 1955. Moscow, 419 p.
- Torfyanyye bolota Rossii: k analizu otrazlevoy informatsii [Peat bogs of Russia: towards the analysis of industry information]. 2001. Moscow, GEOS, 190 p.

- Torfyanyye mestorozhdeniya Sverdlovskoy oblasti [Peat deposits of the Sverdlovsk Region]. 1976. Moscow, 500 p.
- Tretyakova A.S., Grudanov N.Yu., Senator S.A., Shilov D.S., Philippov D.A. 2024a. Flora of some protected mires in the southern part of the Sverdlovsk Region. Report 3. *Rastitel'nyj Mir Aziatskoj Rossii = Flora and Vegetation of Asian Russia*, 17(3): 204–215 (in Russian). DOI: 10.15372/RMAR20240303
- Tretyakova A.S., Kochubey A.A., Lebedev V.A., Grudanov N.Yu., Diyarova D.K., Senator S.A., Philippov D.A. 2024b. Flora, tree stand parameters and gas exchange of a eutrophic forest mire (using the example of the Paklinskoe mire, Sverdlovsk Region, Russia. In: West Siberian Peatlands and the Carbon Cycle: Past and Present. Proceedings of the Seventh International Field Symposium. Tomsk, Tomsk State University Publishing House: 49–51 (in Russian).
- Philippov D.A. 2023. Struktura i sistemnaya organizatsiya hidrobiotsenozov bolot [Structure and systemic organization of hydrobiocenoses of mires]. Diss. ... doct. biol. sciences. Borok, 589 p.
- Khotinskii N.A. 1977. Golotsen Severnoy Evrazii [The Holocene of the Northern Eurasia]. Moscow, Nauka, 200 p.
- Shnyrev N.A., Glagolev M.V. 2007. Kharakternyye znacheniya potokov metana iz bolot Zapadnoy Sibiri [Characteristic values of methane fluxes from Western Siberian mires]. In: West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: past and present. Proceedings of the Second International Field Symposium (Khanty-Mansiysk, August 24 – September 2, 2007). Tomsk: NTL: 144–146.
- Fægri K., Kaland P.E., Krzywinski K. 1989. Textbook of Pollen Analysis. 4th edition. Chischester, Wiley, 328 p.
- Grimm E.C. 1990. TILIA and TILIA GRAPH: PC spreadsheet and graphics software for pollen data. *INQUA Working Group on Data-Handling Methods. Newsletter*, 4: 5–7.
- Grimm E.C. 1992. TILIA 1.11 and TILIA GRAPH 1.17. Springfield, Illinois State Museum, Research and Collection Center, 65 p.
- Hassler M. 1994–2025. World Ferns. Synonymic Checklist and Distribution of Ferns and Lycophytes of the World. Version 25.08. URL: www.worldplants.de/ferns/ (update August 18, 2025; accessed August 29, 2025).
- Komárek J., Jankovská V. 2001. Review of the Green Algae Genus *Pediastrum*: implication for pollen analytical research. *Bibliotheca Phycologica*, 108: 1–128.
- Lehto J. 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla [Studies on the natural regeneration of pine in the grasslands of Southern Finland]. *Acta Forestalia Fennica*, 66(2): 1–106 (in Finnish).
- Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. 1991. Pollen analysis. Second edition. Blackwell Science, 216 p.
- Panova N.K., Antipina T.G. 2016. Late Glacial and Holocene Environmental History on the Eastern Slope of the Middle Ural Mountains, Russia. *Quaternary International*, 420: 76–89. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.10.035
- POWO. 2025. Plants of the World Online. URL: <https://powo.science.kew.org> (accessed July 30, 2025).
- PPG I. 2016. A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution*, 54(6): 563–603. DOI: 10.1111/jse.12229
- Tanneberger F., Joosten H., Moen A., Barthelmes A., Tegetmeyer C., Lewis E., Miles L., Sirin A. 2021. Mires in Europe-Regional Diversity, Condition and Protection. *Diversity*, 13(8): 381. DOI: 10.3390/D13080381
- Tsyganov A.N., Zarov E.A., Mazei Y.A., Kulkov M.G., Babeshko K.V., Yushkovets S.Y., Payne R.J., Ratcliffe J.L., Fatyunina Y.A., Zazovskaya E.P., Lapshina E.D. 2021. Key periods of peatland development and environmental changes in the middle taiga zone of Western Siberia during the Holocene. *Ambio*, 50(11): 1896–1909. DOI: 10.1007/s13280-021-01545-7
- Walker M., Head M. J., Lowe J., Berkelhammer M., Björck, S., Cheng H., Cwynar L.C., Fisher D., Gkinis V., Long A., Newnham R., Rasmussen O.S., Weiss H. 2019. Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalization of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes. *Journal of Quaternary Science*, 34(3): 173–186. DOI: 10.1002/jqs.3097
- Zaretskaya N.E., Panova N.K., Antipina T.G., Zhilin M.G., Uspenskaya O.N., Savchenko S.N. 2014. Geochronology, stratigraphy, and evolution of Middle Uralian peatlands during the Holocene (exemplified by the Shigir and Gorbunovo peat bogs). *Stratigraphy and Geological Correlation*, 22(6): 632–654. DOI: 10.1134/S0869593814060082

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Груданов Николай Юрьевич, младший научный сотрудник, Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

Третьякова Алена Сергеевна, доктор биологических наук, директор, Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

Кочубей Алена Анатольевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

Лебедев Владимир Александрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

Антипина Татьяна Геннадьевна, научный сотрудник, Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

Зорина Алеся Александровна, младший научный сотрудник, Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

Диярова Дарья Камилевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

Сенатор Степан Александрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, г. Москва, Россия

Филиппов Дмитрий Андреевич, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, п. Борок, Ярославская обл., Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nickolay Yu. Grudanov, Junior Researcher, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia
ORCID: 0000-0002-0498-2975

Alyona S. Tretyakova, Doctor of Biological Sciences, Director, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia
ORCID: 0000-0001-8735-4482

Alyona A. Kochubey, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia
ORCID: 0000-0002-8568-9999

Vladimir A. Lebedev, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia
ORCID: 0000-0001-6690-8167

Tatyana G. Antipina, Researcher, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia
ORCID: 0000-0003-4502-4762

Alesya A. Zorina, Junior Researcher, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia
ORCID: 0009-0000-3671-8119

Daria K. Diyarova, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia
ORCID: 0000-0002-3617-2221

Stepan A. Senator, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
ORCID: 0000-0003-1932-2475

Dmitriy A. Philippov, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Borok, Yaroslavl Region, Russia
ORCID: 0000-0003-3075-1959