

УДК 551.89:556.56(571.162)

ПАЛЕОПОЖАРНАЯ ДИНАМИКА ПРИТОБОЛЬЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ОЗЕРНО-БОЛОТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТОРФЯНИКА ОСЬКИНО)[#]

© 2025 г. Э. Д. Трубицына^{1,*}, А. С. Афонин^{1,**}, Н. Е. Рябогина^{1,2,***}

¹ Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

² Гётеборгский университет, Гётеборг, Швеция

* E-mail: el.yuzh@gmail.com

** E-mail: hawk_lex@list.ru

*** E-mail: nataly.ryabogina@gmail.com

Поступила в редакцию 30.09.2024 г.

После доработки 18.01.2025 г.

Принята к публикации 15.02.2025 г.

В работе сопоставлены палеоэкологические, археологические и палеопожарные данные по Притоболью, полученные в результате исследования отложений заболоченного озера Оськино-21 (юг Тюменской области). Этот небольшой торфяник приурочен к северной лесостепи и расположен в окружении археологических памятников разного времени, что позволяет оценить зависимость лесных пожаров как от природных (климатических), так и от антропогенных факторов. Исследование охватывает 9.6 тыс. кал.л., включая весь период заселения окружающей территории с финала гренландского яруса голоцена. Выполнены анализ изменений свойств торфа, радиоуглеродное датирование, подсчитаны макроскопические частицы древесного угля в озерно-болотных отложениях. В работе проведена корреляция полученных данных с результатами археологических исследований близлежащей территории, а также с результатами ботанического анализа торфа и данными спорово-пыльцевого анализа, полученными ранее из отложений Оськино-09. Сопоставление этих данных показало зависимость между снижением уровня увлажнения и усилением пожарной активности, кроме того показана корреляционная зависимость между долей сосновых лесов и частотой возникновения пожаров, а также отмечено влияние антропогенного фактора на пожарную динамику. Около 9.5–8.2 тыс. кал.л.н., когда еще не началось освоение этой территории людьми, отмечалась высокая частота пирогенных эпизодов, что могло быть связано с сухими условиями и расселением сосны в лесах. Спорово-пыльцевые данные с неолитического времени до раннего железного века указывают на незначительное антропогенное влияние на растительность, что связано с существованием присваивающего типа хозяйства вплоть до 4.5 тыс. кал.л.н. Однако отмечается увеличение пожарной активности в интервале 5.9 по 4.6 тыс. кал.л.н. Вероятно, на это повлияло заселение берегов озера в энеолитическое и бронзовое время. В период 4.7–2.9 тыс. кал.л.н. происходит переход населения к придомному скотоводству, и количество пожаров снижается, что могло быть связано со смещением населения в сторону поймы, а также с более влажными климатическими условиями. Отмечено заметное увеличение влияния хозяйственной деятельности на фоновые скорости накопления макроскопических частиц угля и количество пожарных эпизодов, начиная с 1.4 тыс. кал.л.н.

Ключевые слова: Западная Сибирь; макроуголь; палеопожары; палеоархивы; археология

DOI: 10.31857/S2949178925030062

1. ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары представляют собой катастрофические природные явления, изменяющие состав лесов, структуру растительного покрова и нано-

сящие значительный экономический ущерб. Исследование лесных пожаров, трансформирующих ландшафт, способствующих потеплению климата и влияющих на радиационный баланс (Feurdean et al., 2022) является важной темой междисциплинарных изысканий, особенно в условиях нарастающей пожарной активности по всему миру (Bondur et al., 2020; Kharuk et al., 2021). Возникает множество вопросов о факторах, способствующих возникновению и распространению пожаров. Для понимания динамики современной пожарной

[#] Ссылка для цитирования: Трубицына Э.Д., Афонин А.С., Рябогина Н.Е. (2025) Палеопожарная динамика Притоболья (по материалам озерно-болотных отложений торфяника Оськино). *Геоморфология и палеогеография*. Т. 56. № 3. С. 442–456. <https://doi.org/10.31857/S2949178925030062>

ситуации и изучения процессов трансформации растительных сообществ под воздействием огня необходимо комплексное исследование палеоархивных записей голоцена с различных территорий, включающее анализы изменений растительности, климата и пожаров. Данные о фоновой скорости накопления макроскопических частиц угля позволяют сделать выводы о текущих тенденциях пожарной активности и выявить ключевые факторы возникновения пожаров на региональном и глобальном уровнях (Пупышева, Бляхарчук, 2023).

Изучение палеопожарной динамики в России активно развивается, проведены палеореконструкции на территории Восточно-Европейской равнины, Западной Сибири, Алтая, Восточной Сибири и Дальнего Востока (см. обзор в Пупышева, Бляхарчук, 2023). Однако данных по территории России все еще недостаточно, особенно для оценки региональных особенностей и причин периодического возрастания пожарной активности.

У исследователей нет единого мнения относительно главного фактора, влияющего на рост пожарной активности. Одни ученые считают, что основная причина увеличения числа пожаров — антропогенная деятельность (Van Oldenborgh et al., 2021; Wang et al., 2021). Другие полагают, что ключевую роль играет климат, это подтверждается исследованиями, фиксирующими масштабные пожары при незначительном антропогенном воздействии (Harrison et al., 2010; Hamilton et al., 2018; Wang et al., 2021). По-видимому, руководящие факторы усиления пожарной активности могут различаться в разных регионах и чередоваться на протяжении длительных временных отрезков.

Для получения новых данных по палеопожарной динамике Западной Сибири проведено комплексное исследование, включающее спорово-пыльцевой анализ (выполнено ранее авторами для этого же объекта), анализ свойств торфа и макроскопических частиц угля из озерно-болотных отложений болота Оськино. Этот палеоархив расположен рядом с многослойным поселением, существовавшим с эпохи неолита (7.5–6.0 тыс.л.н.) (Ткачев, Ткачева, 2006), и серией других археологических памятников Ингальской долины, что позволяет проанализировать влияние древней хозяйственной активности на палеопожарную динамику.

Благодаря исследованию отложений торфяника Оськино появилась возможность анализа ключевых факторов, на протяжении длительного времени влияющих на развитие палеопожарной динамики в этом районе Западной Сибири. Цель данного исследования заключается в раскрытии взаимосвязи между природными и антропогенными фак-

торами, влияющими на динамику лесных пожаров за последние 9.5 тыс. лет. Для ее достижения выполнены: 1) анализ скорости накопления макроскопических частиц древесного угля в озерно-болотных отложениях Оськино-21; 2) сопоставление палеопожарной динамики со спорово-пыльцевыми данными, составом и физико-химическими свойствами торфа, а также с археологическими данными о заселении и хозяйственной деятельности древних сообществ в этом районе. Сравнение палеоданных о природных и антропогенных факторах поможет определить их относительный вклад в динамику лесных пожаров.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория Притоболья приурочена к СЗ сектору Западно-Сибирской равнины. Рельеф расчлененный, увалистый и полого-увалистый, встречается большое количество округлых западин с сырыми лугами. Повышенные поверхности террас и междуречий, преимущественно используемые под сельскохозяйственную деятельность, чередуются с заболоченными низинами и лесами. Преобладают плодородные лугово-черноземные почвы, на водоразделах почвы подстилают суглинки, обогащенные карбонатами, и супеси, в речных долинах — пески. Район исследования приурочен к северной части лесостепи, где зональными являются выщелоченные черноземы или луговые почвы, покрытые разнотравно-злаковыми лугами и луговыми степями с галомезофитным разнотравьем, или сельскохозяйственные земли на их месте. Лесные урочища с березняками приурочены к долинам ручьев, мелких рек и лощинам. Сомкнутые березовые и смешанные леса расположены на серых лесных почвах; осветленные леса небольшими участками — на луговых почвах; сосновые травяно-кустарничковые леса распространены на песчаных отложениях террас Тобола и Исети. Болотных местностей мало, располагаются они по обводненным террасам Исети и представлены урочищами низинных осоково-вейниковых, реже осоково-тростниковых болот (Бакулин, Козин, 1996; Атлас ..., 1971; Растительность ..., 1976).

Торфяник Оськино (56°36'31.92" N, 66°15'34.82" E), расположен в 2 км от впадения р. Исеть в р. Тобол (рис. 1). Прилегает к крупному сосново-березовому массиву — особо охраняемой природной территории Сингульский лес (Хозяинова, 2000), простирающемуся более чем на 20 км вдоль песчаных отложений надпойменной террасы левого берега Исети. Противоположная сторона долины Исети — низкая и высокая поймы, занятые разнообразными лугами с протоками, старицами и редкими

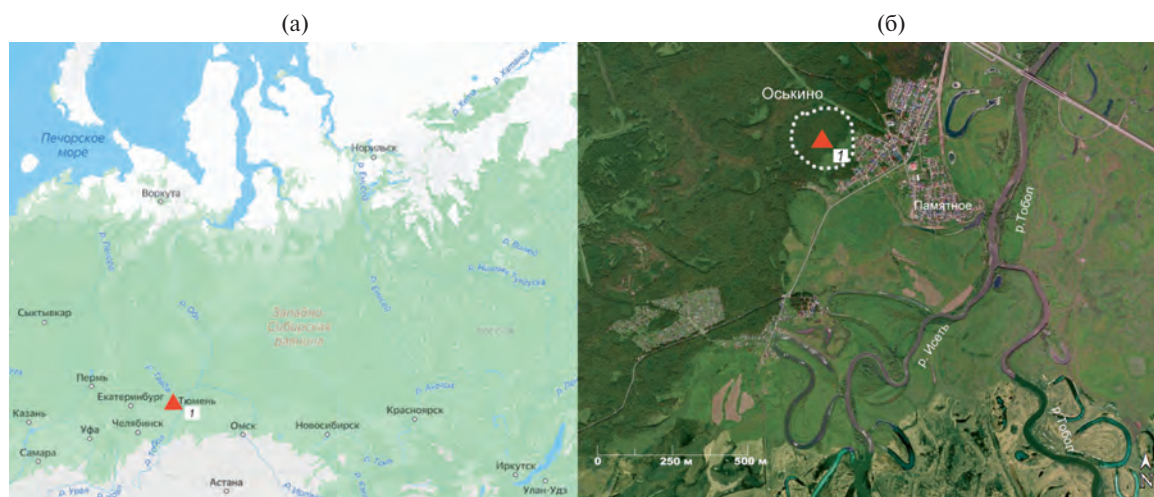


Рис. 1. Местоположение болота Оськино: (а) — расположение участка исследований (<https://yandex.ru/maps/>); (б) — болото Оськино на слияние рек Тобол и Исеть (<https://sasplanets.ru/>). *1* — местоположение торфяника Оськино.

Fig. 1. Location of the Oskino swamp: (a) — location of the study area (<https://yandex.ru/maps/>); (б) — Oskino swamp location at the confluence of the Tobol and Iset Rivers (<https://sasplanets.ru/>). *1* — location of the Oskino peat bog.

лесами на останцах террас — известна как археологический микрорайон Ингальская Долина (Волков, 2007). Рядом с торфяником на выступе террасы расположено древнее многослойное поселение Оськино Болото, в котором выделены культурные слои и сооружения нескольких археологических периодов от энеолита до средневековья (Ткачев, Ткачева, 2006). Для реконструкции антропогенных изменений ландшафтов привлекались пыльцевые данные из культурных слоев поселения Оськино Болото (Насонова, Рудая, 2015, 2016).

Оськино — небольшой торфяник, занимающий котловину овальной формы площадью около 36 га на краю второй левобережной террасы Исети. Ранее в 2009 г. отложения торфяника уже были отобраны для реконструкции динамики природно-климатических изменений Притоболья по спорово-пыльцевым данным Оськино-09 (Насонова и др., 2019; Yuzhanina et al., 2022a, b). Результаты этого исследования использованы для сопоставления с пожарной динамикой, изученной при повторном отборе отложений в 2021 г. и описанной в данной статье.

В настоящее время краевые участки торфяника сильно обводнены и покрыты тростником (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), пушицей (*Eriophorum vaginatum* L.) и рогозом (*Typha latifolia* L.). Северо-западная часть котловины занята олиготрофным торфяником, заросла березой (*Betula pubescens* Ehrh.) и угнетенной сосной (*Pinus sylvestris* L.). Однако юго-восточная часть котловины более глубокая. Здесь все еще идет мезотрофное торфонакопление, участок почти без

деревьев и покрыт хвощево-вахтовой (*Equisetum* sp. *Menyanthes trifoliata* L.) растительностью с тростником, примесью белокопытника (*Petasites albus* (L.) Gaertn.) и редкими кустами ивы (*Salix* sp.).

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Отбор проб

Низкая обводненность болота в 2021 г. позволила отобрать полный монолит отложений Оськино-21 при шурфовке в специальный металлический короб без нарушения структуры. Общая мощность отложений составила 193 см, описание разреза и пробы для дальнейших анализов отобраны в лаборатории через каждый 1 см.

2.2. Радиоуглеродное датирование

Для определения возраста по общей навеске торфа в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (табл. 1) получено 7 радиоуглеродных датировок из керна Оськино-21. Калибровка дат выполнена по калибровочной кривой IntCal20 (Reimer et al., 2020), все возрастные интервалы приведены в работе в калиброванных значениях, модель возраст-глубина, расчет скоростей аккумуляции (мм/год) и седиментации (лет/см) выполнялись с использованием пакета Bchron (Haslett, Parnell, 2008) в программной среде R (R Core Team, 2017). Ранее таким же способом продатированы отложения из керна Оськино-09 (Yuzhanina et al., 2022b), это позволило сопоставить новые и ранее полученные данные анализов согласно возрастным определениям.

Таблица 1. ^{14}C датировки керна Оськино-21**Table 1.** ^{14}C dating of the Oskino-21 core

Лабораторный код	Глубина, см	Материал для датирования	^{14}C возраст	Калиброванный ^{14}C возраст (IntCal20)	
				среднее значение	$\pm 1\sigma$
СОАН-10047	146.5–143	торф	7160 ± 155	7980	7837–8056
СОАН-10052	126–121		5155 ± 105	5911	5745–6002
СОАН-10048	112–109		4935 ± 125	5684	5490–5501
СОАН-10053	101–98		4465 ± 135	5111	4887–4896
СОАН-10049	78–75		3600 ± 145	3914	3698–4090
СОАН-10054	61–58		2640 ± 135	2740	2494–2599
СОАН-10050	40–37		2185 ± 125	2172	2006–2019

2.3. Анализ макроскопических частиц угля

Для подсчета макрочастиц древесного угля (>100 мкм) из всех стратиграфических горизонтов через 1 см отобраны образцы объемом 1 см³. Торфяные отложения подготовлены согласно стандартному протоколу (Mooney, Tinner, 2001): пробы были залиты 10% раствором гипохлорита кальция ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), оставлены в темном месте на 24 ч. для обесцвечивания органического материала, осадок промывали через сито 100 мкм и все частицы угля, оставшиеся на сите, подсчитывали под микроскопом при 40-кратном увеличении.

Статистическая обработка полученных данных по концентрации макроскопических частиц угля в торфе выполнена в программе CharAnalysis (Higuera, 2009), в среде R (R Core Team, 2017), при построении использовался пакет tapas (Finsinger, Bonnici, 2022). Исходными данными для анализа выступили количество угольных частиц в образцах, глубина, верхняя и нижняя границы возраста каждого образца, рассчитанные в программе Bchron (Haslett, Parnell, 2008) по модели возраст–глубина (рис. 2). Для расчета фоновых значений скорости накопления угля применялись

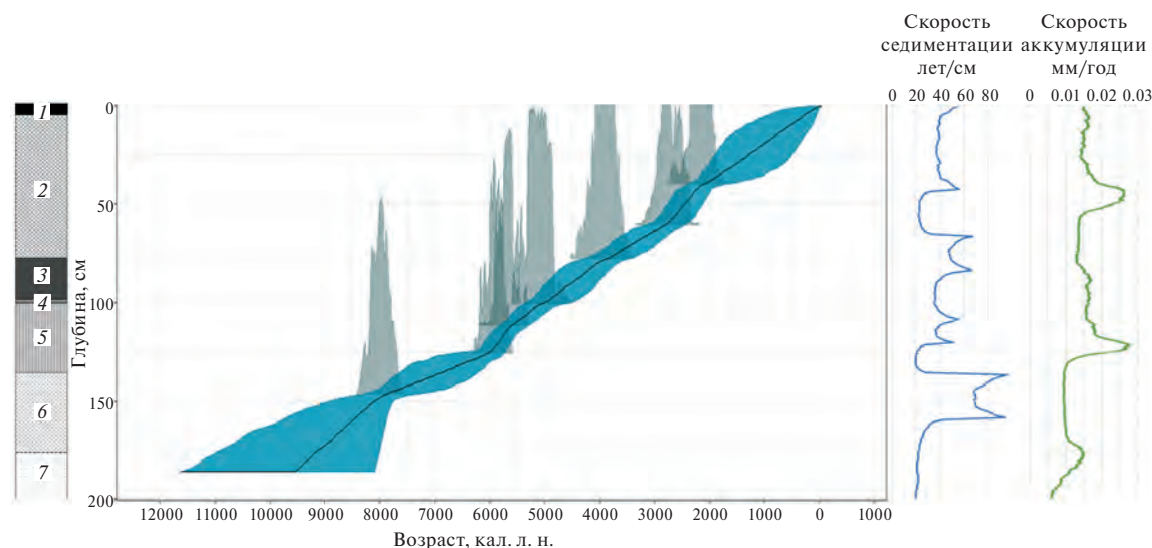


Рис. 2. Возрастная модель, скорость седиментации, скорость аккумуляции и стратиграфия отложений Оськино-21. Справа от литологической колонки цифрами обозначены номера слоев, соответствующие описанию в табл. 2 (1 – торфянистая почва; 2 – травяной торф; 3 – сапропель торфянистый; 4 – глина; 5 – сапропель; 6 – ил; 7 – супесь).

Серый цвет на графике возрастной модели – диапазон калиброванных ^{14}C -датировок; синий цвет – возрастная шкала, рассчитанная Bchron, с 95% вероятностью.

Fig. 2. Age-depth model, sedimentation rate, accumulation rate and stratigraphy of the Oskino-21 core. To the right of the lithological column, numbers indicate the layer numbers, corresponding to the description in Table 2 (1 – peaty soil; 2 – grass peat; 3 – peaty sapropel; 4 – clay; 5 – sapropel; 6 – silt; 7 – loam).

The gray shading on the age model graph represents the range of calibrated ^{14}C dates; the blue line indicates the age scale calculated by Bchron, with a 95% probability.

сглаживающая кривая *rob.lowess* (локально-взвешенная полиномиальная регрессия), сглаживающее окно размером 1000 лет, тип пороговых значений — локальный, значение порога — 0.95%. Интерполяция значений была выбрана с шагом 50 лет, установленный диапазон значений отношения сигнала к шуму (Signal-to-Noise Index — SNI) для керна выше 3, что подтверждает достоверность полученных результатов (Kelly et al., 2011).

2.4. Анализ физико-химических свойств торфа

Вдоль керна Оськино-21 для 28 проб объемом 2.5 см³ проведена оценка свойств торфа: анализ потерь при прокаливании (Loss On Ignition — LOI) оценен по протоколу Heiri et al. (2001), содержания органического вещества (Organic Matter — OM) проанализированы согласно Chambers et al. (2010/11). Измерения гумификации выполнены калориметрическим методом (Payne, Blackford, 2008), при длине волны 540 нм в трехкратной повторности для оценки поглощения света (D) для каждого образца раствора. Обнаруженные значения светопоглощения света (оптической

плотности) были скорректированы в соответствии с LOI. Это показатели находятся в диапазоне от 0 до 0.3 см⁻¹ (при максимуме 1.5) и напрямую отражают изменения гумификации (Chambers, Beilman, 2010/11), то есть степени разложения растительного материала в торфе при постепенном разрушении растительных структур и их преобразовании в гуминовые вещества.

2.5. Спорово-пыльцевой анализ разреза Оськино-09

Палинологические данные и состав торфа изучены ранее по колонке отложений Оськино-09 с шагом в 3 см (Yuzhanina et al., 2022a, 2022b). Общая мощность отложений составила 1.9 м; из этой же колонки отобрано 6 образцов на радиоуглеродное датирование, согласно которым возраст отложений в этой части торфяника составил около 7.5 тыс.л.н. Согласование пыльцевых данных Оськино-09 и данных анализа частиц угля Оськино-21 проведено исходя из расчетного возраста проб из обоих разрезов (рис. 3).

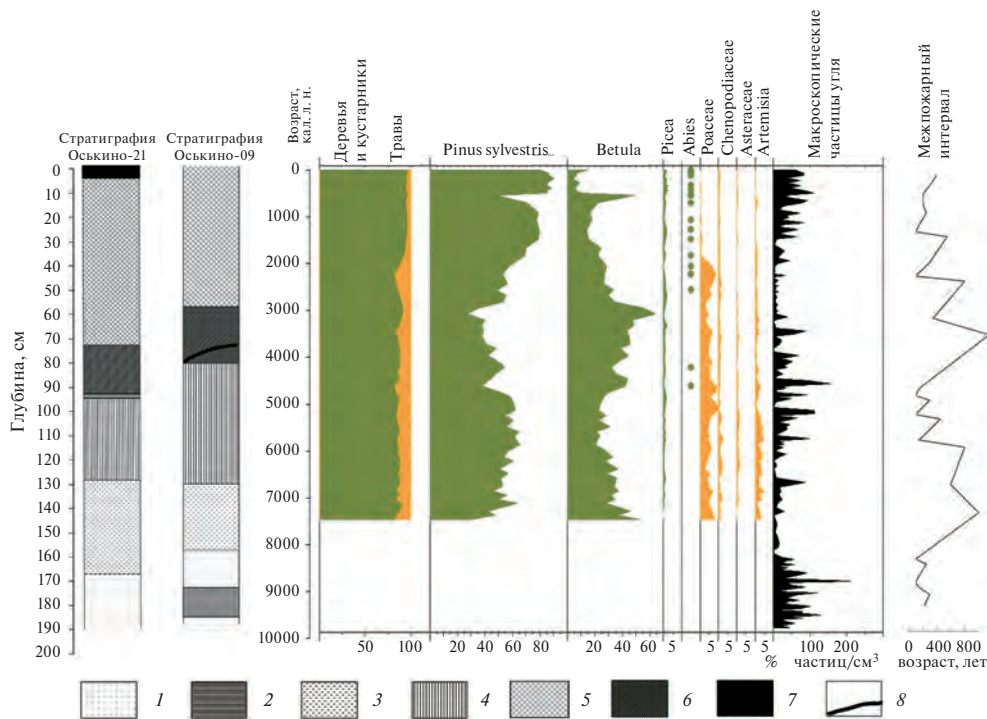


Рис. 3. Соотношение данных основных пыльцевых таксонов разреза Оськино-09, количества макрочастиц угля и межпожарные интервалы в разрезе Оськино-21 (данные скоррелированы согласно возрастной кривой). Точками на диаграмме представлено единичное присутствие таксонов.

1 — супесь; 2 — глина; 3 — ил; 4 — сапропель; 5 — травяной торф с темными прослойками; 6 — сапропель торфянистый; 7 — торфянистая почва; 8 — горелая прослойка.

Fig. 3. Correlation of data on the main pollen taxa of the Oskino-09 core, the amount of charcoal macrofossils and fire return intervals in the Oskino-21 core (data are correlated according to the age curve). The dots in the diagram represent the presence of single pollen grains.

1 — sandy loam; 2 — clay; 3 — silt; 4 — sapropel; 5 — grass peat with dark layers; 6 — peaty sapropel; 7 — peaty soil; 8 — the burnt layer.

УДК 551.89:556.56(571.162)

ПАЛЕОПОЖАРНАЯ ДИНАМИКА ПРИТОБОЛЬЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ОЗЕРНО-БОЛОТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТОРФЯНИКА ОСЬКИНО)[#]

© 2025 г. Э. Д. Трубицына^{1,*}, А. С. Афонин^{1,**}, Н. Е. Рябогина^{1,2,***}

¹ Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

² Гётеборгский университет, Гётеборг, Швеция

* E-mail: el.yuzh@gmail.com

** E-mail: hawk_lex@list.ru

*** E-mail: nataly.ryabogina@gmail.com

Поступила в редакцию 30.09.2024 г.

После доработки 18.01.2025 г.

Принята к публикации 15.02.2025 г.

В работе сопоставлены палеоэкологические, археологические и палеопожарные данные по Притоболью, полученные в результате исследования отложений заболоченного озера Оськино-21 (юг Тюменской области). Этот небольшой торфяник приурочен к северной лесостепи и расположен в окружении археологических памятников разного времени, что позволяет оценить зависимость лесных пожаров как от природных (климатических), так и от антропогенных факторов. Исследование охватывает 9.6 тыс. кал.л., включая весь период заселения окружающей территории с финала гренландского яруса голоцена. Выполнены анализ изменений свойств торфа, радиоуглеродное датирование, подсчитаны макроскопические частицы древесного угля в озерно-болотных отложениях. В работе проведена корреляция полученных данных с результатами археологических исследований близлежащей территории, а также с результатами ботанического анализа торфа и данными спорово-пыльцевое анализа, полученными ранее из отложений Оськино-09. Сопоставление этих данных показало зависимость между снижением уровня увлажнения и усилением пожарной активности, кроме того показана корреляционная зависимость между долей сосновых лесов и частотой возникновения пожаров, а также отмечено влияние антропогенного фактора на пожарную динамику. Около 9.5–8.2 тыс. кал.л.н., когда еще не началось освоение этой территории людьми, отмечалась высокая частота пирогенных эпизодов, что могло быть связано с сухими условиями и расселением сосны в лесах. Спорово-пыльцевые данные с неолитического времени до раннего железного века указывают на незначительное антропогенное влияние на растительность, что связано с существованием присваивающего типа хозяйства вплоть до 4.5 тыс. кал.л.н. Однако отмечается увеличение пожарной активности в интервале 5.9 по 4.6 тыс. кал.л.н. Вероятно, на это повлияло заселение берегов озера в энеолитическое и бронзовое время. В период 4.7–2.9 тыс. кал.л.н. происходит переход населения к придомному скотоводству, и количество пожаров снижается, что могло быть связано со смещением населения в сторону поймы, а также с более влажными климатическими условиями. Отмечено заметное увеличение влияния хозяйственной деятельности на фоновые скорости накопления макроскопических частиц угля и количество пожарных эпизодов, начиная с 1.4 тыс. кал.л.н.

Ключевые слова: Западная Сибирь; макроуголь; палеопожары; палеоархивы; археология

DOI: 10.31857/S2949178925030062

1. ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары представляют собой катастрофические природные явления, изменяющие состав лесов, структуру растительного покрова и нано-

сящие значительный экономический ущерб. Исследование лесных пожаров, трансформирующих ландшафт, способствующих потеплению климата и влияющих на радиационный баланс (Feurdean et al., 2022) является важной темой междисциплинарных изысканий, особенно в условиях нарастающей пожарной активности по всему миру (Bondur et al., 2020; Kharuk et al., 2021). Возникает множество вопросов о факторах, способствующих возникновению и распространению пожаров. Для понимания динамики современной пожарной

[#] Ссылка для цитирования: Трубицына Э.Д., Афонин А.С., Рябогина Н.Е. (2025) Палеопожарная динамика Притоболья (по материалам озерно-болотных отложений торфяника Оськино). *Геоморфология и палеогеография*. Т. 56. № 3. С. 442–456. <https://doi.org/10.31857/S2949178925030062>

ситуации и изучения процессов трансформации растительных сообществ под воздействием огня необходимо комплексное исследование палеоархивных записей голоцена с различных территорий, включающее анализы изменений растительности, климата и пожаров. Данные о фоновой скорости накопления макроскопических частиц угля позволяют сделать выводы о текущих тенденциях пожарной активности и выявить ключевые факторы возникновения пожаров на региональном и глобальном уровнях (Пупышева, Бляхарчук, 2023).

Изучение палеопожарной динамики в России активно развивается, проведены палеореконструкции на территории Восточно-Европейской равнины, Западной Сибири, Алтая, Восточной Сибири и Дальнего Востока (см. обзор в Пупышева, Бляхарчук, 2023). Однако данных по территории России все еще недостаточно, особенно для оценки региональных особенностей и причин периодического возрастания пожарной активности.

У исследователей нет единого мнения относительно главного фактора, влияющего на рост пожарной активности. Одни ученые считают, что основная причина увеличения числа пожаров — антропогенная деятельность (Van Oldenborgh et al., 2021; Wang et al., 2021). Другие полагают, что ключевую роль играет климат, это подтверждается исследованиями, фиксирующими масштабные пожары при незначительном антропогенном воздействии (Harrison et al., 2010; Hamilton et al., 2018; Wang et al., 2021). По-видимому, руководящие факторы усиления пожарной активности могут различаться в разных регионах и чередоваться на протяжении длительных временных отрезков.

Для получения новых данных по палеопожарной динамике Западной Сибири проведено комплексное исследование, включающее спорово-пыльцевой анализ (выполнено ранее авторами для этого же объекта), анализ свойств торфа и макроскопических частиц угля из озерно-болотных отложений болота Оськино. Этот палеоархив расположен рядом с многослойным поселением, существовавшим с эпохи неолита (7.5–6.0 тыс.л.н.) (Ткачев, Ткачева, 2006), и серией других археологических памятников Ингальской долины, что позволяет проанализировать влияние древней хозяйственной активности на палеопожарную динамику.

Благодаря исследованию отложений торфяника Оськино появилась возможность анализа ключевых факторов, на протяжении длительного времени влияющих на развитие палеопожарной динамики в этом районе Западной Сибири. Цель данного исследования заключается в раскрытии взаимосвязи между природными и антропогенными фак-

торами, влияющими на динамику лесных пожаров за последние 9.5 тыс. лет. Для ее достижения выполнены: 1) анализ скорости накопления макроскопических частиц древесного угля в озерно-болотных отложениях Оськино-21; 2) сопоставление палеопожарной динамики со спорово-пыльцевыми данными, составом и физико-химическими свойствами торфа, а также с археологическими данными о заселении и хозяйственной деятельности древних сообществ в этом районе. Сравнение палеоданных о природных и антропогенных факторах поможет определить их относительный вклад в динамику лесных пожаров.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория Притоболья приурочена к СЗ сектору Западно-Сибирской равнины. Рельеф расчлененный, увалистый и полого-увалистый, встречается большое количество округлых западин с сырыми лугами. Повышенные поверхности террас и междуречий, преимущественно используемые под сельскохозяйственную деятельность, чередуются с заболоченными низинами и лесами. Преобладают плодородные лугово-черноземные почвы, на водоразделах почвы подстилают суглинки, обогащенные карбонатами, и супеси, в речных долинах — пески. Район исследования приурочен к северной части лесостепи, где зональными являются выщелоченные черноземы или луговые почвы, покрытые разнотравно-злаковыми лугами и луговыми степями с галомезофитным разнотравьем, или сельскохозяйственные земли на их месте. Лесные урочища с березняками приурочены к долинам ручьев, мелких рек и лощинам. Сомкнутые березовые и смешанные леса расположены на серых лесных почвах; осветленные леса небольшими участками — на луговых почвах; сосновые травяно-кустарничковые леса распространены на песчаных отложениях террас Тобола и Исети. Болотных местностей мало, располагаются они по обводненным террасам Исети и представлены урочищами низинных осоково-вейниковых, реже осоково-тростниковых болот (Бакулин, Козин, 1996; Атлас ..., 1971; Растительность ..., 1976).

Торфяник Оськино (56°36'31.92" N, 66°15'34.82" E), расположен в 2 км от впадения р. Исеть в р. Тобол (рис. 1). Прилегает к крупному сосново-березовому массиву — особо охраняемой природной территории Сингульский лес (Хозяинова, 2000), простирающемуся более чем на 20 км вдоль песчаных отложений надпойменной террасы левого берега Исети. Противоположная сторона долины Исети — низкая и высокая поймы, занятые разнообразными лугами с протоками, старицами и редкими

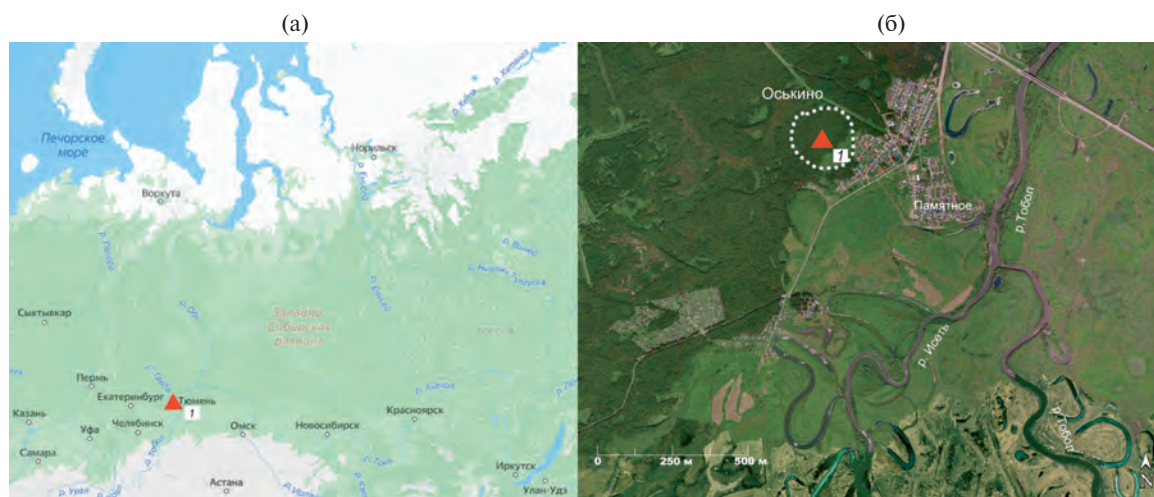


Рис. 1. Местоположение болота Оськино: (а) — расположение участка исследований (<https://yandex.ru/maps/>); (б) — болото Оськино на слияние рек Тобол и Исеть (<https://sasplanets.ru/>). *1* — местоположение торфяника Оськино.

Fig. 1. Location of the Oskino swamp: (a) — location of the study area (<https://yandex.ru/maps/>); (б) — Oskino swamp location at the confluence of the Tobol and Iset Rivers (<https://sasplanets.ru/>). *1* — location of the Oskino peat bog.

лесами на останцах террас — известна как археологический микрорайон Ингальская Долина (Волков, 2007). Рядом с торфяником на выступе террасы расположено древнее многослойное поселение Оськино Болото, в котором выделены культурные слои и сооружения нескольких археологических периодов от энеолита до средневековья (Ткачев, Ткачева, 2006). Для реконструкции антропогенных изменений ландшафтов привлекались пыльцевые данные из культурных слоев поселения Оськино Болото (Насонова, Рудая, 2015, 2016).

Оськино — небольшой торфяник, занимающий котловину овальной формы площадью около 36 га на краю второй левобережной террасы Исети. Ранее в 2009 г. отложения торфяника уже были отобраны для реконструкции динамики природно-климатических изменений Притоболья по спорово-пыльцевым данным Оськино-09 (Насонова и др., 2019; Yuzhanina et al., 2022a, b). Результаты этого исследования использованы для сопоставления с пожарной динамикой, изученной при повторном отборе отложений в 2021 г. и описанной в данной статье.

В настоящее время краевые участки торфяника сильно обводнены и покрыты тростником (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), пушицей (*Eriophorum vaginatum* L.) и рогозом (*Typha latifolia* L.). Северо-западная часть котловины занята олиготрофным торфяником, заросла березой (*Betula pubescens* Ehrh.) и угнетенной сосной (*Pinus sylvestris* L.). Однако юго-восточная часть котловины более глубокая. Здесь все еще идет мезотрофное торфонакопление, участок почти без

деревьев и покрыт хвощево-вахтовой (*Equisetum* sp. *Menyanthes trifoliata* L.) растительностью с тростником, примесью белокопытника (*Petasites albus* (L.) Gaertn.) и редкими кустами ивы (*Salix* sp.).

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Отбор проб

Низкая обводненность болота в 2021 г. позволила отобрать полный монолит отложений Оськино-21 при шурфовке в специальный металлический короб без нарушения структуры. Общая мощность отложений составила 193 см, описание разреза и пробы для дальнейших анализов отобраны в лаборатории через каждый 1 см.

2.2. Радиоуглеродное датирование

Для определения возраста по общей навеске торфа в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (табл. 1) получено 7 радиоуглеродных датировок из керна Оськино-21. Калибровка дат выполнена по калибровочной кривой IntCal20 (Reimer et al., 2020), все возрастные интервалы приведены в работе в калиброванных значениях, модель возраст-глубина, расчет скоростей аккумуляции (мм/год) и седиментации (лет/см) выполнялись с использованием пакета Bchron (Haslett, Parnell, 2008) в программной среде R (R Core Team, 2017). Ранее таким же способом продатированы отложения из керна Оськино-09 (Yuzhanina et al., 2022b), это позволило сопоставить новые и ранее полученные данные анализов согласно возрастным определениям.

Таблица 1. ^{14}C датировки керна Оськино-21**Table 1.** ^{14}C dating of the Oskino-21 core

Лабораторный код	Глубина, см	Материал для датирования	^{14}C возраст	Калиброванный ^{14}C возраст (IntCal20)	
				среднее значение	$\pm 1\sigma$
СОАН-10047	146.5–143	торф	7160 ± 155	7980	7837–8056
СОАН-10052	126–121		5155 ± 105	5911	5745–6002
СОАН-10048	112–109		4935 ± 125	5684	5490–5501
СОАН-10053	101–98		4465 ± 135	5111	4887–4896
СОАН-10049	78–75		3600 ± 145	3914	3698–4090
СОАН-10054	61–58		2640 ± 135	2740	2494–2599
СОАН-10050	40–37		2185 ± 125	2172	2006–2019

2.3. Анализ макроскопических частиц угля

Для подсчета макрочастиц древесного угля (>100 мкм) из всех стратиграфических горизонтов через 1 см отобраны образцы объемом 1 см³. Торфяные отложения подготовлены согласно стандартному протоколу (Mooney, Tinner, 2001): пробы были залиты 10% раствором гипохлорита кальция ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), оставлены в темном месте на 24 ч. для обесцвечивания органического материала, осадок промывали через сито 100 мкм и все частицы угля, оставшиеся на сите, подсчитывали под микроскопом при 40-кратном увеличении.

Статистическая обработка полученных данных по концентрации макроскопических частиц угля в торфе выполнена в программе CharAnalysis (Higuera, 2009), в среде R (R Core Team, 2017), при построении использовался пакет tapas (Finsinger, Bonnici, 2022). Исходными данными для анализа выступили количество угольных частиц в образцах, глубина, верхняя и нижняя границы возраста каждого образца, рассчитанные в программе Bchron (Haslett, Parnell, 2008) по модели возраст–глубина (рис. 2). Для расчета фоновых значений скорости накопления угля применялись

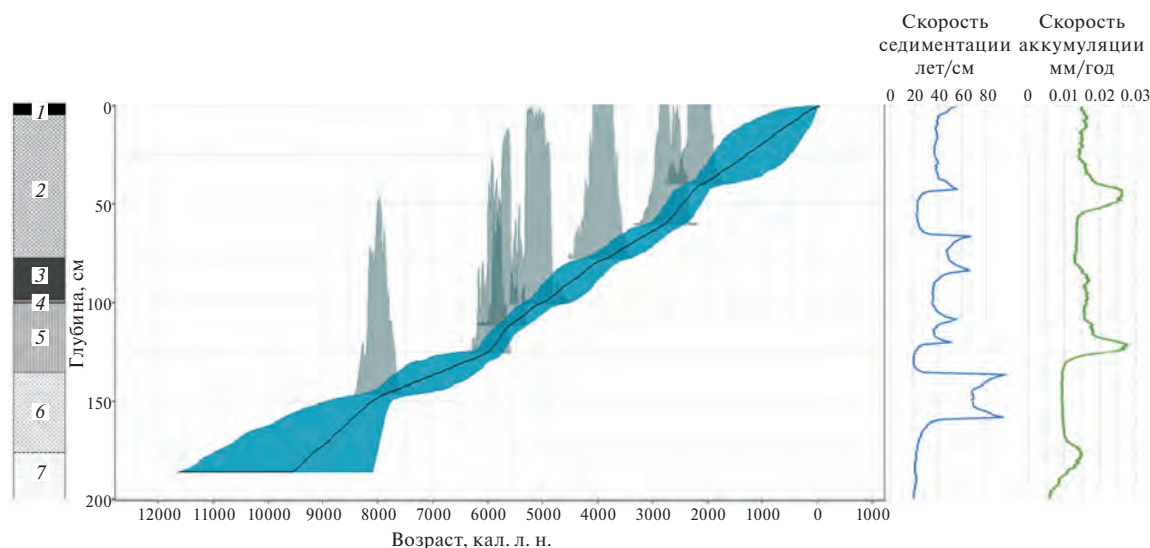


Рис. 2. Возрастная модель, скорость седиментации, скорость аккумуляции и стратиграфия отложений Оськино-21. Справа от литологической колонки цифрами обозначены номера слоев, соответствующие описанию в табл. 2 (1 – торфянистая почва; 2 – травяной торф; 3 – сапропель торфянистый; 4 – глина; 5 – сапропель; 6 – ил; 7 – супесь).

Серый цвет на графике возрастной модели – диапазон калиброванных ^{14}C -датировок; синий цвет – возрастная шкала, рассчитанная Bchron, с 95% вероятностью.

Fig. 2. Age-depth model, sedimentation rate, accumulation rate and stratigraphy of the Oskino-21 core. To the right of the lithological column, numbers indicate the layer numbers, corresponding to the description in Table 2 (1 – peaty soil; 2 – grass peat; 3 – peaty sapropel; 4 – clay; 5 – sapropel; 6 – silt; 7 – loam).

The gray shading on the age model graph represents the range of calibrated ^{14}C dates; the blue line indicates the age scale calculated by Bchron, with a 95% probability.

сглаживающая кривая *rob.lowess* (локально-взвешенная полиномиальная регрессия), сглаживающее окно размером 1000 лет, тип пороговых значений — локальный, значение порога — 0.95%. Интерполяция значений была выбрана с шагом 50 лет, установленный диапазон значений отношения сигнала к шуму (Signal-to-Noise Index — SNI) для керна выше 3, что подтверждает достоверность полученных результатов (Kelly et al., 2011).

2.4. Анализ физико-химических свойств торфа

Вдоль керна Оськино-21 для 28 проб объемом 2.5 см³ проведена оценка свойств торфа: анализ потерь при прокаливании (Loss On Ignition — LOI) оценен по протоколу Heiri et al. (2001), содержания органического вещества (Organic Matter — OM) проанализированы согласно Chambers et al. (2010/11). Измерения гумификации выполнены калориметрическим методом (Payne, Blackford, 2008), при длине волны 540 нм в трехкратной повторности для оценки поглощения света (D) для каждого образца раствора. Обнаруженные значения светопоглощения света (оптической

плотности) были скорректированы в соответствии с LOI. Это показатели находятся в диапазоне от 0 до 0.3 см⁻¹ (при максимуме 1.5) и напрямую отражают изменения гумификации (Chambers, Beilman, 2010/11), то есть степени разложения растительного материала в торфе при постепенном разрушении растительных структур и их преобразовании в гуминовые вещества.

2.5. Спорово-пыльцевой анализ разреза Оськино-09

Палинологические данные и состав торфа изучены ранее по колонке отложений Оськино-09 с шагом в 3 см (Yuzhanina et al., 2022a, 2022b). Общая мощность отложений составила 1.9 м; из этой же колонки отобрано 6 образцов на радиоуглеродное датирование, согласно которым возраст отложений в этой части торфяника составил около 7.5 тыс.л.н. Согласование пыльцевых данных Оськино-09 и данных анализа частиц угля Оськино-21 проведено исходя из расчетного возраста проб из обоих разрезов (рис. 3).

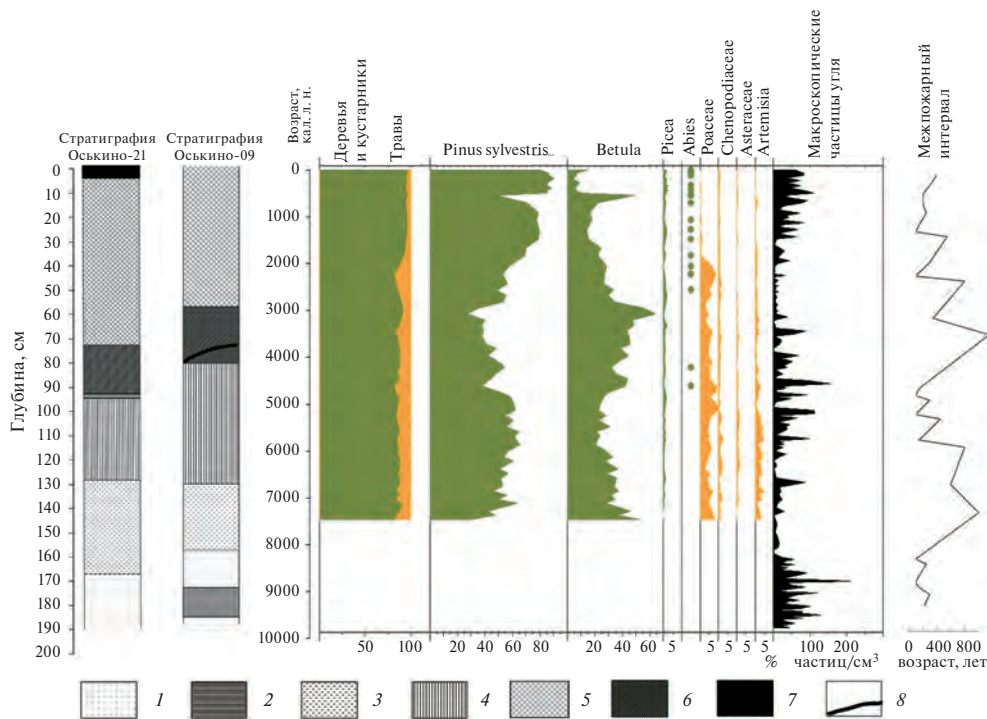


Рис. 3. Соотношение данных основных пыльцевых таксонов разреза Оськино-09, количества макрочастиц угля и межпожарные интервалы в разрезе Оськино-21 (данные скоррелированы согласно возрастной кривой). Точками на диаграмме представлено единичное присутствие таксонов.

1 — супесь; 2 — глина; 3 — ил; 4 — сапропель; 5 — травяной торф с темными прослойками; 6 — сапропель торфянистый; 7 — торфянистая почва; 8 — горелая прослойка.

Fig. 3. Correlation of data on the main pollen taxa of the Oskino-09 core, the amount of charcoal macrofossils and fire return intervals in the Oskino-21 core (data are correlated according to the age curve). The dots in the diagram represent the presence of single pollen grains.

1 — sandy loam; 2 — clay; 3 — silt; 4 — sapropel; 5 — grass peat with dark layers; 6 — peaty sapropel; 7 — peaty soil; 8 — the burnt layer.

2.6. Статистический корреляционный анализ методом Пирсона

Был проведен статистический корреляционный анализ методом Пирсона в программе Past. Для поиска взаимосвязей между данными по растительным таксонам и осаждением частиц макроугля были взяты проценты основных таксонов палиноспектров Оськино-09 (*Pinus sylvestris*, *Picea*, *Abies*, *Betula*, *Poaceae*, *Chenopodiaceae*, *Artemisia*, *Asteraceae*), рассчитанные от суммы пыльцы древесных и травянистых растений, и число макрочастиц угля. Использовался уровень значимости данной взаимосвязи, соответствующий $p < 0.05$ (допускается не более чем 5% вероятность ошибки).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Описание стратиграфии и хронология

В стратиграфии озерно-болотных отложений керна Оськино-21 выделяются 7 слоев (табл. 2, рис. 2), состав растительных остатков указан на основании корреляции отложений Оськино-09 (Yuzhanina et al., 2022a) и Оськино-21.

Судя по возрастной кривой (рис. 2) накопление отложений Оськино-21 происходило последовательно, однако, для нижних отложений (200–160 см) ниже самой нижней радиоуглеродной датировки выделяется зона хронологической неопределенности с очень широкими смодели-

рованными возрастными значениями, которые не позволяют достоверно оценить скорость седиментации в начале образования озера.

Верхняя часть илистых отложений накапливалась медленно, 1 см осадка формировался приблизительно за 70 лет при скорости аккумуляции не более 0.01 мм/год. С началом накопления сапропеля седиментация увеличивалась и достигала 20 лет/см (скорость аккумуляции около 0.025 мм/год). Но при накоплении прослоек сапропелей 131–106 см аккумуляция замедляется до 0.015 мм/год, каждый 1 см образуется за 40–45 лет. Осадконакопление в слоях торфянистого сапропеля 95–75 см замедляется до 0.012 мм/год; в верхней части этих отложений седиментация составляет 41–66 лет/см. Аккумуляция ускорируется при переходе сапропеля к черно-коричневым прослойкам травяного торфа до 0.025 мм/год, что соответствует 23–26 лет/см. Накопление травяного торфа 0–41 см происходило при снижении аккумуляции до 0.015 мм/год и седиментации порядка 40–56 лет/см.

3.2. Изменение свойств отложений

Анализ изменений свойств озерно-болотных отложений Оськино-21 проведен для согласования данных по аккумуляции частиц угля с локальными условиями осадконакопления в этом природном архиве (рис. 4). Согласно данным LOI, активное

Таблица 2. Стратиграфия озерно-болотных отложений керна Оськино-21 с учетом корреляции данных по макроостаткам отложений керна Оськино-09

Table 2. Stratigraphy of lake-bog sediments of the Oskino-21 core taking into account the correlation of data on macroremains of sediments of the Oskino-09 core

№ слоя	Глубина, см	Описание стратиграфии керна Оськино-21
1	0–5	Торфянистая почва с большим количеством корней, остатки <i>Petasites radiatus</i>
2	5–75	Торф: 5–30 см — рыхлый темно-коричневый, доминируют остатки <i>Equisetum</i> , при небольшом участии <i>Petasites radiatus</i> , <i>Typha</i> и <i>Menyanthes trifoliata</i> ; 30–41 см — более плотный темно-коричневый, с остатками <i>Equisetum</i> , но при значительном участии <i>Phragmites</i> , с примесью <i>Typha</i> , <i>Menyanthes trifoliata</i> и тканей <i>Pinus</i> ; 41–75 см — чередование плотных черно-коричневых прослоек (следы гари?) с рыже-коричневыми более рыхлыми прослойками, с обилием остатков тканей корки <i>Pinus</i> . Много остатков <i>Phragmites</i> , но также в обилии <i>Eriophorum</i> , <i>Typha</i> и <i>Menyanthes trifoliata</i> и встречаются <i>Nuphar lutea</i>
3	75–95	Сапропель травянистый: в верхней части — коричневый, на глубине 86 и 92 см — черный с пятнами ожелезнения. В обилии идентифицированы макроостатки <i>Nuphar lutea</i> , редко <i>Phragmites</i> , <i>Eriophorum</i> , <i>Typha</i>
4	95–97	Прослойка глины с песком и следами горения
5	106–131	Сапропель, чередование прослоек: светлый и рыхлый с фрагментами раковин моллюсков — 105–08; 117–119; 125–131 см; темно-коричневый — 97–105; 108–117; 119–125 см. Доминируют остатки растительных тканей <i>Nuphar lutea</i> , редкая примесь <i>Phragmites</i>
6	131–170	Ил серовато-коричневый с крупными целыми раковинами моллюсков на глубине 150–170 см, единичные растительные остатки <i>Nuphar lutea</i>
7	170–200	Супесь серо-желтая, к низу более глинистая

2.6. Статистический корреляционный анализ методом Пирсона

Был проведен статистический корреляционный анализ методом Пирсона в программе Past. Для поиска взаимосвязей между данными по растительным таксонам и осаждением частиц макроугля были взяты проценты основных таксонов палиноспектров Оськино-09 (*Pinus sylvestris*, *Picea*, *Abies*, *Betula*, *Poaceae*, *Chenopodiaceae*, *Artemisia*, *Asteraceae*), рассчитанные от суммы пыльцы древесных и травянистых растений, и число макрочастиц угля. Использовался уровень значимости данной взаимосвязи, соответствующий $p < 0.05$ (допускается не более чем 5% вероятность ошибки).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Описание стратиграфии и хронология

В стратиграфии озерно-болотных отложений керна Оськино-21 выделяются 7 слоев (табл. 2, рис. 2), состав растительных остатков указан на основании корреляции отложений Оськино-09 (Yuzhanina et al., 2022a) и Оськино-21.

Судя по возрастной кривой (рис. 2) накопление отложений Оськино-21 происходило последовательно, однако, для нижних отложений (200–160 см) ниже самой нижней радиоуглеродной датировки выделяется зона хронологической неопределенности с очень широкими смодели-

рованными возрастными значениями, которые не позволяют достоверно оценить скорость седиментации в начале образования озера.

Верхняя часть илистых отложений накапливалась медленно, 1 см осадка формировался приблизительно за 70 лет при скорости аккумуляции не более 0.01 мм/год. С началом накопления сапропеля седиментация увеличивалась и достигала 20 лет/см (скорость аккумуляции около 0.025 мм/год). Но при накоплении прослоек сапропелей 131–106 см аккумуляция замедляется до 0.015 мм/год, каждый 1 см образуется за 40–45 лет. Осадконакопление в слоях торфянистого сапропеля 95–75 см замедляется до 0.012 мм/год; в верхней части этих отложений седиментация составляет 41–66 лет/см. Аккумуляция ускорируется при переходе сапропеля к черно-коричневым прослойкам травяного торфа до 0.025 мм/год, что соответствует 23–26 лет/см. Накопление травяного торфа 0–41 см происходило при снижении аккумуляции до 0.015 мм/год и седиментации порядка 40–56 лет/см.

3.2. Изменение свойств отложений

Анализ изменений свойств озерно-болотных отложений Оськино-21 проведен для согласования данных по аккумуляции частиц угля с локальными условиями осадконакопления в этом природном архиве (рис. 4). Согласно данным LOI, активное

Таблица 2. Стратиграфия озерно-болотных отложений керна Оськино-21 с учетом корреляции данных по макроостаткам отложений керна Оськино-09

Table 2. Stratigraphy of lake-bog sediments of the Oskino-21 core taking into account the correlation of data on macroremains of sediments of the Oskino-09 core

№ слоя	Глубина, см	Описание стратиграфии керна Оськино-21
1	0–5	Торфянистая почва с большим количеством корней, остатки <i>Petasites radiatus</i>
2	5–75	Торф: 5–30 см — рыхлый темно-коричневый, доминируют остатки <i>Equisetum</i> , при небольшом участии <i>Petasites radiatus</i> , <i>Typha</i> и <i>Menyanthes trifoliata</i> ; 30–41 см — более плотный темно-коричневый, с остатками <i>Equisetum</i> , но при значительном участии <i>Phragmites</i> , с примесью <i>Typha</i> , <i>Menyanthes trifoliata</i> и тканей <i>Pinus</i> ; 41–75 см — чередование плотных черно-коричневых прослоек (следы гари?) с рыже-коричневыми более рыхлыми прослойками, с обилием остатков тканей корки <i>Pinus</i> . Много остатков <i>Phragmites</i> , но также в обилии <i>Eriophorum</i> , <i>Typha</i> и <i>Menyanthes trifoliata</i> и встречаются <i>Nuphar lutea</i>
3	75–95	Сапропель травянистый: в верхней части — коричневый, на глубине 86 и 92 см — черный с пятнами ожелезнения. В обилии идентифицированы макроостатки <i>Nuphar lutea</i> , редко <i>Phragmites</i> , <i>Eriophorum</i> , <i>Typha</i>
4	95–97	Прослойка глины с песком и следами горения
5	106–131	Сапропель, чередование прослоек: светлый и рыхлый с фрагментами раковин моллюсков — 105–08; 117–119; 125–131 см; темно-коричневый — 97–105; 108–117; 119–125 см. Доминируют остатки растительных тканей <i>Nuphar lutea</i> , редкая примесь <i>Phragmites</i>
6	131–170	Ил серовато-коричневый с крупными целыми раковинами моллюсков на глубине 150–170 см, единичные растительные остатки <i>Nuphar lutea</i>
7	170–200	Супесь серо-желтая, к низу более глинистая

накопление органогенных осадков началось только после 8.0 тыс.л.н. в режиме озерной седиментации, и только около 6.0 тыс.л.н. содержание органического вещества достигло 50%. О накоплении осадков именно в стоячем водоеме свидетельствуют растительные остатки тканей кубышки желтой, преобладающие в отложениях сапропелей.

Кроме того, по присутствию пыльцы *Potamogeton*, *Sparganium*, *Cyperaceae*, *Typha*, *Nymphaea* установлено, что одновременно существовали как более мелкие, так и более глубокие участки озерной котловины (Yuzhanina et al., 2022a). Неоднократное колебание доли органических и минеральных частиц в интервале от 7.0 до 4.7 тыс. лет (рис. 4)

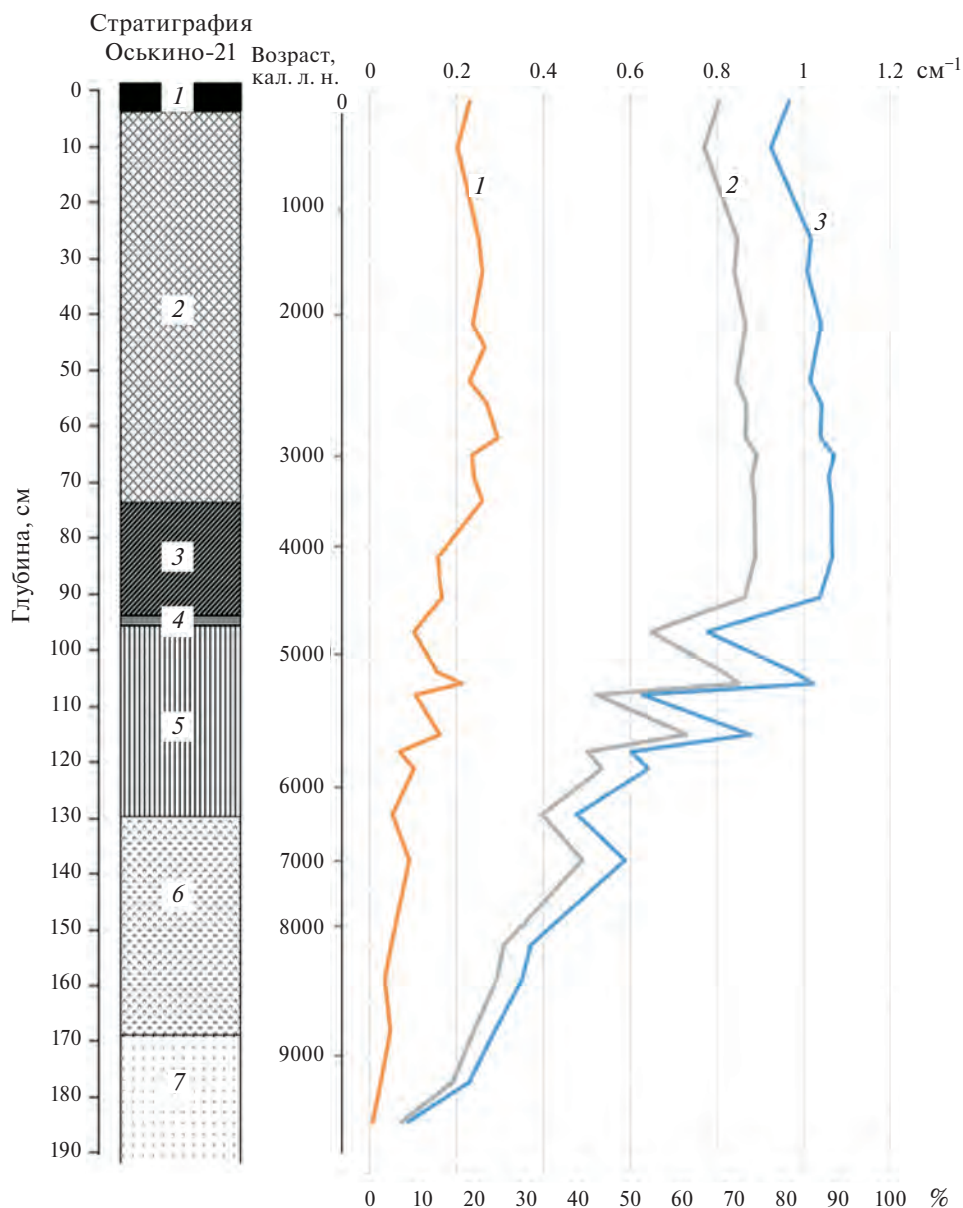


Рис. 4. Изменение свойства торфа в профиле Оськино-21.

1 – гумификация (оптическая плотность торфа, cm^{-1} , верхняя шкала); 2 – ОМ, содержание органического вещества (% , нижняя шкала); 3 – LOI, потери при прокаливании (% , нижняя шкала). Справа от литологической колонки цифрами обозначены номера слоев, соответствующие описанию в табл. 2 (1 – торфянистая почва; 2 – травяной торф; 3 – сапропель торфянистый; 4 – глина; 5 – сапропель; 6 – ил; 7 – супесь).

Fig. 4. Overview of Oskino-21 peat properties.

1 – humification (light absorbance, cm^{-1} , upper scale); 2 – OM, organic matter content (% , lower scale); 3 – LOI, loss on ignition (% , lower scale). To the right of the lithological column, numbers indicate the layer numbers, corresponding to the description in Table 2 (1 – peaty soil; 2 – grass peat; 3 – peaty sapropel; 4 – clay; 5 – sapropel; 6 – silt; 7 – sandy loam).

демонстрирует, что режим водоема не был стабильным. Увеличение прироста органического вещества и гумификации и колебания плотности органического вещества, по-видимому, согласуются с обмелением озера и интенсивным разрастанием озерных макрофитов в более теплые интервалы 6.8, 5.6 и 5.2 тыс.л.н., что отражено в стратиграфии как более темные прослойки сапропеля. Светлые прослойки с глинистыми частицами маркируют более влажные интервалы, связанные, вероятно, с повышением уровня водоема 6.1, 5.4 и 4.7 тыс.л.н. Значения LOI достигают 90% около 4.5 тыс.л.н., что указывает на стадию обмеления озера и его заболачивание по берегам, хотя в точке отбора проб по-прежнему накапливаются сапропели и сохраняется режим мелкого водоема. После перехода на стадию низинного тростникового болота 3.7 тыс.л.н. возрастают показатели гумификации, и вплоть до 2.7 тыс.л.н. болото, вероятно, хорошо обсыхало летом (за счет уменьшения осадков или увеличения испарения), что позволяло торфу активнее разлагаться 3.5, 2.8–2.6 и 2.3 тыс.л.н. Однако после 2.4 тыс.л.н. значения LOI и гумификации немного снижаются, что связано как с перестройкой локальной

растительности, так и с изменением режима увлажнения, на фоне которого растительные остатки хуже разлагались. И только 1.6 тыс.л.н. некоторый подъем показателя гумификации косвенно указывает на обсыхание торфа летом.

3.3. Результаты анализа аккумуляции макрочастиц древесного угля

Распределение скорости накопления частиц угля в болотно-озерных отложениях Оськино показывает, что скорость аккумуляции частиц угля колебалась в интервале от 0 до 1.5 частиц на 1 см²/год, а межпожарные интервалы варьировали от 100 до 1000 лет и более. Было выделено несколько периодов по данным фоновых значений (рис. 5, 6).

В период 9.5–8.2 тыс.л.н. фоновая скорость аккумуляции частиц угля варьировала от 0.4 до 1.5 частиц на 1 см²/год. Межпожарные интервалы составляли не более 400 лет. Для данного временного интервала выделено 8 локальных пожарных эпизодов: 9.5, 9.4, 9.0, 8.9, 8.8, 8.6, 8.4 и 8.3 тыс.л.н., когда пожар возникал в непосредственной близости к озеру.

В интервале 8.2–6.0 тыс.л.н. фоновая скорость аккумуляции частиц древесного угля имела

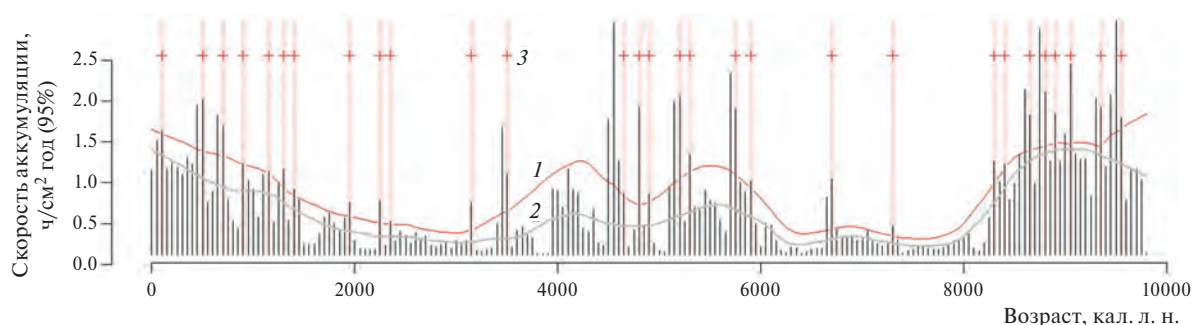


Рис. 5. Скорость аккумуляции макроскопических частиц угля и распределение локальных пирогенных эпизодов торфяника Оськино-21.

1 — пороговые значения; 2 — фоновые значения; 3 — пожарный эпизод.

Fig. 5. Charcoal accumulation rate and distribution of local fire episodes revealed by peat core from Oskino-21 bog.

1 — threshold values; 2 — background values; 3 — fire episode.

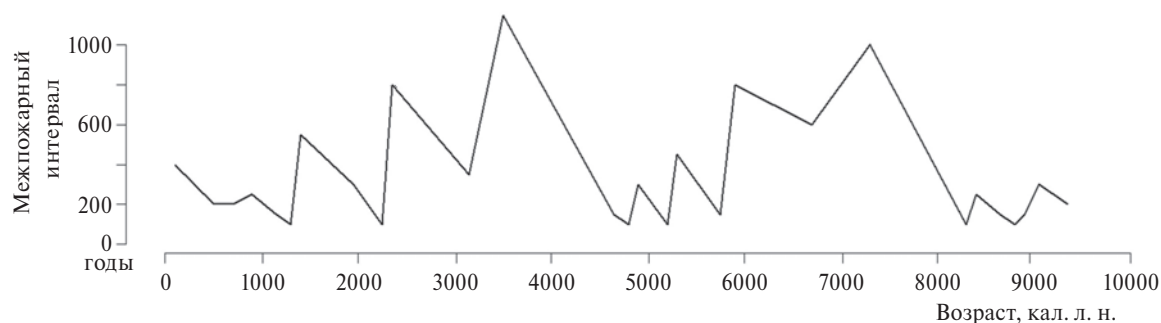


Рис. 6. График изменения межпожарных интервалов по данным изучения торфяника Оськино.

Fig. 6. Fire return intervals revealed by macrocharcoal analysis of the Oskino peat bog.

стабильное значение около 0.3 частиц на 1 см²/год, идентифицировано 2 локальных пожарных эпизода (7.3 и 6.7 тыс.л.н.). Межпожарный интервал составил от 400 до 1000 лет.

В период 6.0–3.8 тыс.л.н. фоновая скорость аккумуляции частиц древесного угля возросла до 0.6 частиц на см²/год. В это время отмечено 7 локальных пожарных эпизодов: 5.9, 5.7, 5.3, 5.2, 4.9, 4.8 и 4.6 тыс.л.н. После 4.6 тыс.л.н. пожарные эпизоды не зафиксированы. Промежуток между пожарными событиями в интервале 6.0–4.6 тыс.л.н. составил от 100 до 500 лет.

В промежутке 3.8–2.0 тыс.л.н. фоновые значения снижаются до 0.3–0.4 частиц на 1 см²/год, выделено 4 пожарных события: 3.5, 3.1, 2.3 и 2.2 тыс.л.н. Межпожарный интервал достиг максимального значения — более 1000 лет.

Начиная с 2.0 тыс.л.н. фоновая скорость аккумуляции частиц древесного угля растет и в настоящее время достигла 1.5 частиц на 1 см²/год. Локальных пожаров выделено 8: 1.9, 1.4, 1.3, 1.1, 0.9, 0.7, 0.5 и 0.1 тыс.л.н. Самый большой межпожарный интервал в это время составил около 550 лет.

Наибольшие фоновые значения палеопожарной активности отмечены для периодов 9.5–8.2 тыс.л.н., и, начиная с 2.0 тыс.л.н. по настоящее время, на них же приходится и максимальное количество локальных пожарных эпизодов — 8 в каждом интервале.

3.4. Спорово-пыльцевой анализ разреза Оськино-09

По результатам спорово-пыльцевого анализа озерно-болотных отложений Оськино-09 и последующего ландшафтного моделирования (Landscape Reconstruction Algorithm) было выявлено (Yuzhanina et al., 2022b), что наибольшее распространение лугово-степных ландшафтов приходилось на период 7.5–4.7 тыс.л.н., когда климат был наиболее теплым и сухим (рис. 3). Последующие похолодание и повышение влажности после 4.7 тыс.л.н. привели к увеличению доли березовых лесов в растительности, однако, около 3.3 и 2.5 тыс.л.н. было зафиксировано 2 коротких сухих эпизода. После 2 тыс.л.н. произошло расширение сосновых лесов и продвижение тайги на юг, что согласуется с другими исследованиями в Западной Сибири.

3.5. Результаты корреляционного анализа

По результатам корреляционного анализа удалось установить положительную взаимосвязь между аккумуляцией частиц угля и пылью сосны (*Pinus sylvestris* L.) (рис. 7). Отрицательная корреляция численности макроугольных частиц прослеживается с пылью березы (*Betula* sp.) и злаков (*Poaceae* gen. sp.). В отношении остальных таксонов корреляционный анализ не показал статистически достоверных результатов по отношению к количеству макрочастиц угля.

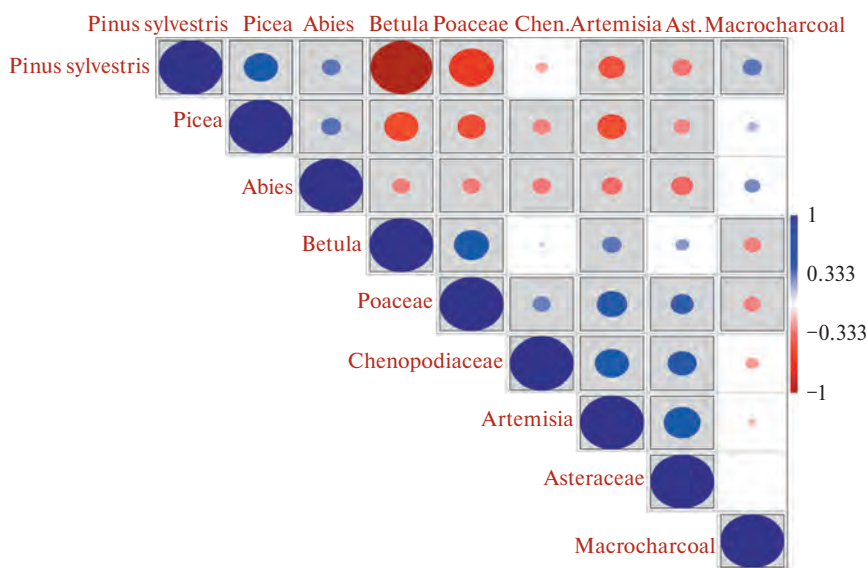


Рис. 7. Результаты корреляции между основными таксонами разреза Оськино-09 и количеством частиц макроугля из разреза Оськино-21. Синий цвет — положительная взаимосвязь; красный цвет — отрицательная взаимосвязь. Размер круга показывает характер взаимосвязи: чем больше размер, тем сильнее взаимосвязь. Серая ячейка — достоверная корреляция; белая ячейка — не достоверная корреляция.

Fig. 7. Results of correlation between the main taxa of the Oskino-09 core and amount of macrocharcoal particles of Oskino-21 core. Blue color — positive correlation; red color — negative correlation. The size of the circle shows the nature of the correlation: the larger the size, the stronger the correlation. Gray cell — reliable correlation; white cell — unreliable correlation.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Реконструкция растительности и природно-климатических изменений лесостепного Притоболья была сделана по спорово-пыльцевым данным, полученным из болота Оськино по керну Оськино-09, который охватил только 7.5 тыс. лет (Yuzhanina et al., 2022b). Для более раннего интервала 9.6–7.5 тыс.л.н. мы экстраполировали результаты природно-климатических изменений, реконструированных по геохимическим и палинологическим данным из озера Кыртыма, расположенного в Притоболье в 50 км северо-западнее торфяника Оськино (Ryabogina et al., 2020).

Установлено, что около 9.5–8.2 тыс.л.н. началось активное расселение сосновых лесов. Замена березовых лесов, преобладающих ранее, сосновыми указывает на снижение увлажненности, так как в лесостепи конкурентоспособность березы снижается при недостатке увлажнения (Ryabogina et al., 2020; Yuzhanina et al., 2022b). В это время выявлена наибольшая частота пожарных эпизодов в разрезе. Вероятно, частота пожарных событий вызвана как более сухими условиями, так и сменой лесообразующих пород. Несмотря на огнеустойчивость этой древесной породы, сосновые леса подвержены частым низовым пожарам (Goldammer, Fyryaev, 1996; Feurdean et al., 2022).

Для промежутка 8.2–7.5 тыс.л.н. не фиксируются пожарные события, в растительности преобладали березовые леса, уровень влажности постепенно возрастал (Ryabogina et al., 2020).

Интервал 7.5–4.6 тыс.л.н. характеризуется теплыми и недостаточно влажными условиями, преобладают открытые участки с лугово-степной растительностью, но присутствуют и небольшие придолинные березово-сосновые леса (Yuzhanina et al., 2022b). По данным ближайшего озерного палеоархива – озеро Кыртыма – около 7.1–5.5 тыс.л.н. также зафиксирована наиболее сухая фаза в голоцене (Ryabogina et al., 2020); снижение уровня воды в озере Большие Тороки в Барабинской лесостепи датируется около 7.5–5.5 тыс.л.н. (Zhilich et al., 2017), а также в Уфимском озере на Южном Урале в период климатического оптимума в 7.4–6.3 тыс.л.н. (Масленникова и др., 2014). К этому времени на ближайших к торфянику территориях приурочены неолитические, энеолитические и раннебронзовые поселения (Волков, 2007), однако, ни пыльцевые маркеры, ни непыльцевые палиноморфы не фиксируют признаков активного влияния человека на ландшафт, что, вероятно, связано с присваивающим типом хозяйства населения того времени (Насонова и др., 2019; Yuzhanina et al., 2022b).

В начале интервала (7.5–5.9 тыс.л.н.) зафиксировано 2 пожарных события. Такая низкая пожарная интенсивность, скорее всего, связана с небольшим количеством населения в неолите, а также с доминированием лугово-степных ландшафтов: по результатам корреляционного анализа доля пыльцы злаков и других луговых трав имела отрицательную или недостоверную взаимосвязь с увеличением макрочастиц угля.

Начиная с 5.9 по 4.6 тыс.л.н. снижается доля остепненной растительности, что указывает на климатическую перестройку и завершение теплого и сухого климатического оптимума середины голоцена (Ryabogina et al., 2019; Yuzhanina et al., 2022b). В этот период отмечалось увеличение частоты пожарных эпизодов, на что, по-видимому, повлияло заселение берегов озера в энеолитическое и бронзовое время, а не климатические изменения (Насонова и др., 2019). Признаков климатического события около 4.2 тыс.л.н., когда выявлены похолодание и снижение влажности, в спорово-пыльцевых записях торфяника Оськино не фиксируется. Однако в это время отмечается увеличение фоновых скоростей накопления угольных частиц, что свидетельствует о росте пожарной активности на близлежащей территории. Несмотря на выявленные теплые и сухие (6.8, 5.6, 5.2 тыс.л.н.) и более влажные интервалы (6.1, 5.4, 4.7 тыс.л.н.) по изменениям свойств торфа, заметных различий в фоновых скоростях накопления угольных частиц и частоте пожарных эпизодов между ними не выявлено.

Около 4.6–2.9 тыс.л.н. происходило увеличение доли лесов, в основном за счет березы, заметно увеличивается увлажнение, но сохраняются относительно теплые климатические условия (Yuzhanina et al., 2022b). Тенденция к увеличению атмосферных осадков около 4.9–3.7 тыс.л.н. отмечена и по данным озера Кыртыма (Ryabogina et al., 2019). Пирогенных событий всего два – 3.5 и 3.1 тыс.л.н., они приходятся на период общего повышения фоновой скорости накопления угольных частиц. У местного населения в конце бронзового века появляется придомное скотоводство (Ландшафты голоцена ..., 2008), в связи с появлением этого нового присваивающего типа хозяйства после 3.5 тыс.л.н., население поздней бронзы поселения Оськино Болото, ближайшего к торфянику, перемещается от обмелевшего озера в сторону поймы (Насонова и др., 2019; Yuzhanina et al., 2022b). Таким образом, фоновые значения аккумуляции частиц угля, межпожарные интервалы и локальные пожарные эпизоды не показали связи с изменениями в палеоэкономической деятельности населения, как это было выявлено,

например, в подтаежной зоне начиная с 4.1 тыс.л.н. (Ryabogina et al., 2024). Более открытые лесостепные ландшафты Притоболья на фоне увеличения увлажнения показали явный тренд снижения пожарной активности. Как показал корреляционный анализ, распространение березовых колок в лесостепи и долинных березняков имеет отрицательную корреляцию с количеством частиц угля и лесными пожарами соответственно.

В интервале 2.9–1.9 тыс.л.н. заметно увеличивается доля хвойных лесов, особенно вокруг болота Оськино. Однако основой окружающих ландшафтов, по-прежнему, оставались злаково-разнотравные луга. Начинается похолодание, и продолжается увеличение увлажнения (Ryabogina, et al., 2020; Yuzhanina et al., 2022b). Несмотря на увеличение показателей гумификации 2.8–2.6 тыс.л.н., индицирующих летнее обсыхание торфяника, на истории пожаров это не отразилось. Этот интервал приходится на начало раннего железного века, когда в лесостепной зоне произошла перестройка хозяйства от придомного к полукочевому крупностадному животноводству (Матвеева и др. 2005; Волков, 2009). В это время большое количество скота и постоянный выпас приводили к сокращению травянистой биомассы, кустарников и подлеска, которые в сухом виде могли возгораться от молний или в результате антропогенного фактора. Пожарных эпизодов три, скорость накопления угольных частиц невысокая, что обусловлено сочетанием как климатического фактора, так и спецификой антропогенной нагрузки.

Начиная с 1.9 тыс.л.н. доля лесов в лесостепи резко и значительно увеличивается, происходит полная перестройка растительности, завершается доминирование открытых луговых ландшафтов с редкими лесами. На фоне активной экспансии сосны облик территории теперь представлен березовыми лесами с участием сосны, сосновыми борами и разнотравными лугами; продолжается похолодание, и увеличивается увлажнение климата (Yuzhanina et al., 2022b). Расширение лесных участков фиксируется и в данных природных архивов Барабы, Кулунды, Новосибирского Приобья в диапазоне от 2.2–1.9 тыс.л.н. (Maslennikova et al., 2016; Кременецкий и др., 1994; Rudaya et al., 2012; Krivonogov et al., 2012). Начиная с 1.4 тыс.л.н. возрастает количество пожарных событий, сокращается интервал между ними, интенсивность увеличивается. Увеличение палеопожаров связано как с ростом антропогенной нагрузки, численности поселений, военных конфликтов, на что указывает появление большого количества городищ, так и с увеличением количества “топлива” для лесных пожаров. События позднеантичного малого лед-

никового периода (первая половина VI – середина VII вв.н.э.) и малого ледникового периода (первая половина XIV – конец XVIII вв. н.э.), не оказали влияния на пожарную активность Оськино-21.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря комплексу полученных данных для территории Притоболья, удалось проследить взаимосвязь между ландшафтно-климатическими трансформациями и палеопожарной динамикой. Было выделено 3 этапа с наибольшей пожарной нагрузкой:

1. Период около 9.5–8.2 тыс.л.н. связан с более сухими климатическими условиями, во время которых активно расселялись сосновые леса, служившие топливом для горения, вероятно, это привело к частым низовым пожарам, периодичность которых была около 100 лет.

2. В интервале 6.0–3.8 тыс.л.н., как и в предыдущий период, отмечаются более теплые и сухие условия, повлиявшие на увеличение пожаров. Однако во второй половине этого периода выявлено также влияние антропогенного фактора на увеличение фоновых скоростей накопления макроскопических частиц угля, когда рядом с объектом исследования в энеолите и бронзовом веке начало функционировать постоянное поселение.

3. Около 3.8–1.4 тыс.л.н. выявлено снижение фоновых скоростей накопления макроскопических частиц угля, и выделено только 5 пожарных эпизодов. Это связано как с увеличением увлажнения, так и со смещением поселка от берегов водоема. Позднее в раннем железном веке интенсивный выпас и стравливание скоту лесного прироста и подлеска сокращал количество доступного “топлива” для развития пожаров.

4. С 1.4 тыс.л.н. до настоящего времени отмечено увеличение пожаров, связанное, преимущественно, с антропогенным фактором и противоречащее климатическим изменениям. Тем не менее, несмотря на увеличения численности населения и военные конфликты, фоновые скорости накопления макроскопических частиц угля ниже, чем в начале образования озера. По-видимому, это указывает на контролируемые пожары или фрагментированность ландшафтов за счет хозяйственной деятельности.

Климатические условия и наличие топлива для пожара играли большую роль на начальном этапе образования озера Оськино, когда пусть и небольшие сосновые приречные леса, вероятно, возгорались часто в летний период. Позднее, в середине голоцена климатический фактор, вероятно, по-прежнему играл основную роль в лесных пожарах, и только с появлением энеолитического

поселения на берегу озера возможен комбинированный вклад как климатического, так и антропогенного факторов в пожарную динамику. Пожарная активность значительно снизилась после 4.0 тыс.л.н. на фоне увлажнения, и, возможно, позже на это также повлиял интенсивный выпас, способствующий уничтожению доступного топлива для горения. Наибольшее влияние хозяйственной деятельности на пожарную активность отмечено, начиная с раннего средневековья, до нашего времени.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке гранта российского научного фонда № 23-27-00437 “Ретроспективная динамика лесных пожаров Западной Сибири: влияние природных и антропогенных факторов на южной границе леса”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас Тюменской области (1971) Ред. Е.А. Огороднова. Вып. 1. М. — Тюмень: Главное управление Геодезии и Картографии при Совете Министров СССР. 171 с.
- Бакулин В.В., Козин В.В. (1996) География Тюменской области. Екатеринбург: Средне-Уральское кн. изд-во. 240 с.
- Волков Е.Н. (2007) Комплекс археологических памятников Ингальская долина. Новосибирск: Наука. 224 с.
- Карта растительности Западной Сибири масштаба 1:1500000 (1976) Под ред. В.Я. Михайленко. М.: ГУГК. 4 л.
- Кременецкий К.В., Черкинский А.Е., Тарасов П.Е. (1994) История основных боров Казахстана в голоцене. *Ботанический журнал*. Т. 79. № 3. С. 12–29.
- Ландшафты голоцена и взаимодействие культур в Тоболо-Ишимском междуречье (2008) Под ред. В.И. Молодина. Новосибирск: Наука. 212 с.
- Масленникова А.В., Удачин В.Н., Дерягин В.В. (2014) Палеоэкология и геохимия озерной седиментации голоцена Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН. 136 с.
- Матвеева Н.П., Ларина Н.С., Берлина С.В. и др. (2005) Комплексное изучение условий жизни древнего населения Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 228 с.
- Насонова Э.Д., Рудая Н.А. (2015) Природные условия обитания человека в Притоболье: от неолита до средневековья (по материалам поселения Оськино Болото). *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология. Антропология*. Т. 13. С. 96–105.
- Насонова Э.Д., Рудая Н.А. (2016) Палинологический метод как способ стратификации археологических объектов на примере поселения Оськино Болото. *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. Т. 7. № 1. С. 93–100.
- Насонова Э.Д., Рябогина Н.Е., Афонин А.С. и др. (2019) Растительность и климат междуречья Исети и Тоболы от энеолита до раннего железного века: новые палеоэкологические данные торфяника Оськино-09. *Вестник археологии, антропологии и этнографии*. № 4 (47). С. 15–27.
<https://doi.org/10.20874/2071-0437-2019-47-4-2>
- Пупышева М.А., Бляхарчук Т.А. (2024) Реконструкция голоценовой истории палеопожаров в среднетаежной подзоне Западной Сибири по данным макроуголькового анализа озерных отложений. *Геосферные исследования*. № 1. С. 135–151.
<https://doi.org/10.17223/25421379/30/8>
- Ткачев А.А., Ткачева Н.А. (2006) Культурные комплексы поселения Оськино Болото (по материалам раскопок 2005 г.). *Вестник археологии, антропологии и этнографии*. № 7. С. 241–248.
- Хозяинова Н.В. (2000) Особенности флоры и растительности охраняемых территорий северной лесостепи Тюменской области. *Проблемы взаимодействия человека и природной среды*. Вып. 1. С. 85–89.
- Bondur V.G., Mokhov I.I., Voronova O.S. et al. (2020) Satellite monitoring of Siberian wildfires and their effects: Features of 2019 anomalies and trends of 20-year changes. *Dokl. Earth Sci.* Vol. 492. P. 370–375.
<https://doi.org/10.1134/S1028334X20050049>
- Chambers F.M., Beilman D.W., Yu Z. (2010/11) Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat*. Vol. 7. No. 7. P. 1–10.
- Feurdean A., Florescu G., Tantau I. et al. (2020) Recent fire regime in the southern boreal forests of western Siberia is unprecedented in the last five millennia. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 244. P. 106495.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106495>
- Finsinger W., Bonnici I. (2022) Tapas: An R package to perform trend and peaks analysis. Zenodo.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.6344463>
- Goldammer J.G., Furyaev V.V. (1996) Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. Ecological Impacts and Links to the Global System. In: *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer academic publishers. P. 1–20.
- Hamilton D.S., Hantson S., Scott C.E. et al. (2018) Reassessment of pre-industrial fire emissions strongly affects anthropogenic aerosol forcing. *Nat. Commun.* Vol. 9. No. 1. P. 1–12.
<https://doi.org/10.1038/s41467-018-05592-9>
- Harrison S.P., Marlon J.R., Bartlein P.J. (2010) Fire in the Earth system. Changing climates, earth systems and society. Springer. Dordrecht. P. 21–48.
https://doi.org/10.1007/978-90-481-8716-4_3
- Haslett J., Parnell A. (2008) A simple monotone process with application to radiocarbon-dated depth chronologies. *J. of the Royal Statistical Society. Series C. Applied Statistics*. Vol. 57. Iss. 4. P. 399–418.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9876.2008.00623.x>
- Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. (2001) Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in deposits: reproducibility and comparability of results. *J. of Paleolimnology*. Vol. 25. P. 101–110.
<https://doi.org/10.1023/A:1008119611481>

- Kelly R.F., Higuera P.E., Barrett C.M. et al. (2011) Signal-to-noise index to quantify the potential for peak detection in sediment – charcoal records. *Quat. Res.* Vol. 75. No. 1. P. 11–17.
<https://doi.org/10.1016/j.yqres.2010.07.011>
- Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A. et al. (2021) Wildfires in the Siberian taiga. *Ambio.* Vol. 50. P. 1953–1974.
<https://doi.org/10.1007/s13280-020-01490-x>
- Krivosonov S.K., Takahara H., Yamamuro M., et al. (2012) Regional to local environmental changes in southern Western Siberia: Evidence from biotic records of mid to late Holocene sediments of Lake Beloye. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* Vol. 331–332. P. 177–193.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.09.013>
- Mooney S., Tinner W. (2001) The analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Mires and Peat.* Vol. 7. P. 1–18.
- Payne R.J., Blackford J.J. (2008) Peat humification and climate change: a multi-site comparison from mires in south-east Alaska. *Mires and Peat.* P. 1–11.
- R Core Team – R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing [Электронный ресурс]. URL <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 24.03.2025)
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al. (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal BP). *Radiocarbon.* Vol. 62. Iss. 4. P. 725–757.
<https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Rudaya N., Nazarova L., Nourgaliev D. et al. (2012) Mid-late Holocene environmental history of Kulunda, southern West Siberia: Vegetation, climate and humans. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 48. P. 32–42.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.06.002>
- Ryabogina N.E., Afonin A.S., Ivanov S.N. (2020) Late Glacial and Holocene in the south of Western Siberia: geochemical indices and pollen data in Kyrtyma Lake sediments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* Vol. 438. 012023.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/438/1/012023>
- Ryabogina N.E., Afonin A.S., Ivanov S.N. et al. (2019) Holocene paleoenvironmental changes reflected in peat and lake sediments records of Western Siberia: Geochemical and plant macrofossil proxies. *Quat. Int.* Vol. 528. P. 73–87.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.04.006>
- Ryabogina N.E., Nesterova M.I., Utaygulova R.R. et al. (2024) Forest fires in southwest Western Siberia: The impact of climate and economic transitions over 9000 years. *J. of Quat. Sci.* Vol. 39. Iss. 3. P. 432–442.
<https://doi.org/10.1002/jqs.3593>
- Van Oldenborgh G.J., Krikken F., Lewis S. et al. (2021) Attribution of the Australian bushfire risk to anthropogenic climate change. *Natural Hazards and Earth System Sci.* Vol. 21. No. 3. P. 941–960.
<https://doi.org/10.5194/nhess-21-941-2021>
- Wang Z., Huang J.G., Ryzhkova N. et al. (2021) 352 years long fire history of a Siberian boreal forest and its primary driving factor. *Global and Planetary Change.* Vol. 207. P. 103653.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103653>
- Yuzhanina E.D., Ivanov S.N., Afonin A.S. et al. (2022b) Mid to late Holocene paleoenvironmental changes in the southern forest border of Western Siberia inferred from pollen data. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* Vol. 588. 110800. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110800>
- Yuzhanina E.D., Ryabogina N.E., Afonin A.S. (2022a) Lake-swamp transition in the West–Siberian forest–steppe: pollen and plant microremains indicators of wetland ecosystem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sci.* Vol. 1093. 012014.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1093/1/012014>
- Zhilich S., Rudaya N., Krivosonov S. et al. (2017) Environmental dynamics of the Baraba forest-steppe (Siberia) over the last 8000 years and their impact on the types of economic life of the population. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 163. P. 152–161.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.03.022>

PALEOFIRE DYNAMICS OF THE TOBOL REGION (BASED ON THE LAKE-BOG DEPOSITS OF THE OSKINO PEAT BOG)

E. D. Trubitsyna^{a,#}, A. S. Afonin^{a,##}, and N. E. Ryabogina^{a,b,###}

^a Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS, Tyumen, Russia

^b University of Gothenburg, Göteborg, Sweden

E-mail: el.yuzh@gmail.com

E-mail: hawk_lex@list.ru;

E-mail: nataly.ryabogina@gmail.com

This study investigates the spatiotemporal dynamics of fire regimes in the northern forest-steppe zone of the Tobol region (south of the Tyumen region) over the past 9.6 ka by integrating palaeoecological, archaeological, and paleofire data from the Oskino lake-bog sediments. The site's location, situated within

¹ For citation: Trubitsyna E.D., Afonin A.S., and Ryabogina N.E. (2025) Paleofire dynamics of the Tobol region (based on the lake-bog deposits of the Oskino peat bog). *Geomorfologiya i Paleogeografiya.* Vol. 56. № 3. P. 442–456 (in Russ). <https://doi.org/10.31857/S2949178925030062>

northern forest-steppe zone and surrounded by archaeological sites spanning various periods, allows for the assessment of both natural (climatic) and anthropogenic influences on fire regimes. Changes in the peat properties, radiocarbon dating, and quantification of macrocharcoal particles from the Oskino-21 core were employed. Data were correlated with existing macrobotanical and pollen data from the Oskino-09 core, providing a comprehensive context.

The results demonstrate a positive correlation between reduced moisture levels and increased fire activity, along with a correlation between pine forest dominance and fire frequency. Before human settlement of the territory (9.5–8.2 ka BP), high pyrogenic event concentrations suggest a climate-driven fire regime, potentially associated with drier conditions and the prevalence of pine forests. Palynological data from the Neolithic to early Iron Age (up to 4.5 ka BP), reveals minimal human impact on vegetation which could be related to an appropriate economy. However, an increase in fire activity is observed between 5.9 and 4.6 ka BP, potentially linked to human settlement along the lake shore during the Eneolithic and Bronze Age. Between 4.7 and 2.9 ka BP, a shift towards settled pastoralism is observed, accompanied by a decrease in fire frequency. This may be attributed to population migration towards floodplain areas and also increased humidity. The study unequivocally demonstrates a pronounced increase in anthropogenic influence on fire regimes starting at 1.4 ka BP, with economic activities significantly impacting both the background rate of charcoal accumulation and the frequency of fire episodes.

Keywords: Western Siberia; macrocharcoal; paleofires; paleoarchives; archaeology

ACKNOWLEDGMENTS

The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 23-27-00437 “Retrospective dynamics of forest fires in Western Siberia: the influence of natural and anthropogenic factors at the southern forest boundary”.

REFERENCES

- Bakulin V.V., Kozin V.V. (1996) Geografiya Tyumenskoi oblasti (Geography of the Tyumen Region). Ekaterinburg: Sredne-Ural'skoe knizhnoe izdatel'stvo (Publ.). 240 p (in Russ).
- Bondur V.G., Mokhov I.I., Voronova O.S. et al. (2020) Satellite monitoring of Siberian wildfires and their effects: Features of 2019 anomalies and trends of 20-year changes. *Dokl. Earth Sci.* Vol. 492. P. 370–375. <https://doi.org/10.1134/S1028334X20050049>
- Chambers F.M., Beilman D.W., Yu Z. (2010/11) Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat*. Vol. 7. No. 7. P. 1–10.
- Feurdean A., Florescu G., Tantau I. et al. (2020) Recent fire regime in the southern boreal forests of western Siberia is unprecedented in the last five millennia. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 244. P. 106495. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106495>
- Finsinger W., Bonnici I. (2022) Tapas: An R package to perform trend and peaks analysis. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6344463>
- Goldammer J.G., Furyaev V.V. (1996) Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. Ecological Impacts and Links to the Global System. In: *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer academic publishers. P. 1–20.
- Hamilton D.S., Hantson S., Scott C.E. et al. (2018) Reassessment of pre-industrial fire emissions strongly affects anthropogenic aerosol forcing. *Nat. Commun.* Vol. 9. No. 1. P. 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05592-9>
- Harrison S.P., Marlon J.R., Bartlein P.J. (2010) Fire in the Earth system. Changing climates, earth systems and society. Springer. Dordrecht. P. 21–48. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8716-4_3
- Haslett J., Parnell A. (2008) A simple monotone process with application to radiocarbon-dated depth chronologies. *J. of the Royal Statistical Society. Series C. Applied Statistics*. Vol. 57. Iss. 4. P. 399–418. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9876.2008.00623.x>
- Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. (2001) Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in deposits: reproducibility and comparability of results. *J. of Paleolimnology*. Vol. 25. P. 101–110. <https://doi.org/10.1023/A:1008119611481>
- Kelly R.F., Higuera P.E., Barrett C.M. et al. (2011) Signal-to-noise index to quantify the potential for peak detection in sediment – charcoal records. *Quat. Res.* Vol. 75. No. 1. P. 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2010.07.011>
- Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A. et al. (2021) Wildfires in the Siberian taiga. *Ambio*. Vol. 50. P. 1953–1974. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01490-x>
- Khozyainova N.V. (2000) Features of flora and vegetation of protected areas of the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Problemy vzaimodeistviya cheloveka i prirodnoi sredy*. Iss. 1. P. 85–89. (in Russ)
- Kremnitskiy K.V., Tarasov P.E., Cherkinskiy A.E. (1994) History of the island pine forests of Kazakhstan in the Holocene. *Botanicheskii zhurnal*. Vol. 79. No. 3. P. 12–29 (in Russ).
- Krivonogov S.K., Takahara H., Yamamuro M., et al. (2012) Regional to local environmental changes in southern Western Siberia: Evidence from biotic records of mid to late Holocene sediments of Lake Beloye. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* Vol. 331–332. P. 177–193. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.09.013>

- Maslennikova A.V., Udachin V.N., Deryagin V.V. (2014) Paleoeкологиya i geokhimiya ozernoi sedimentatsii golotsena Urala (Paleoecology and geochemistry of lacustrine sedimentation of the Holocene of the Urals). Ekaterinburg: RIO UrO (Publ.). 136 p (in Russ).
- Matveeva N.P., Larina N.S., Berlina S.V. et al. (2005) Kompleksnoe izuchenie uslovii zhizni drevnego naseleniya Zapadnoi Sibiri (Comprehensive study of living conditions of the ancient population of Western Siberia). Novosibirsk: SO RAN (Publ.). 228 p (in Russ).
- Mikhailenko V. Ya. (Ed.) (1976) Karta rastitel'nosti Zapadnoi Sibiri mastshtaba 1:1500000 (Vegetation map of Western Siberia on a scale 1:1500000). Moscow: GUGK (Publ.). 4 p (in Russ).
- Molodin V.I. (Ed.) (2008) Landshafty golotsena i vzaimodeistvie kul'tur v Tobolo-Ishimskom mezhdurech'e (Holocene landscapes and interaction of cultures in the Tobol-Ishim interfluvium). Novosibirsk: Nauka (Publ.). 212 p (in Russ).
- Mooney S., Tinner W. (2001) The analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Mires and Peat*. Vol. 7. P. 1–18.
- Nasonova E.D., Rudaya N.A. (2015) Palaeoenvironmental Conditions of Human Habitation in Pritobolye: from the Neolithic to the Middle Ages: (Based on the Pollen Data from Settlement Oskino Boloto). *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geoarkheologiya. Etnologiya. Antropologiya*. Vol. 13. P. 96–105 (in Russ).
- Nasonova E.D., Rudaya N.A. (2016) Palynological method as a way of stratification of archeological objects: Case study Oskino Boloto. *Dinamika okruzhayushchei sredy i global'nye izmeneniya klimata*. Vol. 7. No. 1. P. 93–100 (in Russ).
- Nasonova E.D., Ryabogina N.E., Afonin A.S. et al. (2019) Vegetation and climate of the Iset–Tobol interfluvium from the Eneolithic to the Early Iron Age: New palaeoecological data on the Oskino-09 swamp. *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii*. No. 4 (47). P. 15–27 (in Russ). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2019-47-4-2>
- Ogorodnov E.A. (Ed.) (1971) Atlas Tyumenskoi oblasti (Atlas of the Tyumen Region). Moscow, Tyumen: Glavnoe upravlenie Geodezii i Kartografii pri Sovete Ministrov SSSR (Publ.). 171 p (in Russ).
- Payne R.J., Blackford J.J. (2008) Peat humification and climate change: a multi-site comparison from mires in south-east Alaska. *Mires and Peat*. 3(09). P. 1–11.
- Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A. (2024) Reconstruction of the Holocene paleo-fire history in the middle taiga subzone of Western Siberia according to the macro-charcoal analysis of lake sediments. *Geosfernye issledovaniya*. No. 1. P. 135–151 (in Russ). <https://doi.org/10.17223/25421379/30/8>
- R Core Team – R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing [Electronic data]. URL: <https://www.R-project.org/> (access date: 24.03.2025)
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al. (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal BP). *Radiocarbon*. Vol. 62. Iss. 4. P. 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Rudaya N., Nazarova L., Nourgaliev D. et al. (2012) Mid-late Holocene environmental history of Kulunda, southern West Siberia: Vegetation, climate and humans. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 48. P. 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.06.002>
- Ryabogina N.E., Afonin A.S., Ivanov S.N. (2020) Late Glacial and Holocene in the south of Western Siberia: geochemical indices and pollen data in Kyrtyma Lake sediments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sci.* Vol. 438. 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/438/1/012023>
- Ryabogina N.E., Afonin A.S., Ivanov S.N. et al. (2019) Holocene paleoenvironmental changes reflected in peat and lake sediments records of Western Siberia: Geochemical and plant macrofossil proxies. *Quat. Int.* Vol. 528. P. 73–87. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.04.006>
- Ryabogina N.E., Nesterova M.I., Utaygulova R.R. et al. (2024) Forest fires in southwest Western Siberia: The impact of climate and economic transitions over 9000 years. *J. of Quat. Sci.* Vol. 39. Iss. 3. P. 432–442. <https://doi.org/10.1002/jqs.3593>
- Tkachev A.A., Tkacheva N.A. (2006) Cultural complexes of the Oskino Boloto settlement (based on materials from excavations in 2005). *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii*. No. 7. P. 241–248 (in Russ).
- Van Oldenborgh G.J., Krieken F., Lewis S. et al. (2021) Attribution of the Australian bushfire risk to anthropogenic climate change. *Natural Hazards and Earth System Sci.* Vol. 21. No. 3. P. 941–960. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-941-2021>
- Volkov E.N. (2007) Kompleks arkheologicheskikh pamyatnikov Ingalskaya dolina. (Complex of archaeological monuments Ingalskaya) Novosibirsk: Nauka (Publ.). 224 p (in Russ).
- Wang Z., Huang J.G., Ryzhkova N. et al. (2021) 352 years long fire history of a Siberian boreal forest and its primary driving factor. *Global and Planetary Change*. Vol. 207. P. 103653. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103653>
- Yuzhanina E.D., Ivanov S.N., Afonin A.S. et al. (2022b) Mid to late Holocene paleoenvironmental changes in the southern forest border of Western Siberia inferred from pollen data. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* Vol. 588. 110800. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110800>
- Yuzhanina E.D., Ryabogina N.E., Afonin A.S. (2022a) Lake-swamp transition in the West-Siberian forest-steppe: pollen and plant microremains indicators of wetland ecosystem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sci.* Vol. 1093. 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1093/1/012014>
- Zhilich S., Rudaya N., Krivonogov S. et al. (2017) Environmental dynamics of the Baraba forest-steppe (Siberia) over the last 8000 years and their impact on the types of economic life of the population. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 163. P. 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.03.022>