

УДК 551.89:902.672

## ГОЛОЦЕНОВАЯ ИСТОРИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО ДАННЫМ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БОЛОТНОГО ОЗЕРА В ОКРЕСТНОСТЯХ ХАНТЫ-МАНСИЙСКА

Т. А. Бляхарчук<sup>1, 2, 3\*</sup>, П. А. Бляхарчук<sup>1</sup>, Е. Д. Лапшина<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
(пр. Академический, 10/3, Томск, Россия, 634055), \*blyakharchuk@mail.ru

<sup>2</sup> Томский государственный университет (пр. Ленина, 36, Томск, Россия, 634050)

<sup>3</sup> Югорский государственный университет (ул. Чехова, 16, Ханты-Мансийск, Россия, 628011)

В работе приводятся результаты высокоразрешающих палеопалинологических и литологических исследований донных отложений болотного озера S14 в окрестностях научной станции «Мухрино» (ХМАО) возрастом 12 000 кал. л. (калиброванных лет). Доказано существование открытых криоаридных ландшафтов с разреженным еловым и лиственничным древостоем в конце позднеледникового периода, быстрое распространение березовых лесов 11 000–10 000 кал. л. н. (калиброванных лет назад) и стремительное распространение сосны обыкновенной сразу после 10 000 кал. л. н., но более медленное распространение пихты и сосны сибирской только после 4800 кал. л. н. Показано, что максимальное горение ландшафта (частота пожаров и их интенсивность, поражающие растительность, торфяники и, если есть, то и антропогенные ландшафты) имело место в терминацию позднеледникового и в начале голоцена, а с распространением сомкнутого лесного покрова интенсивность региональных пожаров резко снизилась. Новые палеопалинологические данные из керн донных отложений озера S14 подтверждают и углубляют по возрасту палеореконструкции, сделанные ранее по ближайшему торфяному разрезу (возраст 10 000 кал. л. н.), но не коррелируют с таковыми из озерного керн, взятого из более отдаленного оз. Светленького, подтоплявшегося на ранних стадиях речными половодьями.

Ключевые слова: Западная Сибирь; растительность; спорово-пыльцевой анализ; голоцен; болотное озеро; палеоклимат; литология

Для цитирования: Бляхарчук Т. А., Бляхарчук П. А., Лапшина Е. Д. Голоценовая история растительности и климата средней тайги Западной Сибири по данным палеоэкологических исследований донных отложений болотного озера в окрестностях Ханты-Мансийска // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 7. С. 35–49. doi: 10.17076/eco2357

Финансирование. Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания ИМКЭС СО РАН – Проект № FWRG-2026-0007. Экспедиция финансировалась международным проектом INTERACT.

**T. A. Blyakharchuk<sup>1, 2, 3\*</sup>, P. A. Blyakharchuk<sup>1</sup>, E. D. Lapshina<sup>3</sup>. HOLOCENE HISTORY OF VEGETATION AND CLIMATE OF WEST SIBERIAN MIDDLE TAIGA INFERRED FROM PALEOECOLOGICAL STUDIES OF SEDIMENTS FROM A MIRE LAKE IN THE VICINITY OF KHANTY-MANSIYSK**

<sup>1</sup> Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (10/3 Akademicheskoy Ave., 634055 Tomsk, Russia), \*blyakharchuk@mail.ru

<sup>2</sup> Tomsk State University (36 Lenina Ave., 634050 Tomsk, Russia)

<sup>3</sup> Yugra State University (16 Chekhova St., 628011 Khanty-Mansiysk, Russia)

The paper presents the results of high-resolution paleopalynological and lithological studies of sediments from mire lake S14 in the vicinity of the Mukhrino Research Station (Khanty-Mansi Autonomous Okrug) aged 12 000 cal. yr. BP. Evidence was obtained for the existence of open cryoarid landscapes with sparse spruce and larch stands at the end of the Late Glacial period, rapid spread of birch forests 11 000–10 000 cal. yr. BP, and swift spread of Scots pine immediately after 10 000 cal. yr. BP, but a slower dispersal of fir and Siberian pine only after 4800 cal. yr. BP. It is shown, that the fire frequency and intensity in the landscape peaked at the termination of the Late Glacial period and at the beginning of the Holocene, but as there spread closed-canopy forests, the intensity of regional fires decreased sharply. New paleopalynological data derived from the sediment core from Lake S14 confirm and deepen the age of the paleoreconstructions made previously for the nearest peat section (aged 10 000 cal. yr. BP), but do not correlate with those from the lake core taken from the more distant Lake Svetlenkoye, which was affected by river floods during its early developmental stages.

**Keywords:** Western Siberia; vegetation; spore/pollen analysis; Holocene; mire lake; paleoclimate; lithology

For citation: Blyakharchuk T.A., Blyakharchuk P.A., Lapshina E.D. Holocene history of vegetation and climate of West Siberian middle taiga inferred from paleoecological studies of sediments from a mire lake in the vicinity of Khanty-Mansiysk. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 7. P. 35–49. doi: 10.17076/eco2357

**Funding.** Research was funded from the Russian federal budget through state assignment to the Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS (IMCES SB RAS). Project No. FWRG-2026-0007. The expedition was funded within the international INTERACT project.

## **Введение**

В связи с наблюдаемым современным потеплением климата вопросы мониторинга ландшафтно-климатических изменений остаются актуальными в науках о Земле. Для понимания причин происходящих в природе процессов необходимо исследовать как современные изменения, так и прошлые события. Знания о долговременной динамике природной среды, полученные с помощью палеоэкологических исследований, позволяют делать качественные и количественные реконструкции климата и ландшафтов в прошлом, на основе которых можно предсказывать будущие возможные изменения окружающей среды, учитывающие механизмы эволюции биоты, включая возможность более точных расчетов баланса углерода.

Достаточно детальные и комплексные палеоэкологические исследования послеледниковой истории природы Западной Сибири до настоящего времени немногочисленны, несмотря на обширность и географическое разнообразие территории. Известные спорово-пыльцевые разрезы расположены в основном либо вблизи от населенных пунктов, либо вдоль основных транспортных путей сообщения [Глебов и др., 1974, 1996; Нейштадт, 1977; Фирсов и др., 1982; Blyakharchuk et al., 2025]. В последние годы опубликованы высокоразрешающие палеоэкологические данные для болотных ландшафтов в окрестностях научной станции «Мухрино» Югорского государственного университета [Amon et al., 2020, 2025]. Первый такой разрез для этой территории [Amon et al., 2020] получен из донных отложений оз. Светленького,

расположенного на террасе р. Оби. Спорово-пыльцевая диаграмма авторов охватывает 11400 кал. л.н. Палинологические данные в этой работе дополнены данными литологического, макрофоссильного и диатомового анализов, что позволило реконструировать динамику растительного покрова и увлажненности ландшафта. Рассмотренный комплекс палеоэкологических данных этого разреза выявил влажный период 8000–6500 кал. л.н., во время которого оз. Светленькое подтоплялось паводковыми водами р. Оби. Около 6600 кал. л.н. это озеро изолировалось от влияния р. Оби. Заболочивание окрестных территорий, по мнению авторов, началось около 8500 кал. л.н.

Недавно опубликованы весьма детальные данные комплексных палеоэкологических исследований трех торфяных разрезов в окрестностях станции «Мухрино» [Amon et al., 2025]. В этом исследовании сопоставляются данные спорово-пыльцевого, ботанического, карпологического и ризоподного анализов нескольких торфяных разрезов. В дополнение к отмеченным биоиндикаторам приводятся столь же детальные данные некоторых геохимических характеристик торфа: *n*-алканов и стабильного изотопа углерода из дополнительных кернов торфяника. В результате на основе большого комплекса биогеохимических индикаторов авторами была реконструирована история растительности и увлажненности района исследования за последние 10 000 кал. л.н., включая суходольную и болотную растительность. Радиоуглеродные датировки нижних слоев торфа болотного массива в окрестностях «Мухрино» показали, что активное торфонакопление здесь началось около 10 000–9300 кал. л.н. [Tsyganov et al., 2021; Zarov et al., 2023; Amon et al., 2025], а озерное осадконакопление на территории этого болотного массива началось раньше – около 12 000–11 000 кал. л.н. [Бляхарчук и др., 2021; Zarov et al., 2023]. Проведенные комплексные палеоэкологические исследования торфяника позволили авторам впервые проследить пространственную вариабельность эволюции болотного ландшафта под действием особенностей топографии и условий седиментации [Amon et al., 2025]. Было выявлено, что береза и сосна обыкновенная доминировали на суходоле с начала голоцена. Примерно 8800 кал. л.н. болота в окрестностях «Мухрино» перешли в олиготрофную стадию развития с доминированием *Sphagnum fuscum*. Авторы детально реконструировали декадно-вековую динамику увлажненности болот по комплексам раковинных амёб и тысячулетнюю эволюцию болотных массивов по ботаническому

составу торфа. Были выявлены две локальные сухие фазы: ~6500–5700 кал. л.н. и 2200–1800 кал. л.н., приводившие к облесению болота, и влажная фаза ~5700–2500 кал. л.н., во время которой болотные ландшафты восстанавливали современный облик. Авторы полагают, что выявленный ими влажный период ~6800–6700 кал. л.н. можно сопоставить с периодом подтопления оз. Светленького водами р. Оби (~8000–6700 кал. л.н.).

Несмотря на появившиеся в последние годы публикации с детальными палеоэкологическими данными и реконструкциями, ряд вопросов требует дальнейшего исследования. До сих пор нет убедительной информации о ландшафтах позднеледниковья, существовавших до 10 000 кал. л.н., в частности о роли в них древесного компонента. Опубликованные палеопалинологические данные о растительном покрове голоцена также вызывают ряд вопросов. Так, в базальных слоях донных отложений оз. Светленького [Amon et al., 2020] переходного возраста от позднеледниковья к раннему голоцену (11 400–10 500 кал. л.н.) обнаружено обилие пыльцы сосны (авторы, к сожалению, не разделяют ее на пыльцу сосны обыкновенной и сосны сибирской), что противоречит данным из других разрезов средней тайги [Pitkänen et al., 2002; Бляхарчук, 2012]. В то же время обильная древесная пыльца ели и березы обнаружена в отложениях возрастом 11 500 кал. л.н. в 100 км к югу от «Мухрино» в разрезе «Торфяной Яр» [Ахтерьякова, Лещинский, 2014]. Очень отрывочна информация о влиянии пожарного режима на растительность в долговременном масштабе. В предлагаемом исследовании мы приводим новые комплексные палеоэкологические данные (палинологические, литологические, микрогольковые) донных отложений болотного озера в окрестностях станции «Мухрино», охватывающие окончание позднеледниковья и весь голоцен без перерывов. Так же, как оз. Светленькое, вновь исследованное озеро под названием S14 расположено на террасе р. Оби, но гипсометрически его расположение выше на 3 м, чем первое озеро. В результате этого оно не подвергалось подтоплениям речными паводками за все 12 000 кал. л.н. своего существования, что, по нашему мнению, дает менее нарушенную переотложенной пылью спорово-пыльцевую диаграмму.

## Материалы и методы

Во время зимней экспедиции 12 марта 2020 г., поддержанной международным проектом INTERACT, в окрестностях научной станции

«Мухрино» методом бурения со льда были отобраны для палеоэкологических исследований донные отложения болотного озера, которому было дано название – озеро S14 (рис. 1). Координаты точки бурения 60.86269° с.ш., 68.74873° в.д., 35 м н.у.м. Озеро расположено примерно в 4 км к юго-востоку от научной станции «Мухрино» на левобережном участке террасы у слияния рек Иртыша и Оби в 23 км западнее г. Ханты-Мансийска (рис. 1, а) и в 15 км к юго-востоку от известного по публикации оз. Светленького [Amon et al., 2020]. Озеро S14 является частью обширного олиготрофного озерно-болотного комплекса (рис. 1, б). Глубина воды в озере на момент бурения была 440 см, мощность отобранного керна донных осадков, представленных тонкозернистым темно-серым сапропелем, – 315 см. Непосредственно в поле во время отбора керна были измерены некоторые физико-химические характеристики озерной воды, такие как: pH воды = 4,8; кондуктивность = 10 (мС); содержание  $O_2$  на глубине 1 м = 87,3% (12,4 мг/л), на глубине 2 м = 56,2% (7,5 мг/л), на глубине 3 м = 6,2% (0,8 мг/л); температура воды на глубине 1 м = 1 °С, на глубине 2 м = 3,4 °С,

на глубине 3 м = 4,2 °С; содержание  $NH_3$  = 0,08 мг/л,  $NO_3$  = 0,4 мг/л,  $PO_4$  = 0,4 мг/л. Подолдом озера присутствовали водные макрофиты и водилась рыба – мелкие окуни.

Озеро окружено со всех сторон обширным олиготрофным грядово-мочажинным сосново-кустарничково-сфагновым болотом. Обрамляющие болото с севера суходольные участки заняты смешанным сосново-березово-еловым и сосново-березово-елово-кедровым лесом с примесью пихты и осины. К северу и северо-востоку расположена широкая пойма рек Оби и Иртыша, занятая в месте их слияния разнотравно-канареечниковыми лугами, ивняковыми зарослями и старицами.

Бурение и отбор керна донных отложений озера производились с помощью поршневого бура системы Райта [Wright, 1991]. Верхние 100 см полужидкого озерного сапропеля отбирались пластиковой трубой, запираемой снизу поршнем, и в вертикальном положении транспортировались в лабораторию ЮГУ для дальнейшего разбора на образцы. Нижние керны более плотного сапропеля в поле упаковывались в пластиковые контейнеры и в горизонтальном положении также транспортировались

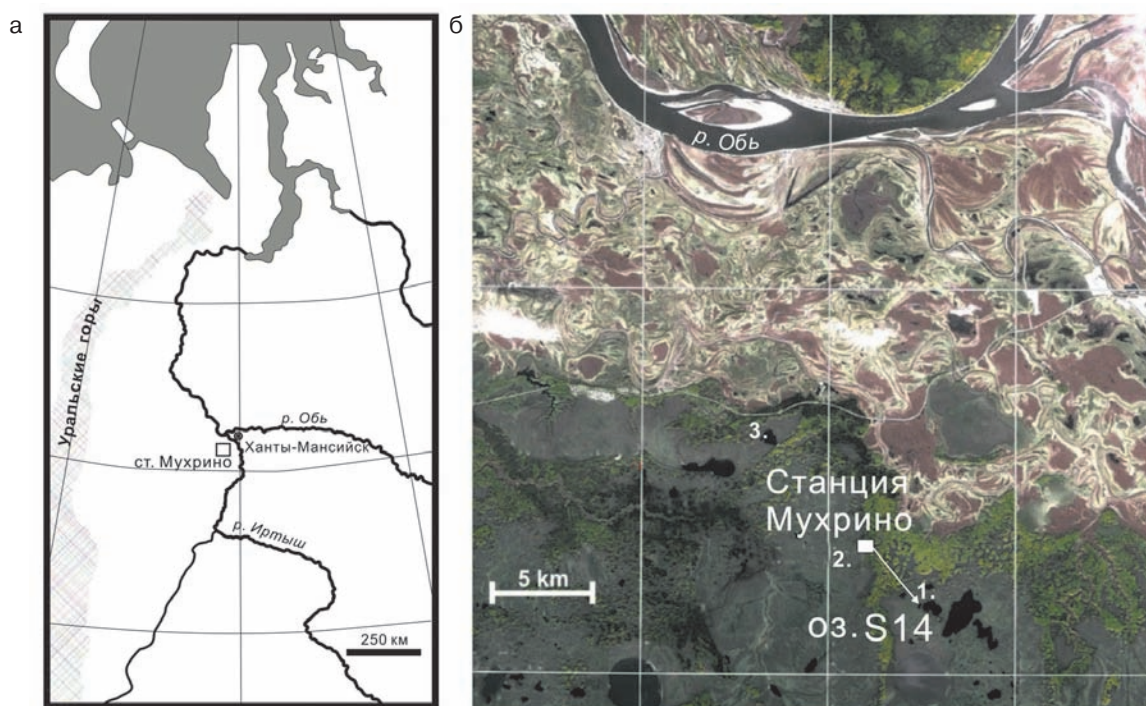


Рис. 1. Карта района исследования:

1 – озеро S14 (данная статья); 2 – торфяник Мухрино [Amon et al., 2025]; 3 – оз. Светленькое [Amon et al., 2020]; белый квадрат – научная станция «Мухрино»

Fig. 1. Map of the study area:

1 – Lake S14 (this article); 2 – Mukhrino peat bog [Amon et al., 2025]; 3 – Lake Svetlenkoye [Amon et al., 2020]; white square – Mukhrino scientific station

в лабораторию, где из них был проведен отбор образцов на спорово-пыльцевой, литологический и радиоуглеродный анализы. Из оставшегося материала кернов позднее были отобраны 113 образцов на макроугольковый анализ, результаты которого опубликованы ранее [Пупышева, Бляхарчук, 2024].

Для спорово-пыльцевого анализа было отобрано 114 образцов объемом 1 см<sup>3</sup>, которые упаковывались в пластиковые пакеты и хранились в холодильнике до начала физико-химической пробоподготовки. Образцы из верхнего полужидкого осадка мощностью 73 см отбирались непрерывным рядом по 1 см. Образцы из нижележащих более плотных осадков отбирались через каждые 3 см. Пробоподготовка образцов для спорово-пыльцевого анализа проводилась общепринятыми методами [Гричук, Заклинская, 1948; Moore et al., 1997], включая обработку 10 % щелочью при нагревании на водяной бане и ацетолиз, при котором использовался не уксусный ангидрид, а пропионовый ангидрид, как предложено в работе [Мазей, Новенко, 2021]. Перед началом обработки в образцы были добавлены таблетки с известным количеством спор *Lycopodium*, которые растворялись в небольшом количестве (<1 мл) 10% HCl для последующего расчета концентраций палиноморф [Davis, 1965; Stockmarr, 1971]. Кроме того, для удаления тонкого минерального загрязнения использовалась обработка концентрированной плавиковой кислотой. Спорово-пыльцевой анализ производился на световом микроскопе LEICA DM 1000 при увеличении в 400 раз. Для статистики определялось и подсчитывалось 300–500 пыльцевых зерен растений сушидольного происхождения, плюс к этому – насчитывалась пыльца и споры болотно-водных растений. Определение палиноморф проводилось с использованием специальных определителей [Куприянова, 1965; Куприянова, Алёшина, 1972, 1978;

Бобров и др., 1983; Moore et al., 1997] и коллекции реферативных препаратов растений сибирской флоры, имеющейся в распоряжении авторов. Параллельно со спорами и пыльцой в этих же препаратах подсчитывались микроугольки размером от 5 до 10 мкм, согласно методике [Patterson et al., 1987; Bennett et al., 1990; Conedera et al., 2009; Whitlock, Larsen, 2002; Mooney, Tinner, 2011], и споры добавленного ликоподиума. Для визуализации палинологических данных строилась спорово-пыльцевая диаграмма с помощью программы Tilia [Grimm, 2004]. В этой же программе проведен кластерный анализ CONISS для выделения пыльцевых зон.

Для литологического анализа по методике измерения потерь при прокаливании – LOI [Heiri et al., 2001] – стандартные по объему (1 см<sup>3</sup>) образцы осадка подвергались последовательному прокаливанию в муфельной печи сначала до 500 °С для выжигания органики, а затем при 950 °С для выжигания карбонатов. После каждого этапа прокаливания образцы остужались в эксикаторе с силикагелем и взвешивались на точных аналитических весах. Взвешивание производилось с точностью до трех знаков после запятой.

Датирование донных отложений озера проводилось в радиоуглеродной лаборатории г. Познань (Польша) с помощью радиоуглеродного УМС метода. Было получено пять радиоуглеродных датировок (табл.) [Бляхарчук и др., 2021]. Для датирования каждого образца в диаграмме была построена глубинно-возрастная модель (рис. 2) с помощью программы Bacon [Christen, Perez, 2010; Blaauw, Christen, 2011]. В этой же программе была произведена калибровка дат, для которой использовалась калибровочная кривая IntCal20 [Reimer et al., 2020], и рассчитан возраст каждого образца в системе исчислений «от настоящего времени», при этом за нулевую точку принят 1950 г.

Радиоуглеродные даты донных отложений озера S14  
Radiocarbon dates of bottom sediments of Lake S14

| Лабораторный номер образца<br>Laboratory sample number | Глубина отбора образца, см<br>Sampling depth, sm | Возраст,<br><sup>14</sup> C лет назад<br>Age, <sup>14</sup> C years ago | Калиброванный возраст 97,50 %<br>Calibrated age 97,50 % |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Poz-134628                                             | 50–51                                            | 5320 ± 40                                                               | 6256                                                    |
| Poz-134626                                             | 100–101                                          | 8190 ± 50                                                               | 9362                                                    |
| Poz-135825                                             | 145–146                                          | 8910 ± 50                                                               | 10 188                                                  |
| Poz-135824                                             | 190–191                                          | 9580 ± 50                                                               | 11 150                                                  |
| Poz-135823                                             | 222–223                                          | 9690 ± 50                                                               | 11 210                                                  |

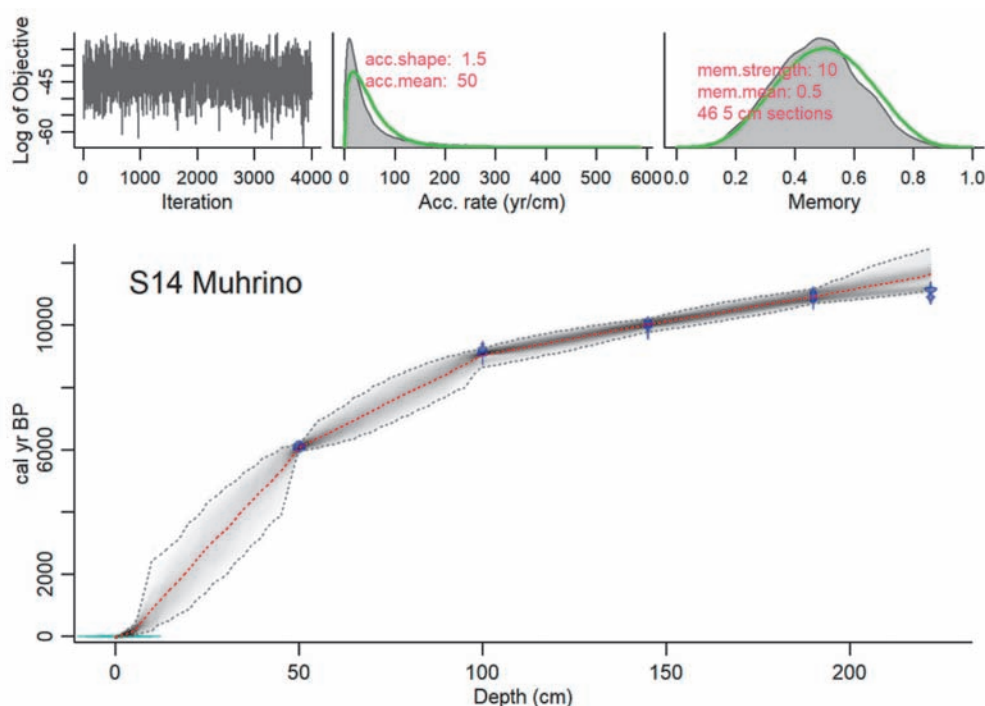


Рис. 2. Глубинно-возрастная модель донных отложений озера S14

Fig. 2. Depth-age model of bottom sediments of Lake S14

## Результаты и обсуждение

Все полученные даты (см. рис. 2, табл.) оказались в правильной последовательности без инверсий. Довольно древняя дата  $5320 \pm 40$  с глубины 50–51 см может наводить на мысль о влиянии резервуарного эффекта [Zhang et al., 2026]. Однако постепенные закономерные без резких скачков изменения пыльцевых компонентов в спорово-пыльцевом спектре и в глубинно-возрастной модели, а также полное отсутствие карбонатов в осадках этого периода указывают на отсутствие каких-либо перерывов в осадконакоплении или удревнения осадков за счет древнего углерода (резервуарный эффект). Скорее всего, резкое снижение скорости аккумуляции озерного сапропеля, начиная с 6000 кал. л. н. до современности, отражает снижение биопродуктивности озера из-за неогляциального похолодания [Porter, 2007; Herren et al., 2013], четко проявившегося в среднетаежной подзоне Западной Сибири [Хотинский, 1977].

Литологический анализ показал, что в основании разреза на глубине 230–200 см лежат чисто минеральные осадки возрастом 12 000–11 300 кал. л. н., отражающие ландшафты окончания позднеледникового времени. С резким потеплением в начале голоцена биопродуктивность озера стремительно возросла, и минеральное осадконакопление сменилось

накоплением органического сапропеля с очень незначительной примесью минеральной фракции (рис. 3).

Максимальная биопродуктивность озера, выражавшаяся в высокой скорости аккумуляции органического сапропеля, была характерна для периода 11 400–9000 кал. л. н. (см. рис. 3). Далее с 9000 до 6000 кал. л. н. биопродуктивность незначительно снизилась. Но с 6000 кал. л. н. скорость аккумуляции сапропеля снизилась еще сильнее и стала минимальной за весь голоцен. С этого же времени намечилось небольшое увеличение минеральной фракции в сапропеле и появились карбонаты. Возможно, однако, что данный эффект был вызван замедлением общей скорости аккумуляции осадка, когда минеральная фракция аэрозольного происхождения накапливалась в каждом  $1 \text{ cm}^3$  донного осадка более длительный период. В то же время на фоне одинаково медленной скорости осадконакопления в интервале времени от 6000 кал. л. н. до современности выделяется период максимального обилия минеральной и карбонатной фракций в период 3500–2000 кал. л. н. Таким образом, в динамике осадконакопления озера S14 просматриваются четыре фазы. Первая фаза – минерального осадконакопления (12 000–11 300 кал. л. н.). Вторая фаза – относительно быстрой смены минерального сапропеля на органический сапропель

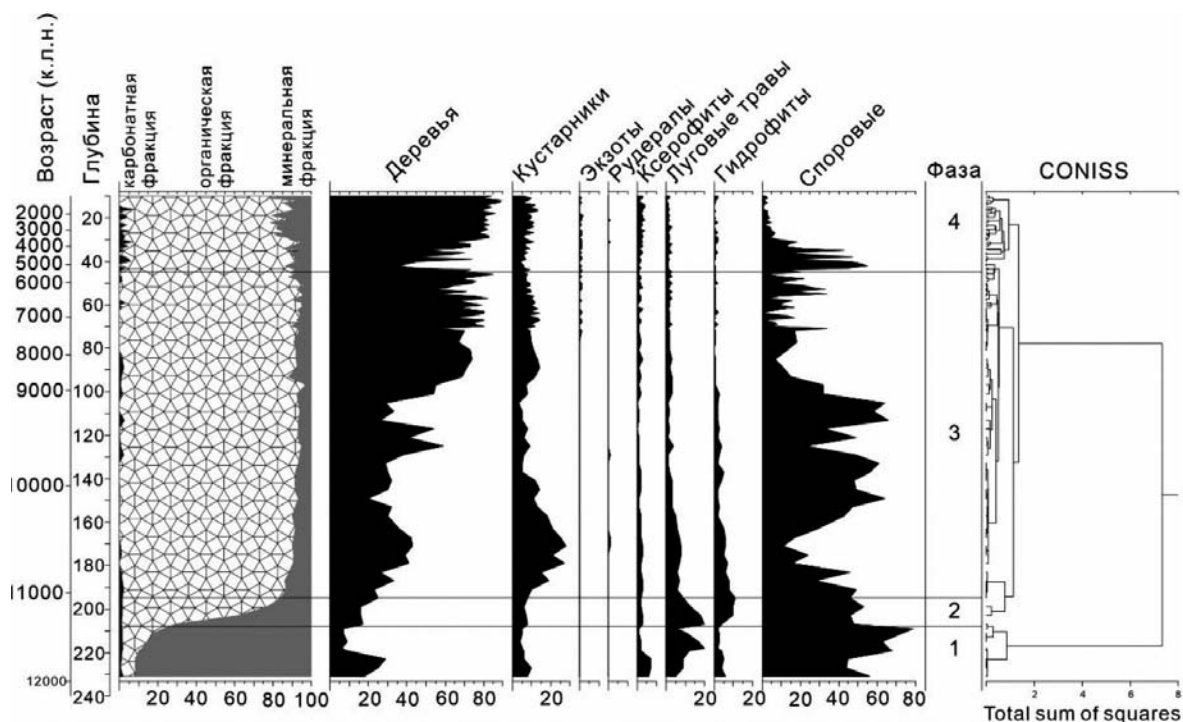


Рис. 3. Литологический состав донных отложений озера S14 в сравнении с основными группами палиноморф на равномерной шкале глубин

Fig. 3. Lithological composition of bottom sediments of Lake S14 in comparison with the main groups of palynomorphs on even depth scale

(11 300–10 100 кал. л. н.) – продолжалась ~1200 лет. Третья фаза – максимально высокой скорости аккумуляции чисто органического сапропеля с очень небольшой долей минеральной фракции (10 100–5500 кал. л. н.) и с постепенным замедлением скорости осадконакопления в период 9000–6000 кал. л. н. Четвертая фаза – минимальной скорости аккумуляции органического сапропеля с увеличением доли минеральной фракции и появлением карбонатов – продолжалась с 5400 кал. л. н. до современности (см. рис. 3).

Спорово-пыльцевая диаграмма донных отложений озера S14 визуальна и с помощью кластерного анализа, проведенного в программе Tilia, разбивается на 6 пыльцевых зон с более дробными подзонами (рис. 4). Совмещенная колонка в левой части диаграммы демонстрирует изменения общего состава спектров (соотношение групп древесной пыльцы, спор и трав) за все время осадконакопления. В правой части диаграммы помещены графики непальцевых палиноморф, в которую входят: сборная группа, включающая споры зеленых мхов (Bryales) и микроскопические водоросли [Blyakharchuk et al., 2004]; микрогольки; подсчеты добавленных спор ликоподиума; а также обобщение палиноморф по экологическим

группам (кустарники, рудеральные таксоны, ксерофиты, луговые травы, гидрофиты) для более полной реконструкции ландшафтных изменений.

Виды широколиственных пород деревьев, не формирующие доминантные сообщества в Западной Сибири, мы отнесли в группу «Экзоты», так как считаем, что пыльца этих видов в спектрах изучаемого региона, скорее всего, дальнезаносная. Выделенные пыльцевые зоны соответствуют стадиям развития растительного покрова в окрестностях станции «Мухрино».

Первая стадия (тундро-степная 12000–11500 кал. л. н.), соответствующая пыльцевой зоне 1, целиком расположена в минеральных отложениях в нижней части керна (230–220 см) и датируется окончанием позднеледникового времени. В ней максимально обилие пыльцы полыни (*Artemisia*), маревых (*Chenopodiaceae*), ели (*Picea obovata*), лиственницы (*Larix*) и карликовой березки (*Betula nana*). Из локальных компонентов отмечено повышенное обилие пыльцы злаков (*Poaceae*), осок (*Carex*) и присутствует пыльца водного погруженного макрофита *Myriophyllum*. Состав пыльцевых спектров отражает растительный покров позднеледниковой лиственнично-еловой тундро-степи, не имеющей современных аналогов. Судя

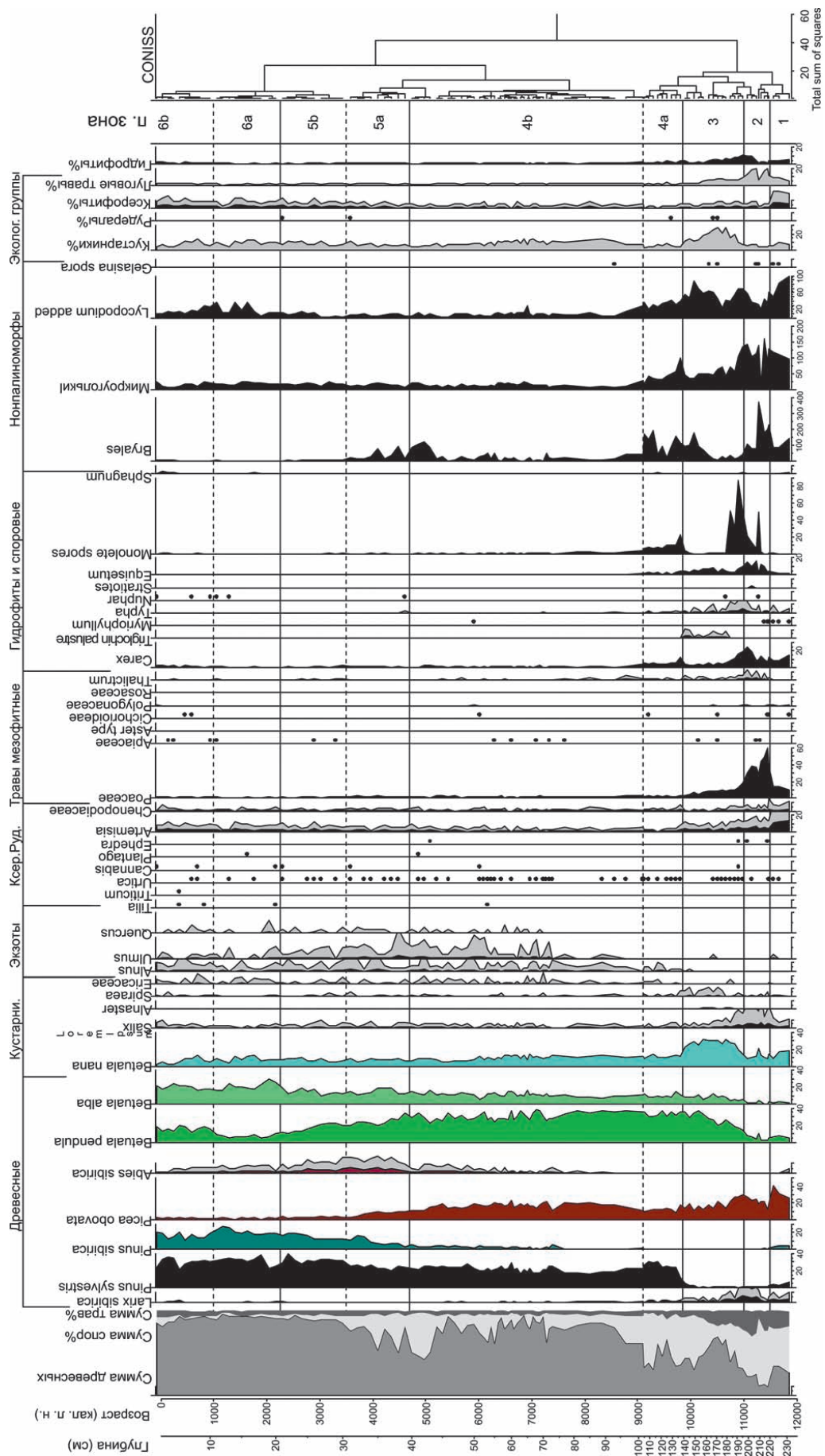


Рис. 4. Спорно-пыльцевая диаграмма донных отложений озера S14 на равномерной шкале возрастов  
 Fig. 4. Spore-pollen diagram of bottom sediments of Lake S14 on even age scale

по всему, на месте современного озера S14 в это время уже существовал водоем, на что указывает присутствие пыльцы погруженно-водного макрофита. Таким образом, исследуемое озеро S14 в ландшафте окрестностей станции «Мухрино» является первичным. Возможно, окрестности озера были несколько переувлажнены и представляли собой тростниковые займища и осоковые заросли.

Вторая стадия (луговая 11500–11000 кал. л.н.), выделяемая по пыльцевой зоне 2 (220–200 см) с доминированием пыльцы злаков, максимальным обилием пыльцы ив, осок и спор хвоща (*Equisetum*), приходится на фазу быстрого перехода (за ~200 лет) от минерального осадконакопления к накоплению органического сапропеля и соответствует началу голоцена. В этой стадии максимально увеличивается в спорово-пыльцевых спектрах обилие пыльцы луговых трав при некотором снижении обилия пыльцы ели и увеличении обилия пыльцы лиственницы. Пыльца погруженно-водного макрофита (*Myriophyllum*) полностью исчезает. Такие изменения можно интерпретировать как заболачивание берегов водоема и расширение границ болота, за счет вымокания прибрежных ельников и распространения тростниковых займищ. При этом резкое потепление климата с началом голоцена способствовало увеличению биопродуктивности озера, окружающих лугов и лиственничных островов.

Третья стадия (карликовой березки, 11000–10000 кал. л.н.) в развитии растительного покрова, продолжавшаяся около 1000 лет, уже целиком соответствует фазе отложения органического сапропеля (200–140 см), который накапливался с максимальной скоростью за весь голоцен. Для этой пыльцевой зоны характерно максимальное обилие пыльцы карликовой березки, снижение доли пыльцы ели и лиственницы, но прогрессивное возрастание обилия пыльцы древовидных берез (*Betula pendula* и *Betula pubescens*). Участие пыльцы лиственницы резко сокращается. Из локальных компонентов спорово-пыльцевых спектров обращает на себя внимание резкий всплеск обилия однолучевых спор (*Monolete spores*), которые, скорее всего, принадлежали болотному папоротнику (*Thelypteris palustris* Schott). Обилие спор папоротника сочетается с обилием пыльцы рогоза (*Typha*), осок и прибрежно-водного растения – триостренника болотного (*Triglochin palustre* L.). Вероятно, в этот период голоцена потепление стало сопровождаться увеличением обилия атмосферных осадков и привело к полному исчезновению мерзлоты в почвах. Это способствовало распространению древесной расти-

тельности, предпочитающей немерзлые почвы, которая стала вытеснять ель и лиственницу, выносящие мерзлоту. На прежде открытых луговых пространствах распространились ерники из карликовой березки и спирей. Увеличилась обводненность понижения будущего озера S14, в котловине которого распространились заросли прибрежно-водного рогоза (*Typha*).

Четвертая стадия (сосны, березы и ели, 10000–4800 кал. л.н.) в развитии растительного покрова окрестностей станции «Мухрино» выделяется в органическом сапропеле (140–38 см) по доминированию в спорово-пыльцевых спектрах пыльцы сосны и березы при еще значительном участии пыльцы ели. Подстадии 4а и 4б выделяются по различиям в локальных компонентах спектра. Для первой подстадии еще характерно обилие спор зеленых мхов и болотного папоротника, а также пыльцы осок. Во второй подстадии эти компоненты исчезают и вновь единично появляется пыльца погруженно-водного макрофита (*Myriophyllum*). Во второй половине второй подстадии (после 7000 кал. л.н.) в спектрах появляется пыльца широколиственных древесных пород *Ulmus*, *Quercus* и *Tilia*, а в суходольных лесах окрестностей «Мухрино» появились пихта и, возможно, ольха. Вся четвертая стадия целиком приходится на климатический оптимум среднего голоцена [Хотинский, 1977], когда в ландшафтах окрестностей станции «Мухрино» стали доминировать сомкнутые сосново-березово-еловые леса. Широколиственные леса с вязом, дубом и липой распространились, скорее всего, за Уралом на Восточно-Европейской равнине, и их пыльца заносилась на территорию средней тайги Западной Сибири. С 9000 кал. л.н. в растительном покрове болота, окружающего озеро, исчезли осоково-папоротниковые болотные сообщества и появились эрикоидные кустарнички (*Ericaceae*), судя по спорово-пыльцевым спектрам изучаемого озера S14. Вероятно, в этот период олиготрофные болота широко распространились в ландшафте, окружающем озеро. Это полностью подтверждает вывод о раннем переходе окрестных болот в олиготрофную стадию развития, сделанный по ботаническому составу нескольких торфяных колонок из этого болота [Zarov et al., 2023; Заров, Лапшина, 2026]. Само озеро стало более полноводным.

В региональном масштабе с началом четвертой стадии на ландшафтах, окружающих озеро S14, инициировалось болотное торфонакопление, согласно данным [Amon et al., 2025]. Динамика основных пыльцевых компонентов исследованного озера (*Picea*, *Betula*, *Pinus*

*syvestris*, *Carex*, *Equisetum*, *Monoete* spores) в четвертой стадии очень хорошо совпадает с таковой в торфяном разрезе указанных авторов, захватывая пыльцевые зоны 1–5 торфяника. Это подтверждает реконструированную динамику растительности. Существенные различия в пыльцевых диаграммах озера S14 и оз. Светленького [Amon et al., 2020] можно объяснить большей удаленностью этих точек друг от друга, в то время как изученный торфяной разрез [Amon et al., 2025] расположен значительно ближе к озеру S14 (см. рис. 1). Кроме того, возможно, спорово-пыльцевые спектры оз. Светленького могли быть искажены привнесением переотложенной пыли из-за паводковых подтоплений в раннем голоцене, на которые указывают сами авторы [Amon et al., 2020]. Сухой период 6500–5700/4700 кал. л.н., выявленный по палеоэкологическим данным торфяных разрезов [Amon et al., 2025], не проявился ярко в пыльцевых данных озера S14. Но, возможно, его влияние выразилось лишь в максимальном распространении вяза (*Ulmus*) в лесах, поскольку его максимум (8500–4500 кал. л.н.) на диаграмме S14 частично совпадает с выделенным сухим периодом (см. рис. 3). Среди локальных компонентов можно отметить прогрессивное увеличение обилия спор зеленых мхов во время отмеченного сухого периода. Вероятно, увеличение их доли в спектрах связано с распространением зеленых мхов на комлях и приствольных повышениях деревьев сосны при зарастании ими болота.

Пятая стадия (сосново-кедрово-пихтовая, 4800–2200 кал. л.н.), соответствующая пыльцевой зоне 5 с двумя подзонами, выделяется по максимальному обилию пыли пихты, постепенному увеличению до максимума обилия пыли кедра при постоянно высоком обилии пыли сосны обыкновенной и постепенном сокращении пыли ели и березы. Эта стадия в развитии растительного покрова продолжалась примерно с 4800 до 2200 кал. л.н. и характеризует изменения, происходившие на исследуемой территории с началом неогляциального похолодания [Porter, 2007; Herren et al., 2013]. Судя по снижению скорости аккумуляции органического сапропеля в озере, это похолодание началось еще в конце предыдущей стадии около 5500 кал. л.н. Наиболее заметно оно стало влиять на лесной растительный покров после 3500 кал. л.н., когда в лесах стала заметно сокращаться роль наиболее термофильной древесной породы – пихты (*Abies sibirica*), а роль более континентального древесного вида сосны сибирской (*Pinus sibirica*) стала увеличиваться. Этими изменениями обусловлено

выделение подзон 5а и 5б в пыльцевой зоне 5. Вероятно, неогляциальное похолодание способствовало увеличению континентальности климата. Эти изменения повлияли на седиментацию озерных отложений – в них увеличилось содержание минеральной фракции и появились карбонаты. Однако согласно реконструкциям уровня болотных вод по комплексам раковинных амёб в близлежащих торфяных колонках [Amon et al., 2025] период 5000–2500 кал. л.н. был влажным. Данный вывод полностью подтверждается и палинологическими данными озера S14 и палинологическими данными торфяного разреза, так как в этот период максимального распространения в лесах достигла наиболее мезофильная лесная порода – пихта сибирская (*Abies sibirica*). Увеличение содержания минеральной фракции и карбонатов в озерном осадке в эту стадию, скорее всего, является вторичным эффектом, связанным со снижением скорости аккумуляции озерного осадка. Лишь наибольший максимум содержания минеральной фракции в слоях возрастом 2000–3000 кал. л.н. (по нашим данным) можно связать с сухим периодом 2500–1500 кал. л.н., реконструированным по уровню болотных вод [Amon et al., 2025]. Низкая скорость аккумуляции сапропеля в озере S14 в этот период могла увеличить ошибку в датировке сухого периода. Мы полагаем, что датировка сухого периода 2500–1500 кал. л.н., выявленного по раковинным амёбам, является более точной.

Шестую стадию и последнюю в развитии растительного покрова (2200 кал. л.н. – современность) можно назвать сосново-березовой при снижении роли кедра (*Pinus sibirica*). Эта стадия характерна для последних 2300 кал. л. В целом для стадии типично также сокращение участия в лесах пихты, некоторое увеличение роли полыни и снижение общей пыльцевой продуктивности ландшафта (судя по увеличению обилия добавленных спор ликоподиума). Интересно, что в последние 2200 кал. л.н., согласно пыльцевым данным, происходит замещение березы повислой (*Betula pendula*) на березу пушистую (*Betula pubescens*) в окрестных лесах. Подстадия 6а (2000–1000 кал. л.н.) отличается повышенным участием кедра в лесах по сравнению с подстадией 6б (1000 кал. л.н. – современность), в которой доминирование смещается к древовидным березам. Среди широколиственных пород наблюдается заметное снижение роли вяза (*Ulmus*) в спектрах и, возможно, в лесах, но постоянное присутствие пыли липы (*Tilia*) и дуба (*Quercus*). Последнее обстоятельство, по-видимому, объясняется расширением

ареала дуба в Восточной Европе и проникновением липы за Уральские горы в южную тайгу Западной Сибири. В настоящее время хорошо развитые плодоносящие деревья липы растут около г. Тобольска. Следует отметить, что яркого антропогенного влияния на ландшафт в историческое время (в последние 2000 лет), по данным пыльцевого анализа разреза озера S14, не наблюдается. Лишь увеличение роли березы в лесах и некоторое увеличение роли полыни можно связать с антропогенным влиянием, поскольку береза является вторичной древесной породой, быстро распространяющейся после сведения человеком коренных хвойных лесов, а виды полыней в среднетаежной зоне являются распространенными сорняками возле жилищ человека. Ход динамики пыльцевых данных в диаграмме озера S14 в заключительной шестой стадии полностью совпадает с таковым в торфяном разрезе, подтверждая все события и тенденции в развитии растительного покрова, а именно: сокращение роли пихты в лесах в период 2500–2000 кал. л. н. синхронно в обоих пыльцевых диаграммах, что, вероятно, связано с иссушением климата, выявленным по комплексам раковинных амёб [Amon et al., 2025].

Микроугольковые данные донных отложений озера S14 (см. рис. 3), отражающие региональную пожарную ситуацию [Пупышева, Бляхарчук, 2024], демонстрируют максимальное распространение пожаров в позднеледниковое и раннеголоценовое время 12000–9000 кал. л. н., резкое снижение горимости ландшафта в среднем голоцене 9000–5000 кал. л. н. и некоторое увеличение горимости после 5000 кал. л. Последнее можно было бы связать с начавшимся антропогенным влиянием, но мы склонны считать это увеличение эффектом снижения скорости аккумуляции сапропеля под действием неогляциального похолодания климата. В результате этого снижения увеличилась концентрация микроуглей в стандартном (1 см<sup>3</sup>) образце озерного осадка, поскольку он накапливался более длительное время. Данные по региональным пожарам (микроугольковые данные) в целом хорошо согласуются с данными по распространению локальных пожаров (макроугольковые данные), полученными по этому же разрезу [Пупышева, Бляхарчук, 2024], с некоторыми отличиями.

## Выводы

Новые высокоразрешающие палеопалинологические данные донных отложений болотного озера под названием S14 в окрестностях научной станции «Мухрино» (ХМАО), сопряжен-

ные с литологическим анализом по методу LOI и радиоуглеродным УМС датированием, раскрыли длительную, в 12000 лет, непрерывную историю озера, окружающих болотных и суходольных ландшафтов от терминации позднеледникового периода до современности. В отличие от ранее исследованных озерных и торфяных разрезов, спорово-пыльцевая диаграмма озера S14 захватила окончание позднеледникового периода и не получила искажений за счет переотложения древесной пыльцы под действием раннеголоценовых подтоплений водами р. Оби, четко отразив безлесные и слабо облесенные лиственницей и елью тундро-степные ландшафты. В этих ландшафтах обширные злаково-полынные луга сочетались с разреженными рощами лиственницы и елей. В почвах в это время еще существовала многолетняя мерзлота, унаследованная от ледникового периода, что препятствовало распространению древесных видов с длинным стержневым корнем, к которым относится сосна обыкновенная, но благоприятствовало произрастанию деревьев, выносящих мерзлоту в почву, – лиственницы и ели. Но поскольку климат был, вероятно, криоаридным (судя по обилию пыльцы полыни и маревых в спектрах), эти породы не образовывали сомкнутые леса, а произрастали разреженным древостоем или группами деревьев в элементах рельефа с пониженной кровлей мерзлоты среди обширных открытых пространств, покрытых тундро-степной растительностью на междуречьях и влажными лугами, озерами и тростниковыми займищами в понижениях рельефа. Озера в этот период были низкопродуктивными, и в них накапливался преимущественно минеральный осадок.

С началом потепления климата в голоцене после 11500 кал. л. н. минеральное осадконакопление в озере резко сменилось накоплением органического сапропеля, и начались быстрые сукцессионные изменения в растительном покрове. В период 11500–10000 кал. л. н. первоначальное озеро было окружено тростниковой сплавиной, за которой следовало осоковое болото. Позднее в болотном покрове широко распространились осоково-папоротниковые болотные сообщества. Около 10700 кал. л. н. стремительно распространились заросли карликовой березки, как на болоте, так, вероятно, и на суходоле. На дренированных территориях, окружающих озерно-болотные комплексы, в период 11000–10000 кал. л. н. прогрессивно распространялись древовидные березы, в то время как роль ели и лиственницы начала снижаться. Такие изменения отражают

увлажнение климата и исчезновение мерзлоты в почвах. В результате этих процессов, начиная с 10000 кал. л.н., сосна обыкновенная стремительно распространилась в ландшафте, и началось заболачивание и торфонакопление на террасах Оби. В этот период олиготрофные болота широко распространились в ландшафте, окружающем озеро. Свидетельством этих изменений является то, что с 9000 кал. л.н. в растительном покрове болота, окружающего озеро, исчезли осоково-папоротниковые болотные сообщества, но появились эрикоидные кустарнички, что подтверждается как пыльцевыми, так и макрофоссильными данными.

Дальнейший ход растительных сукцессий на суходолах в окрестностях станции «Мухрино» по палинологическим данным озера S14 очень хорошо коррелирует с таковым, выявленным по торфяным колонкам предыдущих исследований. Подтверждается доминирование сосново-елово-березовых и сосново-березово-еловых лесов на суходоле и сосны обыкновенной (вероятно, болотные формы) на окружающих болотных ландшафтах в течение всего голоцена. В период 4600–3800 кал. л.н. максимальное распространение в лесах получала пихта. Вместе с пихтой в окрестностях «Мухрино» появился кедр, который сохранил доминирование в лесах до настоящего времени в отличие от пихты и ели, роль которых в лесах стала второстепенной. Последние виды, после периодов расцвета в голоцене, в настоящее время сокращают свой ценоареал.

Таким образом, полученные в работе новые палеопалинологические и палеоэкологические данные значительно расширяют и уточняют ранее опубликованные палеорекострукции по оз. Светленькому, пережившему в раннем голоцене подтопление рекой, и по торфяному разрезу, в котором аккумуляция торфа началась позднее – с 10000 кал. л.н. В целом палеопалинологические данные озера S14 лучше коррелируют с таковыми ближайших торфяных разрезов, чем с реконструкциями оз. Светленького, спектры которого могли быть искажены перетолжением палиноморф во время речных паводков в позднеледниковье – раннем голоцене.

Авторы благодарны Маартену ван Харден-буруку за организацию экспедиционных работ, помощь в бурении озера и оплате половины радиоуглеродных датировок. Благодарим также д.г.н. Е.В. Безрукову за помощь в определении наличия резервуарного эффекта в датировках и двух анонимных рецензентов за тщательное прочтение текста и замечания, позволившие значительно улучшить статью.

## Литература

Ахтерьякова А.В., Лещинский С.В. Результаты комплексного исследования двух голоценовых торфяников Тобольско-Прииртышского литофациального района // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 385. С. 171–180.

Бляхарчук Т.А. Новые палеопалинологические данные о динамике растительного покрова и климата Западной Сибири и прилегающих территорий в голоцене / Ред. А.С. Ревушкин. Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО», 2012. 138 с.

Бляхарчук Т.А., Дегтярева М.А., Маартен В.Х. Голоценовая динамика лесных пожаров по данным макроуголькового анализа донных отложений болотного озера в окрестностях научной станции «Мухрино», Ханты-Мансийский автономный округ // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее. Материалы Шестого Междунар. полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 28 июня – 08 июля 2021 г.). Томск, 2021. С. 161–163.

Бобров А.Е., Куприянова Л.А., Литвинцева М.Д., Тарасевич В.Ф. Споры папоротников и пыльца хвойных и однодольных растений флоры Европейской части СССР. Л.: Наука, 1983. 208 с.

Глебов Ф.З., Карпенко Л.В., Климанов В.А., Миндеева Т.Н. Палеоэкологический анализ торфяного разреза на водоразделе Оби и Васюгана // Сиб. экол. журн. 1996. № 6. С. 497–504.

Глебов Ф.З., Толейко Л.С., Стариков Э.В., Жидовленко В.А. Палинологическая характеристика и датирование по 14С торфяника в Александровском районе Томской области (среднетаежная зона) // Типы болот СССР и принципы их классификации. Л.: Наука, 1974. С. 194–199.

Гричук В.П., Заклинская Е.Д. Анализ ископаемой пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географгиз, 1948. 224 с.

Заров Е.А., Лапшина Е.Д. Стратиграфия и история развития верхового болота Мухрино (средняя тайга, Западная Сибирь) // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2026. С. 65–87. doi: 10.18822/edgsc699318

Куприянова Л.А. Палинология сережкоцветных (Amentiferae). Л.: Наука, 1965. 215 с.

Куприянова Л.А., Алёшина Л.А. Пыльца двудольных растений Европейской части СССР. Л.: Наука, 1978. 184 с.

Куприянова Л.А., Алёшина Л.А. Пыльца и споры флоры Европейской части СССР. Т. 1. Л.: Наука, 1972. 171 с.

Мазей Н.Г., Новенко Е.Е. Использование пропионового ангидрида для подготовки образцов для пыльцевого анализа // Nat. Conserv. Res. 2021. Т. 6, № 3. С. 110–112. doi: 10.24189/pcr.2021.036

Нейштадт М.И. Возникновение и скорость развития процесса заболачивания // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1977. С. 39–47.

Пупышева М.А., Бляхарчук Т.А. Реконструкция голоценовой истории палеопожаров в среднетаежной подзоне Западной Сибири по данным макроуголькового анализа озерных отложений

// Геосферные исследования. 2024. № 1. С. 135–151. doi: 10.17223/25421379/30/8

Фирсов Л.Б., Волкова В.С., Левина Т.П., Николаева И.В., Орлова Л.А., Панычев В.А., Волков И.А. Стратиграфия, геохронология и стандартная спорово-пыльцевая диаграмма голоценового болота Гладкое около Новосибирска (Правые Чемы) // Проблемы стратиграфии и палеогеографии плейстоцена Сибири. Новосибирск: Наука, 1982. С. 96–107.

Хотинский А.Е. Голоцен северной Евразии. М.: Наука, 1977. 198 с.

Amon L., Blaus A., Alliksaar T., Heinsalu A., Lapshina E., Liiv M., Reitalu T., Vassiljev J., Veski S. Postglacial flooding and vegetation history on the Pb River terrace, central Western Siberia based on the palaeoecological record from Lake Svetlenkoye // The Holocene. 2020. No. 30 (5). P. 618–631. doi: 10.1177/0959683619895582

Amon L., Tsyganov A. N., Zarov E. A., Burkanova E., Vassiljev J., Kulkov M. G., Krivokorin I., Chernyshov V. A., Mazei M. G., Salakhidinova G. T., Gulina A., Kuzmin Y., Mazei Y. A., Lapshina E. Regional and local drivers of vegetation and humidity dynamics in Western Siberia during the Holocene: A case study of Mukhrino mire // The Holocene. 2025. No. 1 (16). P. 1–16. doi: 10.1177/09596836251387252

Bennett K.D., Simonson W.D., Peglar S.M. Fire and man in post-glacial woodlands of eastern England // Journ. of Archaeological Science. 1990. Vol. 17, no. 6. P. 635–642.

Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process // Bayesian Analysis. 2011. No. 6. P. 457–474. doi: 10.1214/ba/1339616472

Blyakharchuk T. A., M. van Hardenbroek, Pypysheva M. A., Kirpotin S. N., Blyakharchuk P. A. Late Glacial and Holocene history of climate, vegetation landscapes and fires in South Taiga of Western Siberia based on radiocarbon dating and multi-proxy palaeoecological research of sediments from Schuchye Lake // Radiocarbon. 2025. No. 67. P. 1–24. doi: 10.1017/RDC.2024.103

Blyakharchuk T. A., Wright H. E., Borodavko P. S., van der Knaap W. O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai Mountains, southern Siberia // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2004. No. 209. P. 259–279. doi: 10.1016/j.palaeo.2004.02.011

Christen J.A., Perez E.S. A new robust statistical model for radiocarbon data // Radiocarb. 2010. No. 5. P. 1047–1059.

Conedera M., Tinner W., Neff C., Meurer M., Dickens A., Krebs P. Reconstructing past fire regimes: methods, applications and relevance to fire management and conservation // Quat. Sci. Rev. 2009. No. 28. P. 435–456. doi: 10.1016/j.quascirev.2008.11.005

Davis M.B. A method for determination of absolute pollen frequency // Handbook of paleontological techniques. San-Francisko: Freeman&Co, 1965. P. 674–686.

Grimm E. TGVie version 2.0.2. Illinois State Museum, Research and Collection Center, Springfield, Illinois. 2004.

Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // J. Palaeolimnol. 2001. No. 25. P. 101–110.

Herren P.A., Eichler A., Machguth H., Papina T., Tobler L., Zapf A., Schwikowski M. The onset of Neoglaciation 6000 years ago in western Mongolia revealed by an ice core from the Tsambagarav mountain range // Quaternary Science Reviews. 2013. No. 69. P. 59–68. doi: 10.1016/j.quascirev.2013.02.025

Mooney S., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments // Mires Peat. 2011. Vol. 7. P. 1–18. doi: 10.19189/001c.128417

Moore P. D., Webb J. A., Collinson M. E. Pollen Analysis. Oxford.: Blackwell Science Ltd, 1997. 216 c.

Patterson III W. A., Edwards K. J., Maguire D. J. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire // Quat. Sci. Rev. 1987. Vol. 6, no. 1. P. 3–23.

Pitkänen A., Turunen J., Tahvanainen T., Tolonen K. Holocene vegetation history from the Salym-Yugan Mire area, West Siberia // Holocene. 2002. No. 12 (3). P. 353–365. doi: 10.1191/0959683602hl533rp

Porter S.C. GLACIATIONS: Neoglaciation in the American Cordilleras // Elias S.A. (ed.). Encyclopedia of Quaternary Science. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 1133–1142.

Reimer P. J., Austin W. E. N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal k BP) // Radiocarbon. 2020. Vol. 62, no. 4. P. 725–157. doi: 10.1017/RDC.2020.41

Stockmarr J.A. Tablets with spores used in absolute pollen analysis // Pollen and spores. 1971. Vol. 13. P. 61–621.

Tsyganov A. N., Zarov E. A., Mazei Y. A., Kulkov M. G., Lapshina E. D., Babeshko K. V., Fatyunina Y. A., Yushkovets S. Y., Payne R. J., Ratcliffe J. L., Zazovskaya E. P. Key periods of peatland development and environmental changes in the middle taiga zone of western Siberia during the Holocene // Ambio. 2021. No. 50 (11). P. 1896–1909. doi: 10.1007/s13280-021-01545-7

Whitlock C., Larsen C. Charcoal as a fire proxy. Tracking environmental change using lake sediments // Develop. in Paleoenv. Res. 2002. Vol. 3. P. 75–97.

Wright H.E. Coring tips // J. of Paleolimn. 1991. No. 6. P. 37–49.

Zarov E. A., Lapshina E. D., Kuhlmann I et al. Carbon accumulation and the possibility of carbon losses by vertical movement of dissolved organic carbon in Western Siberian peatlands // Forests. 2023. No. 14 (12). 2393. doi: 10.3390/f14122393

Zhang J., Ma X. Y., Qiang M., Huang X. Z., Guo X. Y., Henderson A.C.G., Holmes J.A., Chon F.H. Developing inorganic carbon-based radiocarbon chronologies for Holocene lake sediments in arid NW China // Quaternary Science Reviews. 2016. Vol. 144. P. 66–82. doi: 10.1016/j.quascirev.2016.05.034

## References

Akhteryakova A. V., Leshchinskii S. V. Results of the comprehensive research of two Holocene peatlands of the Tobolsk-Irtysh lithofacies area. *Vestnik Tomskogo gos. universiteta = Tomsk State University Journal*. 2014;385:171–180. (In Russ.)

Amon L., Blaus A., Alliksaar T., Heinsalu A., Lapshina E., Liiv M., Reitalu T., Vassiljev J., Veski S. Postglacial flooding and vegetation history on the Pb River terrace,

central Western Siberia based on the palaeoecological record from Lake Svetlenkoye. *The Holocene*. 2020;30 (5):618–631. doi: 10.1177/0959683619895582

Amon L., Tsyganov A.N., Zarov E.A., Burkano-va E., Vassiljev J., Kulkov M.G., Krivokorin I., Chernyshov V.A., Mazei M.G., Salakhidinova G.T., Gulina A., Kuzmin Y., Mazei Y.A., Lapshina E. Regional and local drivers of vegetation and humidity dynamics in Western Siberia during the Holocene: a case study of Mukhrino mire. *The Holocene*. 2025;1(16):1–16. doi: 10.1177/09596836251387252

Bennett K.D., Simonson W.D., Peglar S.M. Fire and man in post-glacial woodlands of eastern England. *Journ. of Archaeological Science*. 1990;17(6):635–642.

Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*. 2011;6:457–474. doi: 10.1214/ba/1339616472

Blyakharchuk T.A. A new palaeopalynological data on dynamics of vegetation cover and climate of Western Siberia and adjacent areas in the Holocene. Novosibirsk: GEO Publ.; 2012. 138 p. (In Russ.)

Blyakharchuk T.A., Degtyareva M.A., Maarten V.H. Holocene forest fire dynamics based on macrocharcoal analysis of bottom sediments from a swamp lake in the vicinity of the Mukhrino research station, Khanty-Mansi Autonomous Okrug. *Zapadno-Sibirskie torfyaniki i tsikl ugleroda: proshloe i nastoyashchee. Mat-ly Shestogo Mezhdunar. polevogo simpoziuma (Khanty-Mansiisk, 28 iyunya – 08 iyulya 2021 g.) = West Siberian peatlands and the carbon cycle: past and present. Proceed. VI int. field symposium (Khanty-Mansiisk, June 28 – July 8, 2021)*. Tomsk; 2021. P. 161–163. (In Russ.)

Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai Mountains, southern Siberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2004;209:259–279. doi: 10.1016/j.palaeo.2004.02.011

Blyakharchuk T.A., M. van Hardenbroek, Pypysheva M.A., Kirpotin S.N., Blyakharchuk P.A. Late Glacial and Holocene history of climate, vegetation landscapes and fires in South Taiga of Western Siberia based on radiocarbon dating and multi-proxy palaeoecological research of sediments from Schuchye Lake. *Radiocarbon*. 2025;67:1–24. doi: 10.1017/RDC.2024.103

Bobrov A.E., Kupriyanova L.A., Litvintseva M.D., Tarasevich V.F. Fern spores and pollen of coniferous and monocotyledonous plants of the flora of the European part of the USSR. Leningrad: Nauka; 1983. 208 p. (In Russ.)

Christen J.A., Perez E.S. A new robust statistical model for radiocarbon data. *Radiocarbon*. 2010;5:1047–1059.

Conedera M., Tinner W., Neff C., Meurer M., Dickens A., Krebs P. Reconstructing past fire regimes: methods, applications and relevance to fire management and conservation. *Quat. Sci. Rev.* 2009;28:435–456. doi: 10.1016/j.quascirev.2008.11.005

Davis M.B. A method for determination of absolute pollen frequency. Handbook of paleontological techniques. San-Francisco: Freeman&Co Press; 1965. P. 674–686.

Firsov L.B., Volkova V.S., Levina T.P., Nikolaeva I.V., Orlova L.A., Panychev V.A., Volkov I.A. Stratigraphy, geochronology, and standard spore-pollen diagram of the Holocene Gladkoe bog near Novosibirsk (Pravyye Cherny). *Problemy stratigrafii i paleogeografii pleistotsena Sibiri = Problems of stratigraphy and paleogeography of the Pleistocene of Siberia*. Novosibirsk: Nauka; 1982. P. 96–107. (In Russ.)

Glebov F.Z., Toleiko L.S., Starikov E.V., Zhidovlenko V.A. Palynological characteristics and 14C dating of peat bog in the Aleksandrovsky District of the Tomsk Region (middle taiga zone). *Tipy bolot i printsipy ikh klassifikatsii = Types of bogs of the USSR and principles of their classification*. Leningrad: Nauka; 1974. P. 194–199. (In Russ.)

Glebov F.Z., Karpenko L.V., Klimanov V.A., Mindeeva T.N. Paleoeological analysis of the peat section on the Ob and Vasyugan watershed. *Sib. ekol. zhurn. = Contemp. Problems of Siberia*. 1996;6:497–504. (In Russ.)

Grichuk V.P., Zaklinskaya E.D. Analysis of fossil pollen and spores and its application in paleogeography. Moscow: Geografiz; 1948. 224 p. (In Russ.)

Grimm E. TGView version 2.0.2. Illinois State Museum, Research and Collection Center, Springfield, Illinois. 2004.

Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. Palaeolimnol.* 2001;25:101–110.

Herren P.A., Eichler A., Machguth H., Papina T., Tobler L., Zapf A., Schwikowski M. The onset of Neoglaciation 6000 years ago in western Mongolia revealed by an ice core from the Tsambagarav mountain range. *Quaternary Science Reviews*. 2013;69:59–68. doi: 10.1016/j.quascirev.2013.02.025

Khotinskii A.E. Holocene of northern Eurasia. Moscow: Nauka; 1977. 198 p. (In Russ.)

Kupriyanova L.A. Palynology of catkinaceae (Amentiferae). Leningrad: Nauka; 1965. 215 p. (In Russ.)

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

Kupriyanova L.A., Aleshina L.A. Pollen of dicotyledonous plants of the European part of the USSR. Leningrad: Nauka; 1978. 184 p. (In Russ.)

Mazei N.G., Novenko E.E. Use of propionic anhydride to prepare samples for pollen analysis. *Nat. Conserv. Res.* 2021;6(3):110–112. (In Russ.). doi: 10.24189/pcr.2021.036

Mooney S., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Mires Peat*. 2011;7:1–18. doi: 10.19189/001c.128417

Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. Pollen analysis. Oxford: Blackwell Science Ltd Press; 1997. 216 p.

Neishtadt M.I. The emergence and rate of development of the swamping process. *Nauchnye predposylki osvoeniya bolot Zapadnoi Sibiri = Scientific prerequisites for the development of Western Siberian swamps*. Moscow: Nauka; 1977. P. 39–47. (In Russ.)

Patterson III W.A., Edwards K.J., Maguire D.J. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. *Quat. Sci. Rev.* 1987;6(1):3–23.

Pitkänen A., Turunen J., Tahvanainen T., Tolonen K. Holocene vegetation history from the Salym-Yugan Mire area., West Siberia. *Holocene*. 2002;12(3):353–365. doi: 10.1191/0959683602hl533rp

Porter S.C. GLACIATIONS: Neoglaciation in the American Cordilleras. Elias SA (ed.). Encyclopedia of Quaternary Science. Amsterdam: Elsevier; 2007. P. 1133–1142.

Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A. Reconstruction of the Holocene history of paleofires in the middle taiga subzone of Western Siberia based on macrocoal analysis of lake sediments. *Geosfernye issledovaniya = Geosphere Research*. 2024;1:135–151. (In Russ.). doi: 10.17223/25421379/30/8

Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal k BP). *Radiocarbon*. 2020;62(4):725–157. doi: 10.1017/RDC.2020.41

Stockmarr J.A. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen and spores*. 1971;13:61–621.

Tsyganov A.N., Zarov E.A., Mazei Y.A. et al. Key periods of peatland development and environmental changes in the middle taiga zone of western Siberia

during the Holocene. *Ambio*. 2021;50(11):1896–1909. doi: 10.1007/s13280-021-01545-7

Whitlock C., Larsen C. Charcoal as a fire proxy. Tracking environmental change using lake sediments. *Develop. in Paleoenv. Res.* 2002;3:75–97.

Wright H.E. Coring tips. *J. of Paleolimn.* 1991;6:37–49.

Zarov E.A., Lapshina E.D., Kuhlmann I. et al. Carbon accumulation and the possibility of carbon losses by vertical movement of dissolved organic carbon in Western Siberian peatlands. *Forests*. 2023;14(12):2393. doi: 10.3390/f14122393

Zarov E.A., Lapshina E.D. Stratigraphy and development history of the Mukhrino oligotrophic peatland (middle taiga, Western Siberia). *Dinamika okruzhayushchei sredy i global'nye izmeneniya klimata = Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2026;17(1): 65–87. (In Russ.). doi: 10.18822/edgcc 699318

Zhang J., Ma X.Y., Qiang M., Huang X.Z., Guo X.Y., Henderson A.C.G., Holmes J.A., Chon F.H. Developing inorganic carbon-based radiocarbon chronologies for Holocene lake sediments in arid NW China. *Quaternary Science Reviews*. 2016;144:66–82. doi: 10.1016/j.quascirev.2016.05.034

Поступила в редакцию / received: 01.04.2026; принята к публикации / accepted: 20.05.2026.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Бляхарчук Татьяна Артемьевна

д-р биол. наук, главный научный сотрудник Лаборатории мониторинга лесных экосистем ИМКЭС СО РАН, профессор ТГУ

e-mail: blyakharchuk@mail.ru

### Бляхарчук Павел Анатольевич

ведущий инженер Лаборатории мониторинга лесных экосистем ИМКЭС СО РАН

e-mail: blakar@rambler.ru

### Лапшина Елена Дмитриевна

д-р биол. наук, профессор ЮГУ, директор образовательно-исследовательского центра динамики окружающей среды и изменений климата

e-mail: e\_lapshina@ugrasu.ru

## CONTRIBUTORS:

### Blyakharchuk, Tatyana

Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Professor

### Blyakharchuk, Pavel

Leading Engineer

### Lapshina, Elena

Dr. Sci. (Biol.), Professor