

ОТКЛИК РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ПРЕДГОРЬЕ ВОСТОЧНОГО САЯНА НА ГОЛОЦЕНОВЫЕ ЭКСТРЕМУМЫ КЛИМАТА (ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ БОЛОТА БОЛЬШОГО)[#]

© 2024 г. А. В. Гренадерова^{1,*}, А. Б. Михайлова¹, И. В. Курьина², О. В. Подобуева¹

¹ Сибирский федеральный университет, Институт экологии и географии, Красноярск, Россия

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

* E-mail: grenaderova-anna@mail.ru

Поступила в редакцию 28.11.2023 г.

После доработки 14.05.2023 г.

Принята к публикации 25.09.2024 г.

Приводятся результаты палеоэкологической реконструкции для подножья северо-западного макросклона Восточного Саяна за последние 6600 лет, полученные на основе радиоуглеродного AMS-датирования, спорово-пыльцевого, ботанического, палеоантракологического и ризоподного анализа торфяных отложений болота Большое на правом берегу р. Енисей. Установлено, что процесс заболачивания был инициирован пирогенным фактором в термический оптимум голоцена. Последние примерно 6000 календарных лет в предгорье распространены темнохвойные леса с доминирующим положением *Pinus sibirica*. Изменение климатических условий в сторону снижения влагообеспеченности 4050–3600 календарных лет назад (кал. л. н.) способствовало подъему нижней границы темнохвойных лесов, и усилению лесостепных сообществ с *Betula sect. Albae*. Это время отличается наиболее сильными преобразованиями и усилением пожаров. Менее продолжительные периоды осветления лесов пришлись на 3170–3080, 1850–1720, 490–400 и 310–220 кал. л. н. Наиболее значительное расширение ареала темнохвойных пород началось 1600 кал. л. н. и достигло максимума 1350–1230 кал. л. н., что можно соотнести с откликом на Похолодание темных веков. По результатам палеоантракологического анализа выделено шесть этапов усиления пожарной активности: 6500–6300 кал. л. н., 4300–3600 (включает 4 пожарных эпизода, отличается наименьшими межпожарными интервалами), 3400–2800, 1800–1550, 1200–1000, 150 кал. л. н. – по настоящее время. На основе комплексного анализа установлены периоды увеличения увлажнения: 6300–5320, 4700–4200, 3080–2900, 2820–2390, 1720–1230, 400–310 и 130–70 кал. л. н. Снижение увлажнения характерно для интервалов 5320–4960, 4050–3600, 2390–2220, 1000–700 кал. л. н.

Ключевые слова: бассейн Енисея, торфяник, пыльца, биомы, макроуголь, раковинные амебы, реконструкция природных условий

DOI: 10.31857/S2949178924040107, EDN: FFOAEY

1. ВВЕДЕНИЕ

Для понимания основных тенденций развития ландшафтов в современных условиях представляется чрезвычайно важным анализ отклика лесных экосистем на изменения климата в прошлом. Это особенно актуально для внутриконтинентальных районов с максимальным темпом потепления (Доклад об особенностях климата... 2022), где палеоэкологические реконструкции позволяют изучить особенности многовековой динамики раститель-

ного покрова в ответ на климатические изменения, в том числе рассмотреть адаптации к условиям иссушения климата и восстановление после воздействия пирогенного фактора.

Алтае-Саянская горная страна, расположенная в центре Азии и выполняющая функцию орографического барьера на пути воздушных масс, характеризуется контрастными ландшафтно-климатическими условиями и показывает пространственно-временную неоднородность палеоклиматических закономерностей. На сегодняшний день, в меньшей степени изучен характер изменения природной среды в западной части Восточного Саяна (Rodionova, Grenaderova, 2018; Mikhailova et al., 2021), в то время как восточная часть Восточного Саяна (Безрукова Е.В. с соавторами, 2004, 2021, 2022 и др.) и смежные районы: Западный Саян (Платонов, 1965; Савина, 1976; Мульдьяров,

[#] Ссылка для цитирования: Гренадерова А.В., Михайлова А.Б., Курьина И.В., Подобуева О.В. (2024). Отклик растительного покрова в предгорье Восточного Саяна на голоценовые экстремумы климата (по данным изучения болота Большое). *Геоморфология и палеогеография*. Т. 55. № 4. С. 157–176. <https://doi.org/10.31857/S2949178924040107>; <https://elibrary.ru/FFOAEY>

Чернова, 2003; Гренадерова, Шарафутдинов, 2005; Чернова, 2006; Ямских и др., 2008; Бляхарчук, 2011; Кошкарлов, Кошкарлова, 2016, Blyakharchuk, Kurina, 2021; Кошкарлов и др., 2021) Алтай (Eichler et al., 2011; Мыглан, 2012; Chernykh et al., 2014; Churakova-Sidorova et al., 2022; Бляхарчук, Пупышева, 2022) изучены более полно.

В рамках настоящего исследования, с помощью комплексного анализа отложений болота Большое, предпринята попытка рассмотреть особенности развития природных условий в западной части Восточного Саяна и выявить отклик растительного покрова на трансформацию гидроклиматических условий в разные этапы голоцена.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Болото Большое располагается в южной части Рыбинской впадины — самая крайняя северо-восточная межгорная впадина Саяно-Алтайской складчатой области — в перирогенной области Восточного Саяна и Сибирской платформы (Николаев, Чернов, 1988). В структурно-тектоническом плане район приурочен к зоне сочленения Рыбинской впадины и Канской глыбы, которая расположена в северо-западной части Восточного Саяна и ограничена крупными разрывами, являющимися ответвлениями Главного Саянского разлома (Берзин, 1967; Аржанников и др., 2004).

Рыбинская впадина представляет собой поднятую, глубоко расчлененную лесостепную холмисто-увалистую равнину, где высота холмов — 300–400 м, вершины холмов — плоские, широкие, склоны пологие (5–10°), отдельные склоны долин имеют крутизну до 30° (Сергеев, 1971). Водосбор изученного болота находится в бассейне р. Кан — крупного правобережного притока р. Енисей. Кан берет начало в Манско-Канском районе низких гор на северных склонах горного массива Канского Белогорья, где отчетливо проявляется асимметрия хребта, обусловленная климатотектоническими особенностями: хребет ориентирован перпендикулярно направлению господствующих ветров, несущих влагу, и разделяет территории с разной неотектоникой. В среднем течении (при выходе в Рыбинскую впадину) р. Кан течет в широкой долине (6–9 км), русло сильно меандрирует, в пойме много озер и стариц. Бассейн реки Кан широкий и асимметричный, отличается значительным уклоном основного русла (7.5 м/км) и малой густотой водотоков (0.44 км/км²).

Болото Большое находится на южной границе Канской лесостепи с ландшафтами таежного низкогорья, где среди древесных растений преобладают сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour), сосна

обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), береза повислая (*Betula pendula* Roth) и пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) (Коротков, 1994). В южной части Канской лесостепи встречаются редколесья с низкой плотностью произрастания сосны обыкновенной и лиственницы сибирской, занимающие, в основном, северные склоны и понижения рельефа, естественные степные сообщества приурочены к возвышенностям. Заболоченные березово-еловые леса с зеленым мхом распространены по долинам рек (Антипова, 2003).

По данным метеостанции “Ирбейское”, которая находится на расстоянии 15 км к северу от болота Большое, количество атмосферных осадков в среднем составляет 450 мм в год. Средняя температура января –16.7 °С, июля +19.6 °С (ФГБУ, 2022).

Согласно схеме районирования Г.М. Платонова (1964), объект исследования располагается в пределах Нижне-Ингашского торфяно-болотного округа, отличающегося повышенной заболоченностью (до 25%) по сравнению с остальными болотными округами южной части Красноярского края, где заболоченность не превышает в среднем 5%. Благоприятные условия для развития болот обусловлены рядом факторов: территория относится к району относительного тектонического опускания (Николаев, Чернов, 1988); северо-западная ориентированность Восточного Саяна при господствующих западных и юго-западных ветрах определяет большее увлажнение его западной части. Кроме того, поверхности пойм с многочисленными понижениями и старицами, высокий уровень грунтовых вод, а также длительная концентрация поверхностно-сточных и грунтовых вод в притеррасных понижениях создают предпосылки для образования и развития болот (Сергеев, 1971).

3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования явились отложения евтрофно-мезотрофного болота Большое (рис. 1), которое находится на надпойменной террасе р. Кан к югу от с. Ирбейское (Ирбейский район, Красноярский край). По данным геологоразведочных работ (Романов, Найдич, 1950) известно, что площадь торфяного месторождения в нулевой границе составляет 186 га, в границе промышленной глубины (свыше 0.6 м) — 15 га. Болото имеет вытянутую форму, протяженность продольного профиля торфяной залежи в нулевой границе составляет 4150 м, поперечного профиля — 1250 м. В границе промышленной глубины соответственно 1430 м и 960 м. По центральной части болота протекает ручей Зеленый ключ, водосбор которого ограничен высотами 360–414.8 м

(урочище Елань, урочище Волчий переход). Ручей имеет направление с северо-востока на юго-запад, впадает в р. Кан, отметка уреза в устье р. Зеленый ключ — 275 м. Общая мощность отложений изученной колонки — 325 см, из них торф — 305 см, ниже песок с обильным включением макроугля (частицы древесного угля крупнее 125 мкм). Абсолютная отметка высоты в точке бурения составила 332 м. Отбор проб торфа и подстилающих отложений выполнен при помощи пробоотборника для торфяных отложений фирмы Eijkelkamp.

Образцы изучены комплексом методов с применением разных индикаторов, что позволяет сделать вывод как о локальных условиях, существовавших на болоте, так и о характере окружающих ландшафтов. Для анализа проб применялись следующие методы: спорово-пыльцевой анализ (Гричук, Заклинская, 1948; Moore, 1991), анализ непыльцевых палиноморф (НПП) (Shumilovskikh,

van Geel, 2020), ботанический анализ торфа (Куликова, 1974), ризоподный анализ (Гельцер и др., 1985; Мазей и Цыганов, 2006; Kurina et al., 2020); палеоантракологический анализ (Clark, 1988), определение зольности торфа (ГОСТ 11306-2013). Определение степени гумификации проводилось с помощью фотоэлектроколориметра КФК-2 при длине волны 540 нм (Chambers et al., 2010). Для проведения всех анализов образцы отобраны с интервалом в 5 см, общее количество проб — 66 шт.

Лабораторная подготовка образцов для спорово-пыльцевого анализа проводилась по методике (Moore, 1991) с применением HCl и NaOH, в модификации без проведения ацетализа и обработки тяжелой жидкостью. Промывание образцов выполнено через сито 200 мкм, пробы с высоким содержанием минеральных примесей (в интервале 305–280 см) дополнительно обработаны с ис-

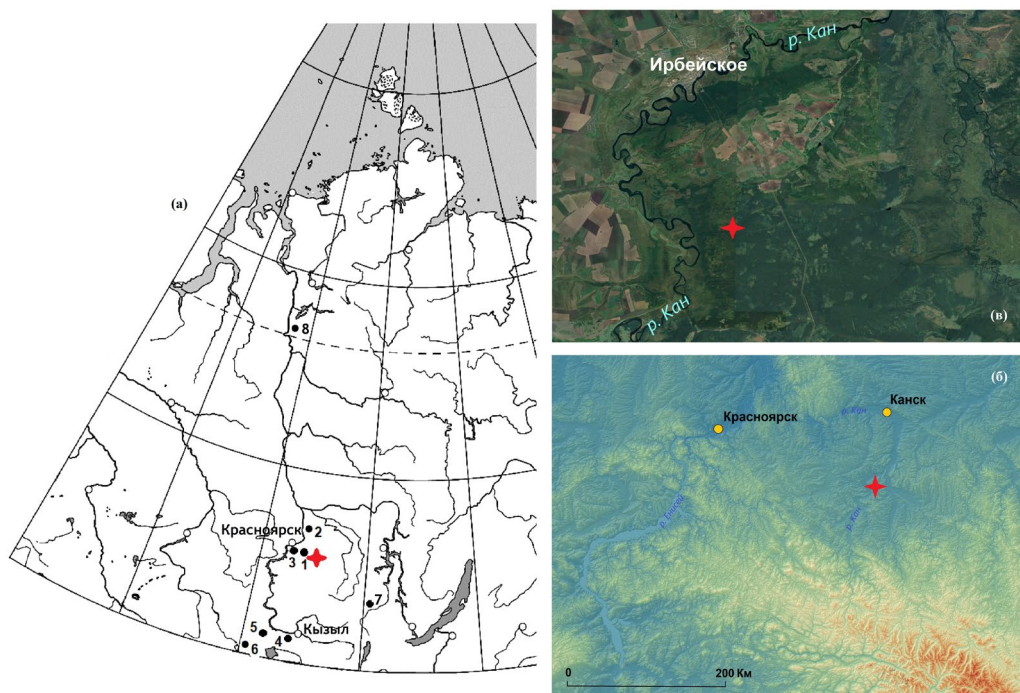


Рис. 1. Месторасположение района исследований. Звездочка — точка отбора торфяной колонки “Большое”.

(а) — положение изучаемого региона, с указанием местоположения палеоархивов из литературных источников: 1 — болото Пинчинское (Mikhailova et al., 2021), 2 — болото Большое Сполошинское (Гренадерова и др., 2021), 3 — сталагмит в Торгашинской пещере (Columbu et al., 2023), 4 — древесно-кольцевая хронология Монгун (Мыглан и др., 2012), 5 — болото Малый Лабыш (Бляхарчук, Пупышева, 2022), 6 — р. М. Чили (Телецкое озеро) (Черных и др., 2014), 7 — торфяник “Ярма” (Безрукова, и др., 2004), 8 — болото в окрестностях г. Игарки (Новенко и др., 2022); (б) — карта рельефа юга Красноярского края (построена с помощью геоинформационной системы QGIS 3.32.3-Lima); (в) — положение изучаемого района (космоснимок).

Fig. 1. Location of the study area. Asterisk — sampling point of the “Bolshoye” peat column.

(а) — position of the studied region, indicating the location of paleoarchives from literary sources: 1 — Pinchinskoye mire (Mikhailova et al., 2021), 2 — Bolshoe Spoloshinskoye mire (Grenaderova et al., 2021), 3 — stalagmite multiproxy record from Torgashinskaya Cave (Columbu et al., 2023), 4 — tree-ring cellulose chronologies “Mongun” (Myglan et al., 2012;), 5 — Maly Labysh mire (Blyakharchuk, Pupysheva, 2022), 6 — Malay Chile (Teletskoye Lake) (Chernykh et al., 2014), 7 — “Yarma” (Bezrukova et al., 2004), 8 — peat sequence, located in vicinity of the town of Igarka (Novenko et al., 2022); (б) — relief map of the south of the Krasnoyarsk Territory (built using the geographic information system QGIS 3.32.3-Lima); (в) — position of the study area (satellite image).

пользованием ультразвуковой ванны. Обработке подвергались пробы объемом 1 мл, таблетки со спорами *Lycopodium* для подсчета концентрации пыльцы не применялись. Анализ проводился на микроскопе Микромед-3 при увеличении $\times 200$ и $\times 400$, с использованием определителей (Куприянова, 1972, 1978; Веуг, 2004). Для каждого образца подсчитывалось не менее 300–350 пыльцевых зерен древесных и травянистых растений в сумме. На спорово-пыльцевой диаграмме (рис. 2) обилие пыльцы травянистых (non-arboreal pollen,

NAP) и древесных (arboreal pollen, AP) выражено в процентах от их суммы, обилие спор и НПП подсчитано отдельно (рис. 3). Для выделения спорово-пыльцевых зон и зон по НПП применялся метод broken stick model (MacArthur, 1957) в программе R пакетах *vegan*, *rioja* и *analogue*.

Полученные с помощью спорово-пыльцевого анализа данные дополнительно проанализированы методом биомизации (Tarasov et al., 2000), который основывается на выделении функциональных типов растений и математическом определении

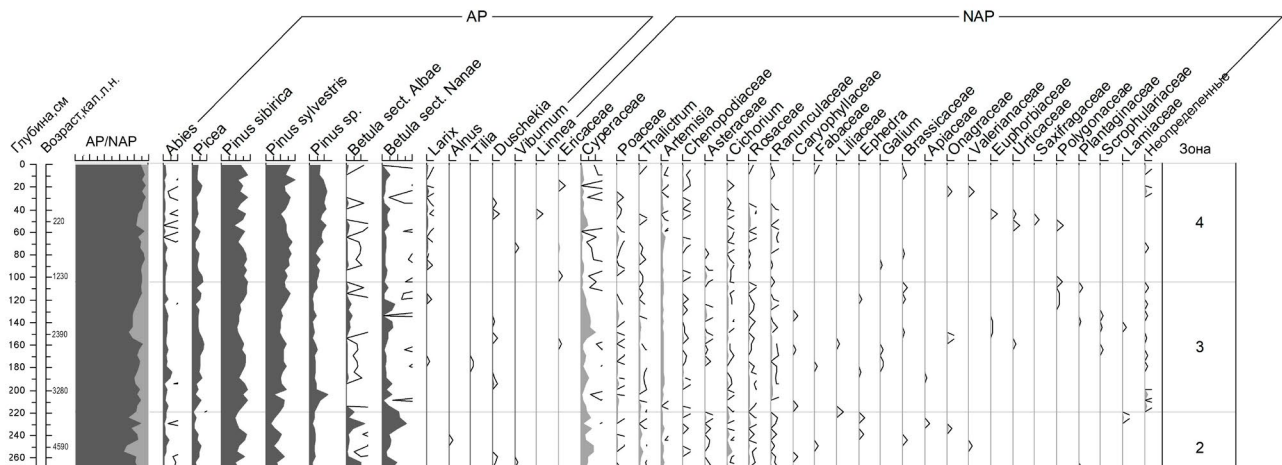


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений болота Большого.

AP + NAP = 100%; AP – пыльца деревьев и кустарников; NAP – пыльца трав и кустарничков. Дополнительный контур показывает увеличение базового пыльцевого таксона в 10 раз. Плюс обозначены единичные пыльцевые зерна.

Fig. 2. Pollen diagram for the peat core Bolshoe.

AP + NAP = 100%; AP – arboreal pollen; NAP – non-arboreal pollen. Exaggeration curves $\times 10$. The plus sign denotes single pollen grains.

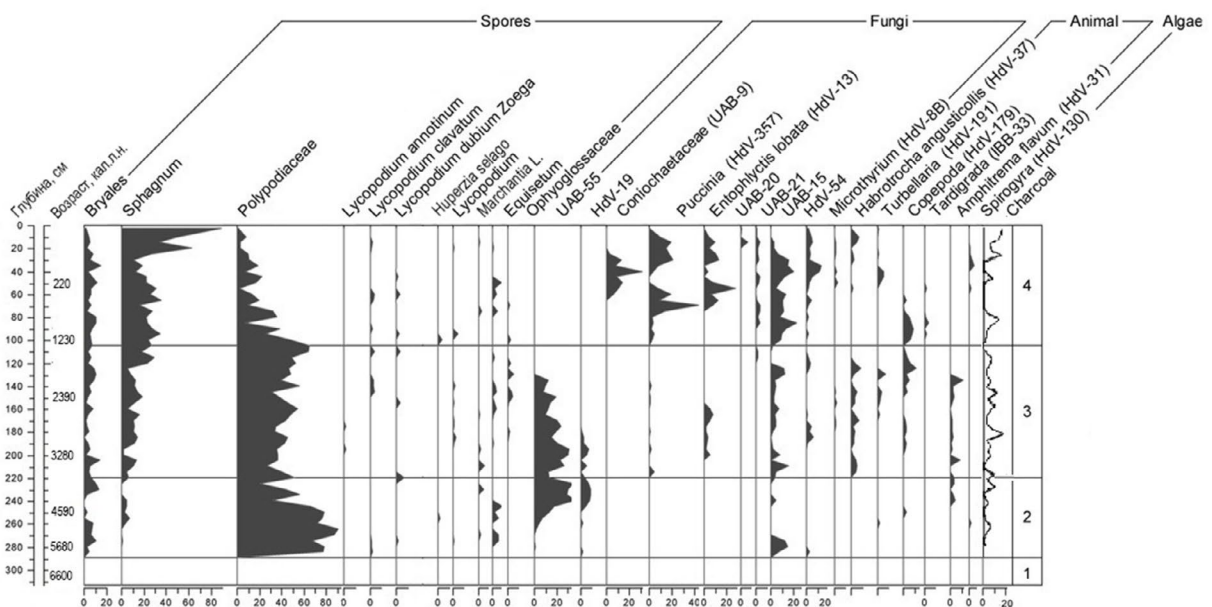


Рис. 3. Споры и непollen палиноморфы из отложений болота Большого.

Fig. 3. Spores and non-pollen palynomorphs diagram for the peat core Bolshoe.

“веса” разных биомов в спектре каждого интервала. При расчетах, для биома тайги учитывались следующие таксоны, отмеченные в отложениях болота Большое: *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*, *Abies*, *Picea*, *Betula* sect. *Albae*, *Larix*, *Viburnum*, Ericales; для биома холодных лиственных лесов: *Betula* sect. *Albae*, *Betula* sect. *Nanae*, *Larix*, *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*, Ericales, для степного биома: Chenopodiaceae, Apiaceae, Asteroideae, Cichorioideae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Liliaceae, Onagraceae, Ranunculaceae, Rosaceae, Scrophulariaceae, Valerianaceae, Polygonaceae и Poaceae, *Galium*, *Artemisia*, *Plantago*. Таксоны, содержание которых в пыльцевом спектре менее 0.5%, в ходе математических операций отсекаются.

При подготовке к ботаническому анализу пробы торфа кипятили в течение 10 мин в 10% растворе NaOH, промывали под струей горячей воды через сито с диаметром ячейки 0.25 мм (Торфяные месторождения, 1977). Анализ осуществлялся при помощи светового микроскопа “Микромед-3” при увеличении $\times 140$. Для определения видовой принадлежности растительных остатков использовались атласы (Домбровская и др., 1959; Кац и др., 1977).

Для палеоантракологического анализа (подсчет концентрации угольных частиц в торфе) из каждого пятисантиметрового интервала керна была отобрана осредненная проба объемом 1 см³. Лабораторный этап включал в себя пробоподготовку по стандартной методике (Clarke, 1988), с предварительной обработкой 5%-ным раствором пирофосфата натрия (Na₂P₂O₇) и 6%-ным перекисью водорода (H₂O₂). Подсчет частиц угля проведен при увеличении $\times 20$, учитывались все частицы крупнее 125 мкм. Выявленное количество угольков в каждом интервале и полученный с помощью калибровочной кривой интерполированный возраст были введены в качестве исходных параметров в программу CharAnalysis (Higuera, 2009). В исходном файле обработки данных применены следующие значения: для интерполяции использовался временной отрезок 10 лет; метод сглаживания данных — функция локальной взвешенной регрессии с робастными весами (Robust LOWESS) со сглаживающим интервалом в 500 лет; тип пороговых значений — локальный; вероятность, при которой отсекаются минимальные значения CHAR — 0.05; временной интервал, использовавшийся для сглаживания данных расчета межпожарных интервалов, — 1000 лет.

Полученные схемы демонстрируют скорость аккумуляции макроскопических частиц угля (CHAR), локальные пожарные эпизоды и интервалы повторения пожаров в заданном временном

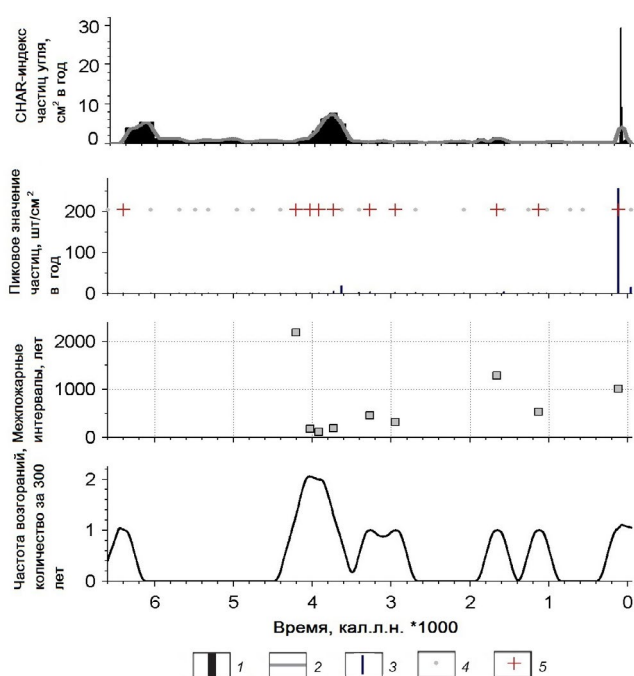


Рис. 4. Скорость аккумуляции макроскопических частиц угля в отложениях болота Большое.

1 — контуры интерполированного притока древесного угля; 2 — смоделированный фоновый приток древесного угля, шт./см² × год; 3 — пики древесного угля (разность интерполированного значения притока и фонового значения притока); 4 — пики, не превышающие пороговые; 5 — пожарный эпизод.

Fig. 4. Macroscopic charcoal accumulation rate in the peat core Bolshoe.

1 — contours of the interpolated charcoal influx; 2 — modeled background influx of charcoal, pcs./cm² year; 3 — charcoal peaks (the difference between the interpolated influx value and the background influx value); 4 — peaks not exceeding threshold; 5 — fire episode.

отрезке (рис. 4). Локальный пожарный эпизод (+) отражает первичное отложение древесного угля от пожара и/или серии пожаров, находящихся в радиусе от нескольких десятков—сотен метров (Clark et al., 1998) до 3 км (Higuera, 2009) от объекта исследования.

Для проведения анализа раковинных амёб применена стандартная методика подготовки торфяных проб (Kurina et al., 2020). Таксономическая идентификация раковинок амёб осуществлена при помощи определителей (Decloitre, 1979; Гельцер и др., 1985; Мазей, Цыганов, 2006).

Радиоуглеродный анализ четырех образцов (табл. 1) проведен в ЦКП “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” Института географии РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США). Две пробы подготовлены и проанализированы в Лаборатории изотопных

Таблица 1. Результаты радиоуглеродного датирования торфяных отложений болота Большое
Table 1. Results of radiocarbon dating of samples from Bolshoe peat core

Лабораторный номер образца	Материал для датирования	Глубина, см	Возраст, л. н.	
			Радиоуглеродный	Календарный, 95.4 (2σ)
IGAN _{AMS} -9516	Торф	40–45	140±20	114 (17–164)
GV-4393	Торф	80–85	975±31	859 (742–993)
GV-4394	Торф	135–140	2189±31	2218 (2036–2337)
IGAN _{AMS} -9517	Торф	190–195	2990±20	3166 (3033–3333)
IGAN _{AMS} -9518	Торф	230–235	3710±20	4045 (3924–4209)
IGAN _{AMS} -9519	Торф	300–305	5795±25	6594 (6398–6664)

исследований ЦКП “Геохронология кайнозоя” Института археологии и этнографии СО РАН и ЦКП “Ускорительная масс-спектрометрия НГУ-ННЦ”. Построение глубинно-возрастной модели (рис. 5) выполнено в пакете Clam программы R (Blaauw, 2010) при использовании калибровочной кривой IntCal20 (Reimer et al., 2020).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Анализ макрофоссилий

По результатам анализа растительных макрофоссилий установлено, что торфяная залежь переходного типа, лесо-топяного подтипа, сложена преимущественно древесным и сфагновым видами торфа, с небольшими прослойками древесно-осокового, осоково-гипнового, гипнового торфа. В развитии болота можно выделить стадии: 1) 305–240 см (6600–4230 кал. л. н.) – стадия облесенного болота с хорошо развитым древесным ярусом; 2) 40–190 см (4230–3080 кал. л. н.) – стадия “динамичной смены условий”; 3) 190–0 см от поверхности (3080 кал. л. н. – до настоящего времени) – мезотрофная осоково-моховая стадия (рис. 6).

4.2. Зольность и степень разложения

Значение зольности варьирует в диапазоне от 37 до 4%. Для нижней части толщи с 305 до 280 см характерны максимальные значения зольности от 37% до 18%, выше по профилю (от 280 до 160 см) зольность снижается и в среднем составляет 10%, минимум в слое 170–165 см – 4.32% и максимум в интервале 260–255 см – 13.53%. Верхняя часть толщи (160–0 см) отличается относительно стабильным значением зольности (11–14%) с более высокозольной прослойкой в интервале глубин 20–10 см – 20.4% (рис. 6).

Степень разложения определена косвенно фотометрическим методом, где полученный показатель светопропускного значения зависит от степени гумификации: чем выше процент светопропускания, тем меньше степень разложения.

В целом, наблюдается снижение степени разложения вверх по профилю (рис. 6). В слое 305–205 см светопропускное значение составило в среднем 69.4% (с кратковременным увеличением до 78% в интервале 265–255 см); в 205–65 см значение в среднем достигало 76% (190–180 см – увеличение до 84%) и в интервале 65–0 см – в среднем 85%.

4.3. Спорово-пыльцевой анализ

и анализ непыльцевых палиноморф

Зона 1 (325–285 см; 6600–6050 кал. л. н.) характеризуется небольшим количеством пыльцы и спор. В общем составе преобладает пыльца древесных растений: *Pinus sibirica*, *P. sylvestris*, *Picea*, встречается *Betula*, единично отмечены пыльцевые зерна травянистых растений: *Poaceae*, *Asteraceae*,

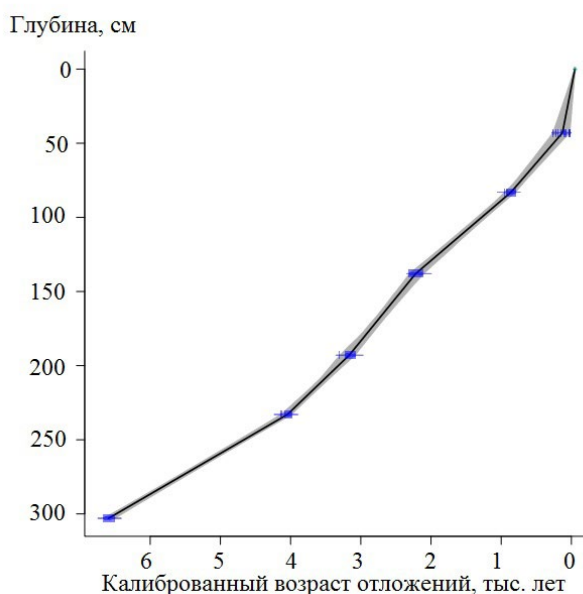


Рис. 5. Модель вертикального прироста торфа для болота Большое, рассчитанная в пакете Clam программы R (Blaauw, 2010) при использовании калибровочной кривой IntCal20 (Reimer et al., 2020).

Fig. 5. Age-depth model for the peat core Bolshoe calculated in the Clam package of the R program (Blaauw, 2010) using the IntCal20 calibration curve (Reimer et al., 2020).

Chenopodiaceae, Cyperaceae и Artemisia. Из споровых зафиксированы Polypodiaceae и Lycopodium.

Зона 2 (285–220 см; 6050–3720 кал. л. н.). Содержание пыльцы древесных растений составляет в среднем 79%, преобладает *Pinus sibirica* и *Pinus sylvestris*, отмечена пыльца *Picea*, *Abies*, *Betula* sect. *Albae*, *Betula* sect. *Nanae*. В интервале 270–260 см зафиксировано снижение доли пыльцы темнохвойных до 21–30% (при среднем значении 40%). Выделено два пика пыльцы *Betula*: первый на глубине 275–260 см, второй – 235–220 см. Из пыльцы трав преобладают представители Cyperaceae, *Cichorium* и *Artemisia*, отмечены Asteraceae, Poaceae, Rosaceae, Ranunculaceae. Из спор доминируют Polypodiaceae, присутствуют Bryales, *Sphagnum* и единично споры Equisetum и Lycopodiaceae.

Зона 3 (220–105 см; 3720–1350 кал. л. н.). Пик пыльцы *Abies* до 10% на глубине 190–180 см. Содержание пыльцы *Pinus sibirica* в среднем составляет 30%, максимум до 36% в интервале 115–100 см и 200–195 см, *Pinus sylvestris* в среднем – 24%.

Доля пыльца *Betula* sect. *Nanae* достигает 9–12% в интервале 215–190 см. На глубине 175–170 см и 120–115 см единично зафиксирована пыльца *Larix*. В интервале 180–175 см отмечается единично пыльца *Tilia*. Можно предположить, что это пыльца *Tilia nasczokinii* – единственного представителя широколиственных пород, сохранившегося с доледникового времени в Красноярском крае. В настоящее время отмечены две малочисленные изолированные популяции *Tilia nasczokinii*, которые произрастают в окрестностях Красноярска (Седаева и др., 2022). Из трав присутствует пыльца Cyperaceae, *Cichorium*, Chenopodiaceae, Poaceae, Rosaceae, Ranunculaceae, *Thalictrum* и *Artemisia* (не более 3% каждого таксона). Из спор доминируют Polypodiaceae, отмечаются споры *Sphagnum* и Bryales, единично *Equisetum* и Ophioglossaceae.

Зона 4 (105–0 см; 1350 кал. л. н. – настоящее время). Отмечено уменьшение содержания пыльцы *Abies* до 3%. Количество пыльцы *Pinus sibirica* и *Pinus sylvestris* в среднем составляет

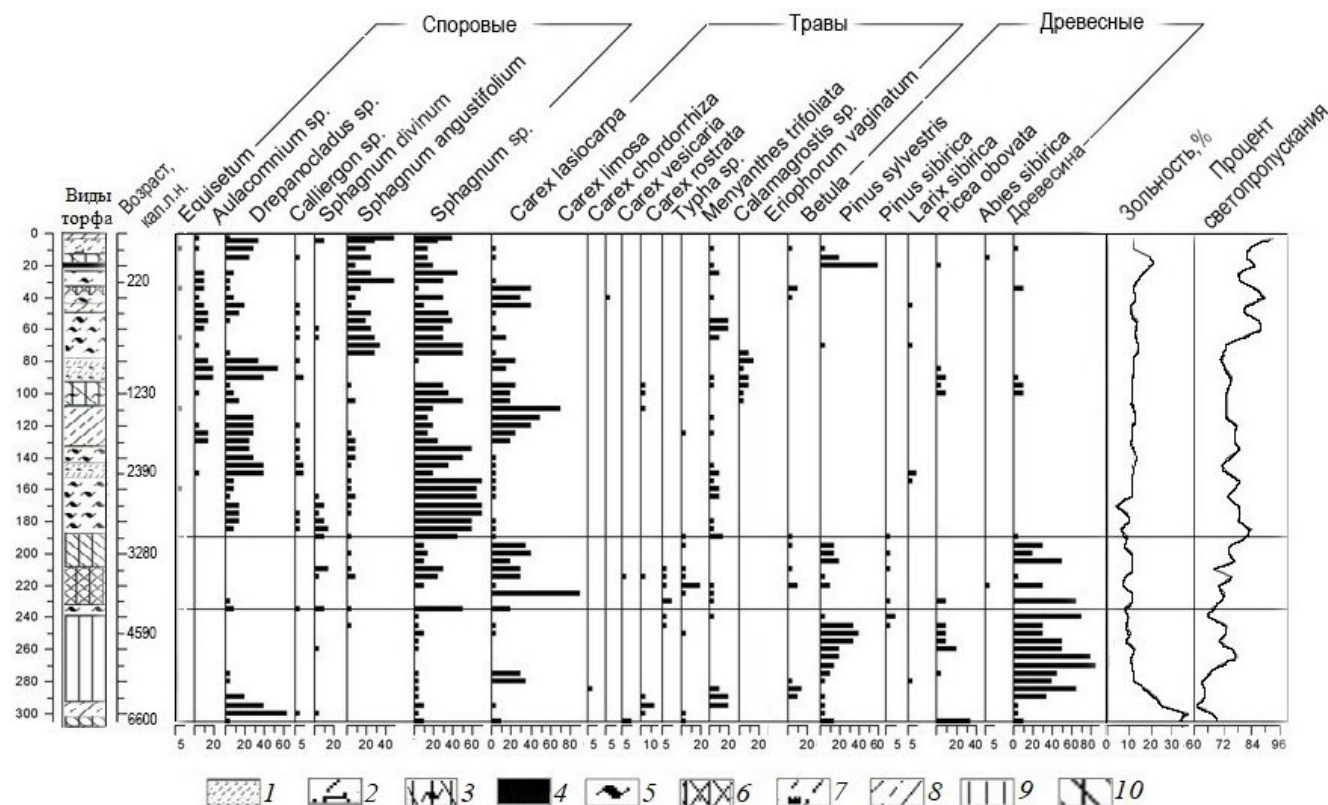


Рис. 6. Стратиграфия торфяной толщи болота Большое, динамика растений-торфообразователей, зольность и степень разложения торфа.

1 – моховой очёс; торф: 2 – моховой переходный, 3 – древесно-сфагновый переходный, 4 – сосновый переходный, 5 – сфагновый переходный, 6 – древесно-осоковый переходный, 7 – гипновый переходный, 8 – осоково-гипновый низинный, 9 – древесный низинный, 10 – древесный переходный.

Fig. 6. Plant macrofossil diagram, peat types, ash-content, gumification for the peat bog Bolshoe.

1 – moss tow; types of peat: 2 – moss, 3 – wood-sphagnum transitional, 4 – pine transitional, 5 – sphagnum transitional, 6 – wood-sedge transitional, 7 – hypnum transitional, 8 – sedge-hypnum eutrophical, 9 – wood eutrophical, 10 – wood transitional.

по 29%. Снижается доля *Betula* sect. *Albae* и *Betula* sect. *Nanae* по сравнению с предыдущей зоной. Начиная с глубины 90 см, единично присутствует пыльца *Larix*. В интервале 100–95 см и 75–70 см зафиксирована пыльца сем. *Ericaceae*. Из трав отмечена пыльца семейств *Asteraceae*, *Cyperaceae*, *Cichorium*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Rosaceae*, *Ranunculaceae* и *Artemisia*, *Thalictrum*. Из спор доминирует *Sphagnum*, встречаются *Polypodiaceae* и *Bryales*, единично отмечаются *Equisetum*, *Lycopodium* и *Ophyoglossaceae*.

4.4. Палеоантракологический анализ

Согласно рис. 4, пожарные эпизоды пришлись на следующие даты: 6400, 4200, 4000, 3950, 3750, 3250, 2950, 1650, 1150 и около 150 кал. л. н., т.е. в это время распространение пожаров было максимально близким к точке исследования.

На основании кривой, отображающей временной ряд частоты пожаров, выделены шесть этапов усиления пожарной активности: I – около 6500–6300 кал. л. н., II – 4300–3600 (включает 4 пожарных эпизода, отличается наименьшими

межпожарными интервалами), III – 3400–2800 (2 пожарных эпизода), IV – 1800–1550, V – 1200–1000, VI – 150 кал. л. н. – по настоящее время.

Скорость аккумуляции макроскопических частиц угля составляла на I этапе 4–5 частиц на 1 см² в год, на II – до 8 частиц угля на 1 см² в год, на III, IV и V – менее 2 угольков на 1 см² в год; VI этап, имеющий небольшую продолжительность, отличается наибольшими значениями – от 4–10 до 29 частиц на 1 см² в год.

4.5. Метод биомизации

Согласно результатам, полученным с помощью метода биомизации, установлено, что в составе спорово-пыльцевых спектров преобладают таксоны, относящиеся к биому “тайга”, причем доминируют представители темновойной тайги (сосна сибирская, ель, пихта) (рис. 7). В интервалах 235–215 см, 195–190 см, 125–120 и 65–60 см отмечено снижения доли ели и пихты в составе спектров и увеличение содержания *Betula* sect. *Albae* и *Betula* sect. *Nanae*, что указывает на усиление в составе растительного покрова

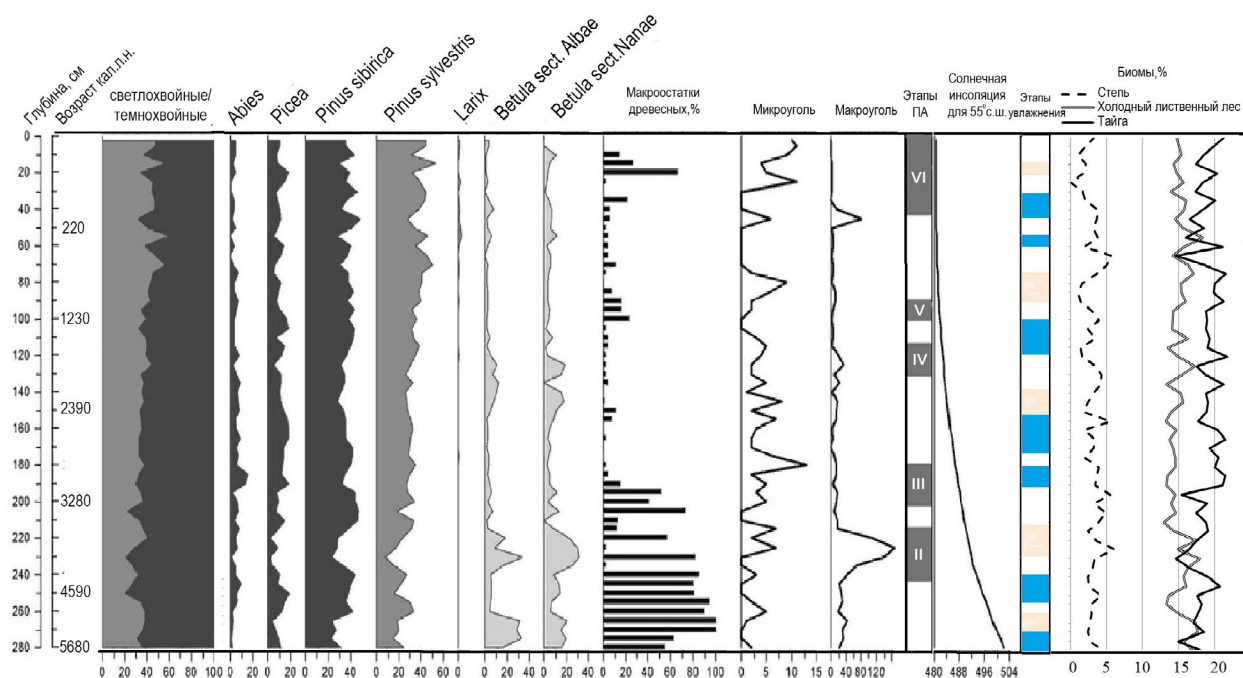


Рис. 7. Сводная диаграмма индикаторов палеоэкологических условий для реконструкции болота Большое. Процентное соотношение пыльцы светлохвойных и темнохвойных; пыльца основных представителей древесных (процент от АР); изменение количества макроостатков древесных (суммарная доля коры и древесины от объема пробы); микроуголь (% от НПП); количество частиц макроуголя (шт./см³); этапы усиления пожарной активности, выделенные на основе палеоантракологического анализа; солнечная инсоляция для 55° с.ш. (по Berger, Loutre, 1991); интервалы увеличения (темный тон) и уменьшения (светлый тон) увлажнения, интерпретированные по комплексу данных; динамика доминирующих типов растительности (биомы).

Fig. 7. Summary diagram of palaeoecological conditions indicators according to Bolshoe peat bog reconstruction. Percentage ratio of light-coniferous and dark-coniferous pollen, pollen of the main trees (AP percentage), change in the wood macroresidues amount (bark and wood), microcoals (% of NPP), macrocoals (pcs/cm³), stages of fire-fighting activities, solar insolation for 55° N. (after Berger, Loutre, 1991), intervals of increasing (dark tone) and decreasing (light tone) humidification, dynamics of dominant vegetation types (biome).

сообществ, относящихся к биому “холодный лиственный лес”. Указанные интервалы нашли отражение в трансформации как сухолюбивых, так и болотных сообществ, что фиксируется полученными результатами по всему комплексу анализов.

4.6. Ризоподный анализ

С помощью ризоподного анализа изучена только верхняя часть (0–50 см, десять образцов) торфяной залежи, всего выявлено 43 вида и внутривидовых разновидности. Среди них наиболее часто встречались таксоны *Hyalosphenia elegans*, *H. papilio*, *Centropyxis aculeata*, *C. aerophila*, *C. sylvatica* и *Archerella flavum*. Наибольшего относительного обилия достигали таксоны *Euglypha rotunda*, *Centropyxis aerophila*, *C. aculeata* и *Hyalosphenia elegans*. Интервал глубин 15–0 см характеризуется заметно большим содержанием раковинок амёб, ниже количество раковинок резко уменьшается. Помимо целых раковинок в исследованных пробах торфа попадались их многочисленные фрагменты, которые не представлялось возможным идентифицировать до таксономического уровня рода и вида. Проведенные ранее исследования показывают, что в торфяниках низинного и переходного типа иногда наблюдается сходная низкая степень сохранности раковинок (например, Payne, Mitchell, 2007), тогда как на других болотах раковинки сохраняются гораздо лучше по всей глубине (например, Blyakharchuk, Kurina, 2021; Mikhailova et al., 2021; Kurina et al., 2023).

В целом видовой состав сохранившихся комплексов раковинных амёб свидетельствует о мезотрофных условиях среды на болоте (Amesbury et al. 2013, 2016; Payne, Mitchell, 2007; Kurina, Li, 2019). Большинство обнаруженных видов раковинных амёб характерно для болот переходного и низинного типа. В комплексах также постоянно присутствует небольшая доля видов (например, *Hyalosphenia elegans*, *H. papilio*, *Archerella flavum*), более типичных для верховых болот (Kurina, Li, 2019). Судя по экологическим предпочтениям обнаруженных видов раковинных амёб, за последние 220 лет сохранялся средний уровень обводненности, соответствующий отметке среднего годового уровня болотных вод около 15–20 см ниже поверхности болота (Иванов, 1975). Исключение составляет слой торфа 45–30 см (130–70 кал. л. н.), в котором доминируют остатки гидрофильного таксона *Centropyxis aculeata* (оптимальный уровень болотных вод 5–10 см ниже поверхности), а также присутствуют раковинки гидрофила *Diffugia oblonga*, предпочитающего условия повышенной обводненности. Оптимальный уровень болотных вод для этого вида около 0 см (поверхность торфяника) (Amesbury et al., 2016).

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Процесс торфонакопления на надпойменной террасе р. Кан в верховье р. Зеленый ключ начался 6600 кал. л. н. с заболачивания лесного сообщества. Выявленные пожарные сигналы в нижней части толщи и в подстилающих торф песчаных отложениях могут указывать на роль пирогенного фактора в инициации процесса заболачивания, который часто активизируется после сильных лесных пожаров и находит отражение в виде высокой концентрации частиц макроугля в придонных слоях торфяников (Фарбер, 2012; Дьяконов и др., 2020; Куприянов, Новенко, 2021; Гренадерова и др., 2021). Пожары около 6600 кал. л. н. в бассейне р. Кан можно рассматривать как отклик на термический оптимум голоцена (Хотинский, 1977). Реакция на потепление и усиление аридизации в оптимум голоцена (7500–6000 кал. л. н.) хорошо фиксируется и в палеоархивах смежных районов, например, в виде обмеления и зарастания озер (Zakh, Ryabogina 2010, Черных и др., 2014), начала процесса торфонакопления (Безрукова и др., 2004; Гренадерова и др., 2021), понижения уровня болотных вод (Novenko et al., 2019), прослойки с повышенным содержанием макроугля (Grenaderova et al. 2020; Mikhailova et al., 2021) и смены доминирующих биомов (Безрукова и др., 2022). Согласно палеоэкологической реконструкции по разрезу Пинчинское (Mikhailova et al., 2021), расположенному в 100 км на северо-запад от болота Большое, период 7400–6250 кал. л. н. отличался засушливым климатом и пожарами.

После пожара растительность на исследуемом болоте была представлена разнотравно-гипновым сообществом с разреженным древесным ярусом из *Betula sect. Albae*. Зарастание березой и в настоящее время весьма типично для гарей гидроморфных темнохвойных лесов Восточной Сибири (Фарбер, 2012).

Далее на протяжении двух тысяч лет (6050–4230 кал. л. н.) на болоте был развит смешанный лес осокково-зеленомошный, пожарные эпизоды отсутствуют. В интервале 5680–5320 кал. л. н. имело место увеличение увлажнения, что отразилось в прослойке с высокой долей тканей травянистых и споровых растений в составе торфяного волокна, при сохранении доминирующей роли древесных. В слое отмечена НПП UAB-15, которая относится к грибам и встречается на заболоченных территориях (Revelles et al., 2016). Более обильно данная форма представлена позже, на топяной стадии развития болота Большое. На наш взгляд, участие НПП UAB-15 хорошо сопоставляется с увеличением доли макроостатков *Carex lasiocarpa* Ehrh. На плакорах, согласно данным спорово-

пыльцевого анализа, произрастал елово-кедровый лес с пихтой, папоротниками и плаунами в напочвенном покрове, что в целом может свидетельствовать о значительном увлажнении. Высокое содержание папоротников в составе споровых приходится на период 5870–4410 кал. л. н., здесь же отмечается присутствие *Lycopodium clavatum* L. и *Huperzia selago* (L.) Bernh. ex Schrank & Mart., которые предпочитают влажные хвойные леса (Флора Сибири, 1988), единично отмечена НПП водоросль *Spirogyra* — индикатор мелководного застойного водоема (van Geel, 1978).

Подобные тенденции известны и для восточной части Восточного Саяна, так в пределах Окинско-го хр. (примерно в 400 км к юго-востоку от с. Ирбейское) по разрезу Ярм (Безрукова и др., 2004), где интервал максимального увлажнения выделен с 6100 до 4450 л.н., повышение увлажненности отмечено около 5200 л. н. (радиоуглеродный возраст). Период с 5320 по 4960 кал. л. н., совпадающий с началом неогляциала (Solomina et al., 2008; Wanner et al, 2008; Новенко, 2021), характеризуется прохладными и менее увлажненными условиями, что проявилось в большем облесении болота Большое, в уменьшении степени разложения торфа (пик светопропускной способности, рис. 7), в сокращении доли темнохвойных пород в составе лесов (подъем нижней границы леса) и расширении лесостепных сообществ с участием *Betula sect. Albae*, сем. Роасеае, сем. Астерасеае, в том числе *Artemisia*. Исследователи сталагмита (Columbu et al, 2023), сформировавшегося между 6000 и 3820 л. н. в Торгашинской пещере (в 200 км на СЗ от с. Ирбейское), выявили наличие коротких похолоданий, три из которых приходится на указанный нами интервал: $5.3 \pm 0.08 / -0.07$, $5.1 \pm 0.09 / -0.09$ и $4.85 \pm 0.05 / -0.06$ тыс. л. н.

Условия, благоприятные для широкого распространения темнохвойных лесов, складывались в период 4850–4200 кал. л. н. на значительной территории бассейна р. Енисей. Увеличение доли пихты в составе лесных сообществ отмечено и в пределах равнинных ландшафтов южной тайги — болото Большое Сполошинское (Гренадерова и др., 2021), и южнее — на границе подтайгалесостепь — болото Пинчинское (Mikhailova et al., 2021), и намного севернее — в окрестностях г. Игарка, где, по данным (Новенко и др., 2022), 4700–3600 кал. л. н. отмечалась *Abies sibirica*, что указывает на смещение границы ареала пихты на 200 км к северу.

Следующая стадия развития болота (4230–3080 кал. л. н.) отличается сочетанием контрастных условий: слои древесного торфа с высоким содержанием частиц макроугля чередуются с осо-

ково-сфагновым и осоковым торфом, включающим остатки болотных трав (пухляк, рогоз и вахта). Среди НПП отмечены UAB-55 — индикатор заболоченных территорий и пожарных эпизодов (Revelles, 2016) — и HdV-19 — индикатор открытого болота, осоковой растительности (Prager et al., 2012).

Период 4410–4050 кал. л. н. характеризуется благоприятными условиями для развития темнохвойных лесов (45–46% от пыльцевого спектра). Распространению пожаров в это время могла способствовать периодическая сухость летних сезонов, когда интенсивно горели значительные запасы лесных горючих материалов, накопленные при достаточном увлажнении.

В интервале 4050–3610 кал. л. н. отмеченное сокращение содержания пыли темнохвойных до 25–29%, присутствие *Ephedra*, установленные пожарные эпизоды (4000, 3950, 3750 кал. л. н.) с малым межпожарным интервалом могут указывать на снижение общей увлажненности и подъем нижней границы леса на более высокую абс. отметку. Описанные изменения лесных сообществ в сторону осветления (болото Большое, болото Большое Сполошинское) и повышенная пожарная активность (Большое, Большое Сполошинское, Игарка) (Гренадерова и др., 2021; Новенко и др., 2022) отражают более сухие условия, что подтверждается и данными спелеотема, для которых отмечено снижение скорости нарастания сталагмита, начиная с $4.4 \pm 0.06 / -0.09$ тыс. л. н. и вплоть до 3.8 тыс. л. н., что, согласно (Columbu et al., 2023), также отражает более засушливые условия.

Начиная с 3080 кал. л. н. болото переходит на мезотрофную стадию развития, господствующее положение занимает сфагновый мох: *Sphagnum fallax* (мезотрофный гигрогидрофит), *Sph. angustifolium* и *Sph. divinum* (олиготрофный гигрофит). Снижение степени разложения торфа (рост светопропускной способности) на данном этапе может быть обусловлено как усилением похолодания, так и нарастанием доминирующей роли сфагнового мха в напочвенном покрове, ткани которого в силу биохимических характеристик устойчивы к процессам деструкции (Миронычева-Токарева и др., 2013). В составе НПП отмечен тип животного происхождения HdV-179, предпочитающий стоячую воду и эвтрофные условия (Van Geel, 1983), и *Amphitrema flavum* (HdV-31), которая является индикатором активно растущих сфагновых болот (Shumilovskikh et al., 2015); также в малом количестве фиксируется *Microthyrium* (HdV-8B) — индикатор сфагнового торфа, относящийся к грибам (Kuhry, 1997).

В составе пыльцевого спектра период 3080–2480 кал. л. н. отличался значительным содержанием пыльцы темнохвойных (46–50% от AP+NAP), что может свидетельствовать о стабильно высоком увлажнении. Однако, несмотря на высокую влажность (3080–2910 кал. л. н. соотносится с пиковым содержанием пыльцы пихты – 9–12%, при среднем показателе 3.5%), на этот период приходится пожарный эпизод (2950 кал. л. н.), который выходил за пределы локального уровня, о чем свидетельствует максимальное содержание микроугля (рис. 4). Известно, что темнохвойные елово-пихтовые и кедровые леса по сравнению с сосняками и лиственничниками являются менее пожароопасными (Фурьев, 1996): возгорание в таких насаждениях может возникнуть только в условиях сильной засухи (Каницкая, 2013).

С 2820 по 2740 кал. л. н. единично отмечена пыльца *Larix* и споры *Lycopodium annotinum*, который встречается в лиственничных и еловых моховых лесах (Кожевников, 1986; Янченко, 2009). Для интервала 2740–2650 кал. л. н. характерно минимальное значение зольности – 4.32%, условия не способствовали привносу минеральных фракций поверхностным и подземным стоком. На 2650–2390 кал. л. н. приходится пик пыльцы ели – 13–15% (при среднем по разрезу содержании 8%), единично отмечен *Lycopodium dubium* – вид, характерный для тундры, лесотундры, изредка встречается в сосновых лесах (Флора Сибири, 1988). Перечисленные особенности можно соотнести с известным для умеренных широт северного полушария похолоданием около 2600 л. н. (Шнитников, 1957).

Интервал 2390–2270 кал. л. н. можно охарактеризовать как сухой и прохладный, в составе локального фитоценоза увеличивалась доля зеленого мха (в волокне торфа до 50%, ранее 10–15%), в древесном ярусе отмечена лиственница, в составе пыльцевого спектра доля карликовой березы возросла до 14% (ранее 4–8%). Кратковременное усиление биомы “холодный лиственный лес”, а также увеличение пожарной активности, фиксируется 1850–1720 кал. л. н.

Позже, 1720–1350 кал. л. н., на болоте получает развитие ассоциация осоки волосистоплодной (*Carex lasiocarpa*). Содержание пыльцы сосны сибирской в составе спектра 1600–1230 кал. л. н. возрастает до 34–36% (при среднем значении 28%). Максимум пыльцы темнохвойных пород (сосна сибирская – 36.2%, ель – 15%, пихта – 3%) пришелся на 1350–1230 кал. л. н., что может указывать на снижение нижней границы леса в западной части Восточного Саяна. Кроме того, до 29% возросла доля *Pinus sylvestris* в составе пыль-

цевого спектра, сформированного 1720–1480 кал. л. н. (ранее значение не превышало 20%), что может свидетельствовать об увеличении плотности произрастания сосны обыкновенной в пределах Канской лесостепи. Фиксируется холодолюбивый *Lycopodium dubium*.

В целом интервал 1720–1230 кал. л. н. хорошо соотносится с Похолоданием темных веков (410–775 гг. н. э.), нашедшим широкое отражение во многих палеоархивах Европы (Helama et al., 2017). Можно предположить, что в пределах Алтае-Саянской горной страны данное похолодание проявилось в расширении ареала темнохвойной тайги в Горной Шории с 1400 по 1250 кал. л. н. (Бляхарчук, Пупышева, 2022), в изменении состава болотных сообществ в бассейне Телецкого озера, в максимуме последней фазы наступания ледников на хр. Холзун на Алтае около 1600 л. н. (Черных и др., 2014). Согласно 2367-летней древесно-кольцевой хронологии “Mongun”, в интервале 516–800 гг. н. э. температура воздуха в июле понизилась на 5 °C по сравнению с долгосрочным восстановленным средним значением (Мыглан и др., 2012), а общее количество осадков в июле вдвое превысило среднее многолетнее значение за последние 1500 лет (Churakova-Sidorova et al., 2022).

Интервал 1000–700 кал. л. н. отличается увеличением проективного покрытия зеленого мха в растительном покрове болота Большое (доля бриевых в составе торфяного волокна достигает 75%), было развито разнотравно-осоково-гипновое сообщество с *Eriophorum*, *Calamagrostis* и древесным ярусом из *Picea*, случались пожары, что может указывать на снижение общего увлажнения. Однако увлажнение оставалось достаточным для НПП Tardigrada S.(IBB-33), которая, согласно (Montoya, 2010), встречается во влажных местообитаниях, и для HdV-179, которая предпочитает стоячую воду и эвтрофные условия (van Geel, 1983). На плакорах произрастали елово-пихтово-кедровые леса, доля сосны обыкновенной в составе спектра достигла 32%. Данные условия согласуются со Средневековым климатическим оптимумом, который охватывал значительные районы северного полушария примерно с 830 по 1100 гг. н. э. (PAGES 2k Consortium, 2013); наибольшее потепление отмечалось между 1000 и 1100 гг. н. э. (Moberg et al., 2005). Рост температуры и сухость воздуха были характерны и для Алтае-Саянского региона (Borisova, Panin, 2019; Churakova-Sidorova et al., 2022; Бляхарчук, Пупышева, 2022).

В течение 680–130 кал. л. н. на болоте развитие получило сфагновое сообщество с вересковыми и лиственничей. На плакорах произрастал пихтово-елово-кедровый лес, расширение ареала темно-

хвойных приходится на 400–310 кал. л. н. Позже, 310–220 кал. л. н., когда, согласно древесно-кольцевой хронологии Mongun (Мыглан и др., 2012), в Алтае-Саянском регионе наблюдалось максимальное проявления Малого ледникового периода (XVII–XIX вв.), доля темнохвойных в составе пыльцевого спектра резко сократилась (до 20% при среднем значении по колонке 40%), содержание *Larix* достигло 2% — максимум по разрезу; наполненность образца пылью заметно ниже по сравнению с остальными пробами, развитие получил биом “холодный лиственный лес”.

Временной интервал 130–70 кал. л. н. характеризуется повышенным увлажнением на болоте, на что указывает увеличение доли *Carex lasiocarpa* в составе осоково-мохового сообщества с березой карликовой, гидрофильные раковинные амебы *Centropyxis aculeata* и *Diffugia oblonga*, а также НПП *Turbellaria* E. (HdV-19) — индикатор застойных неглубоких вод, открытого болота, осоковой растительности (Prager et al., 2012), и НПП *Coniochaetaceae* (UAB-9), который встречается на заболоченных территориях и является индикатором пожаров (Revelles, 2016).

Последние 70 лет на болоте произрастает разнотравно-зеленомошно-сфагновое сообщество, в развитии которого отмечен интервал 30–10 кал. л. н., отличающийся наличием развитого древесного яруса (древесно-сфагновый торф с древесными остатками до 65%), из НПП присутствуют *Puccinia* P. (HdV-357) — индикатор заболоченных территорий (Shumilovskikh et al., 2015) и *Entophlyctis lobata* (HdV-13) — встречается на заболоченных территориях и является индикатором пожара (Revelles, 2016), что сопровождается увеличением частиц макроугля в верхних 20 см. В интервале 5–0 см присутствуют НПП *Spirogira* и *Turbellaria*, что может свидетельствовать о динамично изменяющихся условиях на современной стадии развития болота.

6. ВЫВОДЫ

Полученная реконструкция “Болото Большое” дает возможность проследить изменение природной среды в предгорье западной части Восточного Саяна в непрерывной последовательности за 6600 лет. Комплексный палеоэкологический подход, опирающийся на индикаторы растительного и животного происхождения, позволил выявить отклик сообществ экотона лесостепь — тайга предгорий и низкогорий Восточного Саяна на основные климатические тенденции голоцена.

Термический оптимум голоцена проявился в бассейне р. Кан усилением пожарной активности и активизацией процесса торфонакопления. Интервал 6600–5300 кал. л. н. может быть охарактер-

изован как климатический оптимум с широким распространением темнохвойных лесов.

Предгорное положение объекта исследования определило возможность отразить смещение границ биома “тайга” в ответ на изменение тепло- и влагообеспеченности. Так, сокращение ареала темнохвойных пород, подъем нижней границы леса пришелся на периоды усиления континентальности, похолодания и сокращения влагообеспеченности: в начале неогляциала с 5320 по 4960 кал. л. н., в интервале 2390–2270 кал. л. н. и во время максимального проявления Малого ледникового периода 310–220 кал. л. н.

Экстремально засушливые условия, повлекшие значительное усиление пожарной активности и осветление лесных сообществ, имели место 4050–3610 кал. л. н. Сокращение общей увлажненности способствовало снижению водно-минерального питания, и на болоте с этого времени развитие получили мезотрофные осоково-сфагновые сообщества. Потепление в Средневековый климатический оптимум (1000–700 кал. л. н.) проявилось слабее, не способствовало сокращению ареала темнохвойных пород в предгорье Восточного Саяна и отразилось только в трансформации локальной болотной растительности.

Периоды похолодания и увеличения увлажнения (снижение испаряемости) пришлось на 3080–2910 кал. л. н., 2820–2390 и 1720–1230 кал. л. н., что, в том числе, повлияло на расширение ареала темнохвойных пород, с наиболее значительным откликом в интервале 1350–1230 кал. л. н. Последний может быть отнесен к похолоданию Темных веков и отмечен максимальным содержанием темнохвойных пород в составе лесных сообществ исследуемого района.

Последние 150 лет отличаются сочетанием контрастных палеосигналов, указывающих на разное увлажнение территории, в том числе отмечена наивысшая скорость аккумуляции макрочастиц угля (29 шт./см² в год), что, на наш взгляд, может отражать как усиление континентальности климата, так и возросшую антропогенную нагрузку на окружающей территории.

В заключении хочется отметить, что природные комплексы склонов северо-западной экспозиции Восточного Саяна заметно откликаются на трансформацию в переносе тепла и влаги с Атлантики, и, на наш взгляд, могут являться перспективными объектами для палеореконструкций.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00341, <https://rscf.ru/project/23-27-00341/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антипова Е.М. (2003). Флора северных лесостепей Средней Сибири. Красноярск: РИО КГПУ. 464 с.
- Аржанников С.Г., Гладков А.С., Семенов Р.М. (2004). Позднечетвертичная геодинамика и импульсные тектонические движения в зоне влияния Канской системы разломов (юго-запад Сибирской платформы). *Геология и геофизика*. Т. 45. № 4. С. 430–442.
- Безрукова Е.В., Вершинин К.Е., Летунова П.П. и др. (2004). Растительность высокогорий Восточного Саяна в позднем голоцене по данным изучения торфяных отложений. *Ботанический журнал*. № 2. С. 221–232.
- Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Волчатова Е.В. и др. (2021). Постледниковая история растительности и климата Окинского плато (Восточный Саян, Южная Сибирь). *ДАН. Науки о Земле*. Т. 496. № 2. С. 211–214. <https://doi.org/10.31857/S2686739721020043>
- Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Решетова С.А. и др. (2022). Природная среда Окинского плато (горы Восточного Саяна) в позднем ледниковье и голоцене: пример палинологической летописи из отложений озера Хикушка. *Геоморфология*. № 3. С. 61–73. <https://doi.org/10.31857/S043542812203004X>
- Берзин Н.А. (1967). Зона Главного разлома Восточного Саяна. М.: Наука. 147 с.
- Бляхарчук Т.А. (2011). Изменение растительности и климата Западного Саяна и их взаимосвязь с развитием археологических культур региона во второй половине голоцена по данным спорово-пыльцевого анализа болотных отложений. *Вестник Томского государственного университета*. № 351. С. 145–151.
- Бляхарчук Т.А., Пупышева М.А. (2022). Динамика растительного покрова и пожаров Горной Шории (Северный Алтай) в позднем голоцене: по палеоэкологическим данным торфяника Малый Лабыш. *Сибирский экологический журнал*. Т. 29. № 2. С. 133–146. <https://doi.org/10.15372/SEJ20220202>
- Гельцер Ю.Г., Корганова Г.А., Алексеев Д.А. (1985). Практическое руководство по идентификации почвенных тестаций. М.: Изд-во МГУ. 84 с.
- ГОСТ 11306-2013 (2019). Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М.: Стандартинформ. 6 с.
- Гренадерова А.В., Мандрыка П.В., Ван Сякунь и др. (2021). Комплексные археолого-палеоэкологические исследования голоценового хроноряда в южной тайге Среднего Енисея. *Stratum plus. Археология и культурная антропология*. № 6. С. 299–313. <https://doi.org/10.55086/sp216299313>
- Гренадерова А.В., Шарафутдинов Р.А. (2005). Реконструкция экологических условий позднего голоцена в долине р. Оя. В сб.: *Горные экосистемы Южной Сибири: изучение, охрана и рациональное природопользование. Материалы I межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 5-летию организации Тигирекского заповедника. Труды ГПЗ "Тигирекский"*. Вып. 1. Барнаул: Алтайские страницы. С. 141–146.
- Гричук В.П., Заклинская Е.Д. (1948). Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географгиз. 224 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. (2022). М.: Росгидромет. 104 с.
- Домбровская А.В., Коренева М.М., Тюремнов С.Н. (1959). Атлас растительных остатков, встречающихся в торфе. М.-Л.: Госэнергоиздат. 137 с.
- Дьяконов К.Н., Новенко Е.Ю., Мазей Н.Г. и др. (2020). Возраст болот и этапы болотообразования в полесских ландшафтах Восточно-Европейской равнины. *ДАН. Науки о Земле*. Т. 492. № 2. С. 87–93. <https://doi.org/10.31857/S2686739720060067>
- Иванов К.Е. (1975). Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеиздат. 280 с.
- Каницкая Л.В. (2013). Лесная пирология. Иркутск: БГУ-ЭП. 206 с.
- Кац Н.Я., Кац С.В., Скобеева Е.И. (1977). Атлас растительных остатков в торфах. М.: Недра. 371 с.
- Кожевников Ю.П. (1986). Сосудистые растения. В сб.: *Горные фитоценоотические системы Субарктики*. Л.: Наука. С. 45–76.
- Коротков И.А. (1994). Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР. В сб.: *Углерод в экосистемах лесов и болот России*. Красноярск: ВЦ СО РАН. С. 29–47.
- Кошкарар А.Д., Кошкарара В.Л. (2016). Реконструкция трансформации видовой структуры типов растительности Турано-Уюкской котловины (юго-восточная часть Западного Саяна) под воздействием глобальных климатических изменений. В сб.: *Экосистемы Центральной Азии: исследование, сохранение, рациональное использование. Материалы XIII Международного симпозиума*. Кызыл: Изд-во ТувГУ. С. 198–202.
- Кошкарар А.Д., Кошкарара В.Л., Назимова Д.И. (2021). Многовековые климатические тренды трансформации кедровников в разных лесорастительных зонах гор западного саяна. *Сибирский лесной журнал*. № 2. С. 3–16. <https://doi.org/10.15372/SJFS20210201>
- Куликова Г.Г. (1974). Краткое пособие к ботаническому анализу торфа. М.: Изд-во МГУ. 94 с.
- Куприянов Д.А., Новенко Е.Ю. (2021). Реконструкция истории лесных пожаров в южной части Мордовского заповедника в голоцене по данным анализа макроскопических частиц угля в торфе. *Труды Мордовского государственного природного заповедника имени П.Г. Сидовича*. Вып. 3. С. 176–192.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1972). Пыльца и споры растений флоры СССР. Т. 1. Л.: Наука. 171 с.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1978). Пыльца двудольных растений флоры Европейской части СССР. *Lamiaceae, Zygophyllaceae*. Л.: Наука. 183 с.
- Мазей Ю.А., Цыганов А.Н. (2006). Пресноводные раковинные амебы. М.: Товарищество научных изданий КМК. 300 с.
- Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П., Вишнякова Е.К. (2013). Продукционно-деструкционные процессы в болотных экосистемах Васюганья. *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. Т. 4. № 1. С. 1–9. <https://doi.org/10.17816/edgcc411-9>

- Мульдьяров Е.Я., Чернова Н.А. (2003). О болотах горного массива Ергаки. В сб.: *Статьи по материалам межрегионального экологического семинара “Комплексные экологические исследования ландшафтов Сибири”*. Томск: Томский госуниверситет. С. 171–174.
- Мыглан В.С., Ойдуша О.Ч., Ваганов Е.А. (2012). Построение 2367-летней древесно-кольцевой хронологии для Алтае-Саянского региона (горный массив Монгун-Тайга). *Археология, этнография и антропология Евразии*. Т. 3. № 53. С. 76–83.
- Николаев В.А., Чернов А.Ф. (1988). Рельеф Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Наука. 204 с.
- Новенко Е.Ю. (2021). Динамика ландшафтов и климата в Центральной и Восточной Европе в голоцене — прогнозные оценки изменения природной среды. *Геоморфология*. № 3. С. 24–47.
<https://doi.org/10.31857/S0435428121030093>
- Новенко Е.Ю., Мазей Н.Г., Куприянов Д.А. и др. (2022). Изменения растительности Приенисейской Сибири в последние 4700 лет: новые палеоэкологические данные из района Игарки (Красноярский край). *Геоморфология*. Т. 53. № 3. С. 51–60.
<https://doi.org/10.31857/S0435428122030129>
- Платонов Г.М. (1964). Болота лесостепи Средней Сибири. Москва: Наука. 116 с.
- Платонов Г.М. (1965). Болота предгорий Западного Саяна. В сб.: *Особенности болотообразования в некоторых лесных и предгорных районах Сибири и Дальнего Востока*. М.: Наука. С. 35–46.
- Романов Ф.Н., Найдич Е.М. (1950). Материалы маршрутной разведки торфяного месторождения “Большое” Ирбейского района, Красноярского края (КЗ № 54): геологический отчет. Ленинград: РОСТОРФ-РАЗВЕДКА. 19 с.
- Савина Л.Н. (1976). Новейшая история лесов Западного Саяна (по данным спорово-пыльцевого анализа почв). Новосибирск: Наука. 157 с.
- Седаева М.И., Экарт А.К., Степанов Н.В. и др. (2022). Характеристика изолированных популяций *Tilia nasczokinii* Stepanov (Tiliaceae) в окрестностях Красноярска. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. №. 57. С. 28–45.
<https://doi.org/10.17223/19988591/57/2>
- Сергеев Г.М. (1971). Островные лесостепи и подтайга Приенисейской Сибири. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное изд-во. 264 с.
- Торфяные месторождения и их разведка (руководства по лабораторно-практическим занятиям). (1977). Под общ. ред. И.Ф. Ларгина. М.: Недра. 264 с.
- Фарбер С.К. (2012). Воздействие пожаров на леса Восточной Сибири. *Лесная таксация и лесоустройство*. № 1 (47). С. 131–141.
- ФГБУ “Среднесибирское УГМС” — официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.krasnoyarsk.ru/> (дата обращения: 17.02.2022).
- Флора Сибири. Т. 1. Lycopodiaceae — Hydrocharitaceae. (1988). Под ред. И.М. Красноборова. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 200 с.
- Фураев В.В. (1996). Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука. 253 с.
- Хотинский Н.А. (1977). Голоцен Северной Евразии: опыт трансконтинентальной корреляции этапов развития растительности и климата. М.: Наука. 197 с.
- Чернова Н.А. (2006). Болота хребта Ергаки (Западный Саян). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск: ТГУ. 19 с.
- Черных Д.В., Золотов Д.В., Ямских Г.Ю. и др. (2014). Новые данные о голоценовой эволюции ландшафтов в бассейне Телецкого озера. *Известия РГО*. Т. 146. № 1. С. 34–42.
- Шнитников А.В. (1957). Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. *Записки Географического общества СССР*. Т. 16. 337 с.
- Ямских Г.Ю., Гренадерова А.В., Борисова И.В. (2008). Реконструкция растительности в окрестностях озера Ойское (по данным спорово-пыльцевого анализа) в голоцене (территория Природного парка “Ергаки”). В сб.: *“Ергаки”: история и будущее: материалы краевой научно-практической конференции*. Красноярск: ИПК СФУ. С. 26–30.
- Янченко З.А. (2009). Флора сосудистых растений на северо-западе плато Путорана (окрестности озера Лама). *Ботанический журнал*. Т. 94. № 7. С. 1003–1030.
- Amesbury M.J., Mallon G., Charman D.J. et al. (2013). Statistical testing of a new testate amoeba-based transfer function for water-table depth reconstruction on ombrotrophic peatlands in north-eastern Canada and Maine, United States. *J. of Quat. Sci.* V. 28. Iss. 1. P. 27–39.
<https://doi.org/10.1002/jqs.2584>
- Amesbury M.J., Swindles G.T., Bobrov A. et al. (2016). Development of a new pan-European testate amoeba transfer function for reconstructing peatland palaeohydrology. *Quat. Sci. Rev.* V. 152. P. 132–151.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.09.024>
- Berger A., Loutre M.F. (1991). Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quat. Sci. Rev.* V. 10. Iss. 4. P. 297–317.
[https://doi.org/10.1016/0277-3791\(91\)90033-q](https://doi.org/10.1016/0277-3791(91)90033-q)
- Beug H.-J. (2004). Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. Munich: Publisher Verlag Friedrich Pfeil. 542 p.
- Blaauw M. (2010). Methods and code for “classical” age-modelling of radiocarbon sequences. *Quat. Geochronology*. V. 5. № 5. P. 512–518.
<https://doi.org/10.1016/j.quageo.2010.01.002>
- Blyakharchuk T.A., Kurina I.V. (2021). Late Holocene environmental and climatic changes in the Western Sayan Mountains based on high-resolution multiproxy data. *Boreas*. V. 50. P. 919–934.
<https://doi.org/10.1111/bor.12493>
- Borisova O.K., Panin A.V. (2019). Multicentennial Climatic Changes In The Tere-Khol Basin, Southern Siberia, During The Late Holocene. *Geography Environment Sustainability*. V. 12. № 2. P. 148–161.
<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-64>
- Chambers F.M., Beilman D.W., Yu Z. (2010). 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*. V. 7. Iss. 07. P. 1–10.

- Chernykh D.V., Zolotov D.V., Yamskikh G.Y. et al. (2014). Postglacial environmental change in the valley of Malye Chily River (the basin of Lake Teletskoye), northeastern Russian Altai. *Physical Geography*. V. 35. Iss. 5. P. 390–410.
<https://doi.org/10.1080/02723646.2014.929881>
- Churakova-Sidorova O.V., Myglan V.S., Fonti M.V. et al. (2022). Modern aridity in the Altai-Sayan mountain range derived from multiple millennial proxies. *Sci. Rep.* V. 12. № 7752.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-11299-1>
- Clark J.S. (1988). Particle Motion and the Theory of Charcoal Analysis: Source Area, Transport, Deposition, and Sampling. *Quat. Res.* V. 30. Iss. 1. P. 67–80.
[https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90088-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90088-9)
- Clark J.S., Lynch J.A., Stocks B.J. et al. (1998). Relationships between charcoal particles in air and sediments in west-central Siberia. *The Holocene*. V. 8. Iss. 1. P. 19–29.
<https://doi.org/10.1191/095968398672501165>
- Columbu A., Zhornyak L.V., Zanchetta G. (2023). A mid-Holocene stalagmite multiproxy record from southern Siberia (Krasnoyarsk, Russia) linked to the Siberian High patterns. *Quat. Sci. Rev.* V. 320. P. 108355.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108355>
- Decloitre P.L. (1979). Le genre *Centropyxis* II. *Arch. Protistenk.* V. 121. P. 162–192.
[https://doi.org/10.1016/s0003-9365\(79\)80014-7](https://doi.org/10.1016/s0003-9365(79)80014-7)
- Eichler A., Tinner W., Brüttsch S. et al. (2011). An ice-core based history of Siberian Forest fires since AD 1250. *Quat. Sci. Rev.* V. 30. № 9–10. P. 1027–1034.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.02.007>
- Grenaderova A.V., Rodionova A.B., Miteva J.S. et al. (2020). Holocene paleovegetation reconstruction of the Eastern Sayan mountain peatlands (north-west macroslope) using a multi-proxy analysis. In: *1st International IALE-Russia online conference “Landscape Science and Landscape Ecology: Considering Responses to Global Challenges”*. P. 103.
- Helama S., Jones P.D., Briffa K.R. (2017). Dark Ages Cold Period: A literature review and directions for future research. *The Holocene*. V. 27. Iss. 10. P. 1600–1606.
<https://doi.org/10.1177/0959683617693898>
- Higuera P.E. (2009). CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis: user's guide. Bozeman, MT, USA: Montana State University. 27 p.
- Kuhry P. (1997). The palaeoecology of a treed bog in western boreal Canada: a study based on microfossils, macrofossils and physico-chemical properties. *Review of Palaeobotany and Palynology*. V. 96. Iss. 1–2. P. 183–224.
[https://doi.org/10.1016/S0034-6667\(96\)00018-8](https://doi.org/10.1016/S0034-6667(96)00018-8)
- Kurina I.V., Li H. (2019). Why do testate amoeba optima related to water table depth vary? *Microb. Ecol.* V. 77. P. 37–55.
<https://doi.org/10.1007/s00248-018-1202-4>
- Kurina I.V., Li H., Barashkov D.R. (2020). Use of testate amoebae to infer paleohydrology during fen and fen-bog transition stages of ombrotrophic mire development. *J. Paleolimnol.* V. 63. P. 147–158.
<https://doi.org/10.1007/s10933-019-00107-y>
- Kurina I.V., Veretennikova E.E., Il'ina A.A. et al. (2023). Multi-proxy climate and environmental records from a Holocene eutrophic mire, southern taiga subzone, West Siberia. *Boreas*. V. 52. P. 223–239.
<http://doi.org/10.1111/bor.12604>
- MacArthur R.H. (1957). On the relative abundance of bird species. *Proc. Natl. Acad. Sci.* V. 43. № 3. P. 293–295.
<https://doi.org/10.1073/pnas.43.3.293>
- Mikhailova A.B., Grenaderova A.V., Kurina I.V. et al. (2021). Holocene vegetation and hydroclimate changes in the Kansk forest steppe, Yenisei River Basin, East Siberia. *Boreas*. V. 50. P. 948–966.
<https://doi.org/10.1111/bor.12542>
- Moberg A., Sonechkin D.M., Holmgren K. et al. (2005). Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature*. V. 433. P. 613–617.
<https://doi.org/10.1038/nature03265>
- Montoya E., Rull V., van Geel B. (2010). Non-pollen palynomorphs from surface sediments along an altitudinal transect of the Venezuelan Andes. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* V. 297. Iss. 1. P. 169–183.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.07.026>
- Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. (1991). Pollen analysis. Oxford: blackwell scientific publications. 216 p.
- Novenko E.Yu., Tsyganov A.N., Babeshko K.V. et al. (2019). Climatic moisture conditions in the north-west of the Mid-Russian Upland during the Holocene. *Geography, Environment, Sustainability*. V. 12. № 4. P. 188–202.
<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-62>
- PAGES 2k Consortium. (2013). Continental-scale temperature variability during the past two millennia. *Nat. Geosci.* V. 6. P. 339–346.
<https://doi.org/10.1038/ngeo1797>
- Payne R.J., Mitchell E. (2007). Ecology of testate amoebae from mires in the central Rhodope Mountains, Greece and development of a transfer function for palaeohydrological reconstruction. *Protist.* V. 158. Iss. 2. P. 159–171.
<https://doi.org/10.1016/j.protis.2006.11.003>
- Prager A., Theuerkauf M., Couwenberg J. et al. (2012). Pollen and non-pollen palynomorphs as tools for identifying alder carr deposits: A surface sample study from NE-Germany. *Review of Palaeobotany and Palynology*. V. 186. P. 38–57.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.07.006>
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. V. 62. Iss. 4. P. 725–757.
<https://doi.org/10.1017/rdc.2020.41>
- Revelles J., Burjachs F., van Geel B. (2016). Pollen and non-pollen palynomorphs from the Early Neolithic settlement of La Draga (Girona, Spain). *Review of Palaeobotany and Palynology*. V. 225. P. 1–20.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2015.11.001>
- Rodionova A.B., Grenaderova A.V. (2018). Peatland development and paleoclimate records from the Holocene peat archive in the foothills of the Eastern Sayan Mountains. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. V. 138. P. 012014.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012014>

- Shumilovskikh L.S., Schlütz F., Achterberg I. et al. (2015). Non-Pollen Palynomorphs from Mid-Holocene Peat of the Raised Bog Borsteler Moor (Lower Saxony, Germany). *Studia Quaternaria*. V. 32. № 1. P. 5–18. <https://doi.org/10.1515/squa-2015-0001>
- Shumilovskikh L.S., van Geel B. (2020). Non-pollen palynomorphs. Henry A.G. (Ed.). In: *Handbook for the Analysis of MicroParticles in Archaeological Samples*. P. 65–94. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42622-4_4
- Solomina O., Haeberli W., Kull C. et al. (2008). Historical and Holocene glacier–climate variations: General concepts and overview. *Global and Planetary Change*. V. 60. № 1–2. P. 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.02.001>
- Tarasov P.E., Guiot J., Volkova V.S. (2000). Last glacial maximum biomes reconstructed from pollen and plant macrofossil data from northern Eurasia. *J. of biogeography*. V. 27. № 3. P. 609–620.
- Van Geel B. (1978). A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology*. V. 25. Iss. 1. P. 1–120. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(78\)90040-4](https://doi.org/10.1016/0034-6667(78)90040-4)
- Van Geel B., Hallewas D.P., Pals J.P. (1983). A late holocene deposit under the Westfriesse Zeedijk near Enkhuizen (Prov. of Noord-Holland, The Netherlands): Palaeoecological and archaeological aspects. *Review of Palaeobotany and Palynology*. V. 38. Iss. 3–4. P. 269–335. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(83\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0034-6667(83)90026-X)
- Wanner H., Beer J., Butikofer J. et al. (2008). Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quat. Sci. Rev.* V. 27. Iss. 19–20. P. 1791–1828. <http://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013>
- Zakh V.A., Ryabogina N.E., Chlachula J. (2010). Climate and environmental dynamics of the mid- to late Holocene settlement in the Tobol-Ishim forest-steppe region, West Siberia. *Quat. Int.* V. 220. Iss. 1–2. P. 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.09.010>

THE VEGETATION COVER RESPONSE IN THE EASTERN SAYAN FOOTHILLS TO THE HOLOCENE CLIMATE EXTREMES (THE BOLSHOYE PEAT BOG CASE STUDY)¹

A. V. Grenaderova^{1, #}, A. B. Mikhailova¹, I. V. Kurina², and O. V. Podobueva¹

¹Siberian Federal University, Institute of Ecology and Geography, Krasnoyarsk, Russia

²Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the RAS, Tomsk, Russia

E-mail: grenaderova-anna@mail.ru

Article provides the results of palaeoecological reconstruction of vegetation cover changes and climatic conditions at the foot of the Eastern Sayan northwestern macroslope over the past 6600 years. The results are based on radiocarbon AMS dating, pollen, macrofossils, NPP, macrocharcoal and testate amoebae analyses of peat deposits from Bolshoe bog situated on the Yenisei River right bank. It was established that the waterlogging process was initiated by the pyrogenic factor. During the last approximately 6000 cal. a BP dark coniferous forests with a dominant position of *Pinus sibirica* were common in the foothills. The change in climatic conditions towards decreased moisture availability 4050–3600 cal. a BP contributed to the lower border of dark conifers rise and the strengthening of forest-steppe communities with *Betula* sect. *Albae*. This period is characterized by the most dramatic transformations. Less prolonged periods of forest lightening occurred in 3170–3080, 1850–1720, 490–400 and 310–220 cal. a BP, when the taiga and cold deciduous forest biomes were of almost equal importance. The most significant expansion of the dark conifers range began 1600 cal. a BP and reached a maximum 1350–1230 cal. a BP, which can be correlated with Dark Ages Cold Period. Based on the macrocharcoal analysis results six stages of increased fire activity were identified: 6500–6300, 4300–3600 (includes 4 fire episodes, characterized by the shortest fire intervals), 3400–2800, 1800–1550, 1200–1000, and from 150 cal. a BP to present. Based on a multi-proxy analysis, periods of increased moisture were established: 6300–5320, 4700–4200, 3080–2900, 2820–2390, 1720–1230, 400–310 and 130–70 cal. a BP. The decreased moisture was characteristic of the intervals 5320–4960, 4050–3600, 2390–2220, 1000–700 cal. a BP.

Keywords: Yenisei River basin, peat bog, pollen, biomes, macrocharcoal, testate amoebae, reconstruction of environmental conditions

¹For citation: Grenaderova A.V., Mikhailova A.B., Kurina I.V., Podobueva O.V. (2024). The vegetation cover response in the Eastern Sayan Foothills to the Holocene climate extremes (the Bolshoye Peat Bog case study). *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. V. 55. № 4. P. 157–176. <https://doi.org/10.31857/S2949178924040107>; <https://elibrary.ru/FFOAEY>

ACKNOWLEDGMENTS

The study was funded by the Russian Science Foundation, project № 23-27-00341, <https://rscf.ru/project/23-27-00341/>.

REFERENCES

- Amesbury M.J., Mallon G., Charman D.J. et al. (2013). Statistical testing of a new testate amoeba-based transfer function for water-table depth reconstruction on ombrotrophic peatlands in north-eastern Canada and Maine, United States. *J. of Quat. Sci.* V. 28. Iss. 1. P. 27–39. <https://doi.org/10.1002/jqs.2584>
- Amesbury M.J., Swindles G.T., Bobrov A. et al. (2016). Development of a new pan-European testate amoeba transfer function for reconstructing peatland palaeohydrology. *Quat. Sci. Rev.* V. 152. P. 132–151. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.09.024>
- Antipova E.M. (2003). Flora severnyh lesostepei Srednei Sibiri (Flora of the northern forest-steppes of Central Siberia). Krasnoyarsk: RIO KGPU (Publ.). 464 p. (in Russ.).
- Arzhannikov S.G., Gladkov A.S., Semenov R.M. (2004). Late Quaternary geodynamics and tectonic activity within the fault system (southwestern Siberian Platform). *Geol. Geofiz.* V. 45. № 4. P. 430–442. (in Russ.).
- Berger A., Loutre M.F. (1991). Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quat. Sci. Rev.* V. 10. Iss. 4. P. 297–317. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(91\)90033-q](https://doi.org/10.1016/0277-3791(91)90033-q)
- Berzin N.A. (1967). Zona Glavnogo razloma Vostochnogo Sayana (Eastern Sayan Main Fault Zone). Moscow: Nauka (Publ.). 147 p. (in Russ.).
- Beug H.-J. (2004). Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. Munich: Publisher Verlag Friedrich Pfeil. 542 p.
- Bezrukova E.V., Vershinin K.E., Letunova P.P. et al. (2004). Vegetation of the highlands of the Eastern Sayan in the late Holocene according to the study of peat deposits. *Botanicheskii Zhurnal.* № 2. P. 221–232. (in Russ.).
- Bezrukova E.V., Kulagina N.V., Volchatova E.V. et al. (2021). Postglacial Vegetation and Climate History of the Oka Plateau (East Sayan Mountains, South Siberia). *Doklady Earth Sciences.* V. 496. № 2. P. 182–184. <https://doi.org/10.1134/S1028334X21020045>
- Bezrukova E.V., Kulagina N.V., Reshetova S.A. et al. (2022). Environment of the Oka Plateau (East Sayan Mountains) in the Late Glacial and Holocene: a Case Study of a Complex Record From the Lake Khikushka Sediments. *Geomorfologiya.* V. 53. № 3. P. 61–73. <https://doi.org/10.31857/S043542812203004X> (in Russ.).
- Blaauw M. (2010) Methods and code for “classical” age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology.* V. 5. № 5. P. 512–518. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2010.01.002>
- Blyakharchuk T.A. (2011). Change of vegetation and climate of Western Sayan mountains and its interconnection with development of archeological cultures of area during second half of the holocene according to spore-pollen data of peat deposits. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta.* № 351. P. 145–151. (in Russ.)
- Blyakharchuk T.A., Kurina I.V. (2021). Late Holocene environmental and climatic changes in the Western Sayan Mountains based on high-resolution multiproxy data. *Boreas.* V. 50. P. 919–934. <https://doi.org/10.1111/bor.12493>
- Blyakharchuk T.A., Pupysheva M.A. (2022). Dynamics of Vegetation and Fires in Gornaya Shoriya (Northern Altai Mountains) in the Late Holocene According to Palynological and Charcoal Research into the Maly Labysh Mire. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal.* V. 29. № 2. P. 133–146. (in Russ.) <https://doi.org/10.15372/SEJ20220202>
- Borisova O.K., Panin A.V. (2019). Multicentennial Climatic Changes In The Tere-Khol Basin, Southern Siberia, During The Late Holocene. *Geography Environment Sustainability.* V. 12. № 2. P. 148–161. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-64>
- Chambers F.M., Beilman D.W., Yu Z. (2010). 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.* V. 7. Iss. 07. P. 1–10.
- Chernova N.A. (2006). Bolota khrebt Ergaki (Zapadnyi Sayan) (Swamps of the Ergaki ridge (Western Sayan)). PhD thesis. Tomsk: TSU (Publ.). 19 p. (in Russ.).
- Chernykh D.V., Zolotov D.V., Yamskikh G.Y. et al. (2014). Postglacial environmental change in the valley of Malye Chily River (the basin of Lake Teletskoye), northeastern Russian Altai. *Physical Geography.* V. 35. Iss. 5. P. 390–410. <https://doi.org/10.1080/02723646.2014.929881>
- Chernykh D.V., Zolotov D.V., Yamskikh G.Yu. et al. (2014). New data on the Holocene evolution of landscapes in the Lake Teletskoye basin. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva.* V. 146. Iss. 1. P. 34–42. (in Russ.).
- Churakova-Sidorova O.V., Myglan V.S., Fonti M.V. et al. (2022). Modern aridity in the Altai-Sayan mountain range derived from multiple millennial proxies. *Sci. Rep.* V. 12. № 7752. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11299-1>
- Clark J.S. (1988). Particle Motion and the Theory of Charcoal Analysis: Source Area, Transport, Deposition, and Sampling. *Quat. Res.* V. 30. Iss. 1. P. 67–80. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90088-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90088-9)
- Clark J.S., Lynch J.A., Stocks B.J. et al. (1998). Relationships between charcoal particles in air and sediments in west-central Siberia. *The Holocene.* V. 8. Iss. 1. P. 19–29. <https://doi.org/10.1191/095968398672501165>
- Columbu A., Zhornyak L.V., Zanchetta G. (2023). A mid-Holocene stalagmite multiproxy record from southern Siberia (Krasnoyarsk, Russia) linked to the Siberian High patterns. *Quat. Sci. Rev.* V. 320. P. 108355. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108355>
- Decloitre P.L. (1979). Le genre *Centropyxis* II. *Arch. Protistenk.* V. 121. P. 162–192. [https://doi.org/10.1016/s0003-9365\(79\)80014-7](https://doi.org/10.1016/s0003-9365(79)80014-7)
- Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2021 god (Report on climate features in the Russian Federation for 2021) (2022) Moscow: Roshydromet (Publ.). 104 p. (in Russ.)

- Dombrovskaya A.V., Koreneva M.M., Turemnov S.N. (1959). Atlas rastitel'nykh ostatkov, vstrechajushihся в торфе (Atlas of plant residues found in peat). Moscow-Leningrad: Gosjenergoizdat (Publ.). 137 p. (in Russ.)
- Dyakonov K.N., Novenko E.Yu., Mazei N.G. et al. (2020). The Age of Peatlands and Peatland Formation Stages in Polesie Landscapes of the East European Plain. *Doklady Earth Sciences*. V. 492. P. 464–470. <https://doi.org/10.1134/S1028334X20060069> (in Russ.).
- Eichler A., Tinner W., Brüttsch S. et al. (2011). An ice-core based history of Siberian Forest fires since AD 1250. *Quat. Sci. Rev.* V. 30. № 9–10. P. 1027–1034. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.02.007>
- Farber S.K. (2012). Impact of fires on forests in Eastern Siberia. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo*. № 1 (47). P. 131–141. (in Russ.)
- FSBI “Central Siberian UGMS” – official site [Electronic data]. Access way: <http://meteo.krasnoyarsk.ru/> (access date: 17.02.2022).
- Furyaev V.V. (1996). Rol' pozharov v protsesse lesoobrazovaniya (The role of fires in the process of forest formation). Novosibirsk: Nauka (Publ.). 253 p. (in Russ.)
- Geltser Yu.G., Korganova G.A., Alekseev D.A. (1985). Prakticheskoe rukovodstvo po identifikatsii pochvennykh testatsii (A Practical Guide to Soil Test Identification). Moscow: MGU (Publ.). 84 p. (in Russ.)
- GOST 11306-2013. (2019). Torf i produkty ego pererabotki. Metody opredeleniya zol'nosti (Peat and products of its processing. Methods for determination of ash content). Moscow: Standartinform (Publ.). 6 p. (in Russ.)
- Grenaderova A.V., Mandryka P.V., Wang Xiaokun et al. (2021). Comprehensive Archaeological and Palaeoecological Studies of the Holocene Chronosequence in the Southern Taiga of the Middle Yenisei. *Stratumpus. Arkheologiya i kul'turnaya antropologiya*. № 6. P. 299–313. <https://doi.org/10.55086/sp216299313> (in Russ.)
- Grenaderova A.V., Rodionova A.B., Miteva J.S. et al. (2020). Holocene paleovegetation reconstruction of the Eastern Sayan mountain peatlands (north-west macroslope) using a multi-proxy analysis. In: *1st International IALE-Russia online conference “Landscape Science and Landscape Ecology: Considering Responses to Global Challenges”*. P. 103.
- Grenaderova A.V., Sharaphutdinov R.A. (2005). Rekonstruktsiya ekologicheskikh uslovii pozdnego golotsena v doline r. Oya (Reconstruction of palaeoecological conditions in the valley of Oya river in late Holocene). In: *Gornye ekosistemy Juzhnoi Sibiri: izuchenie, okhrana i ratsional'noe prirodoopol'zovanie: materialy I mezhregional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashhennoi 5-letiyu organizatsii Tigirenskogo zapovednika. Trudy GPZ “Tigirenskii”*. V. 1. Barnaul: Altaiskie stranitsy (Publ.). P. 141–146. (in Russ.)
- Grichuk V.P., Zaklinskaya E.D. (1948). Analiz iskopaemykh pyl'tsy i spor i ego primenenie v paleogeografii (Analysis of fossil pollen and spores and its application to paleogeography). Moscow: Geografiz (Publ.). 224 p. (in Russ.)
- Helama S., Jones P.D., Briffa K.R. (2017). Dark Ages Cold Period: A literature review and directions for future research. *The Holocene*. V. 27. Iss. 10. P. 1600–1606. <https://doi.org/10.1177/0959683617693898>
- Higuera P.E. (2009). CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis: user's guide. Bozeman, MT, USA: Montana State University. 27 p.
- Ivanov K.E. (1975). Vodoobmen v bolotnykh landshtakh (Water exchange in swamp landscapes). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.). 280 p. (in Russ.)
- Kac N.Ja., Kac S.V., Skobeeva E.I. (1977). Atlas rastitel'nykh ostatkov v torfah (Atlas of plant residues in peats). Moscow: Nedra (Publ.). 371 p. (in Russ.)
- Kanitskaya L.V. (2013). Lesnaya pirologiya (Forest pyrology). Irkutsk: BSU (Publ.). 206 p. (in Russ.)
- Khotinsky N.A. (1977). Golotsen Severnoi Evrazii: opyt transkontinental'noi korrelyatsii etapov razvitiya rastitel'nosti i klimata (Holocene of Northern Eurasia: Experience of transcontinental correlation of stages of development of vegetation and climate). Moscow: Nauka (Publ.). 197 p. (in Russ.)
- Korotkov I.A. (1994). Lesorastitel'noe raionirovanie Rossii i respublik byvshego SSSR (Forest zoning of Russia and the republics of the former USSR). In: *Uglerod v ekosistemakh lesov i bolot Rossii*. Krasnoyarsk: Computing Center SO RAN (Publ.). P. 29–47. (in Russ.)
- Koshkarov A.D., Koshkarova V.L. (2016). Reconstruction of the transformation of the species structure of vegetation types in the Turan-Uyuk depression (south-eastern part of the Western Sayan) under the influence of global climate change. In: *Ekosistemy Tsentral'noi Azii: issledovanie, sokhranenie, ratsional'noe ispol'zovanie. Materialy XIII Mezhdunarodnogo simpoziuma*. Kyzyl: TuvSU (Publ.). P. 198–202. (in Russ.)
- Koshkarov A.D., Koshkarova V.L., Nazimova D.I. (2021). Centuries-old climatic trends of transformation of the siberian stone pine forests in different forest vegetation zones of the Western Sayan Mountains. *Sibirskii lesnoi zhurnal*. № 2. P. 3–16. (in Russ.). <https://doi.org/10.15372/SJFS20210201>
- Kozhevnikov Yu.P. (1986). Sosudistye rasteniya (Vascular plants). In: *Gornye fitotsenoticheskie sistemy Subarktika*. Leningrad: Nauka (Publ.). P. 45–76. (in Russ.)
- Krasnoborov I.M. (Ed.). (1988). Flora Sibiri. Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae (Flora of Siberia. Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae). Novosibirsk: Nauka. Sib. Otdelenie (Publ.). 200 p. (in Russ.)
- Kuhry P. (1997). The palaeoecology of a treed bog in western boreal Canada: a study based on microfossils, macrofossils and physico-chemical properties. *Review of Palaeobotany and Palynology*. V. 96. Iss. 1–2. P. 183–224. [https://doi.org/10.1016/S0034-6667\(96\)00018-8](https://doi.org/10.1016/S0034-6667(96)00018-8)
- Kulikova G.G. (1974). Kratkoe posobie k botanicheskomu analizu torfa (A short guide to botanical analysis of peat). Moscow: MSU (Publ.). 94 p. (in Russ.)
- Kupriyanov D.A., Novenko E.Yu. (2021). Reconstruction of the Holocene forest fires history in the southern part of the Mordovian state natural reserve based on the

- macroacharcoal analysis of the peat. *Proceedings of the Mordovia State Nature Reserve*. Vol. 3. P. 176–192. (in Russ.)
- Kuprijanova L.A., Aleshina L.A. (1972). Pyl'tsa i spory rastenii flory SSSR (Pollen and spores of plants of the flora of the USSR). V. 1. Leningrad: Nauka (Publ.). 171 p. (in Russ.)
- Kuprijanova L.A., Aleshina L.A. (1978). Pyl'ca dvudol'nykh rastenii flory Evropeiskoi chasti SSSR. Lamiaceae, Zygophyllaceae (Pollen of dicotyledonous plants of the flora of the European part of the USSR. Lamiaceae, Zygophyllaceae). Leningrad: Nauka (Publ.). 183 p. (in Russ.)
- Kurina I.V., Li H. (2019). Why do testate amoeba optima related to water table depth vary? *Microb. Ecol.* V. 77. P. 37–55.
<https://doi.org/10.1007/s00248-018-1202-4>
- Kurina I.V., Li H., Barashkov D.R. (2020). Use of testate amoebae to infer paleohydrology during fen and fen-bog transition stages of ombrotrophic mire development. *J. Paleolimnol.* V. 63. P. 147–158.
<https://doi.org/10.1007/s10933-019-00107-y>
- Kurina I.V., Veretennikova E.E., Il'ina A.A. et al. (2023). Multi-proxy climate and environmental records from a Holocene eutrophic mire, southern taiga subzone, West Siberia. *Boreas*. V. 52. P. 223–239.
<http://doi.org/10.1111/bor.12604>
- Largin I.F. (Ed.). (1977). Torfyanye mestorozhdeniya i ikh razvedka (rukovodstva po laboratorno-prakticheskim zanyatiyam) (Peat deposits and their exploration (guides for laboratory and practical exercises)). Moscow: Nedra (Publ.). 264 p. (in Russ.)
- MacArthur R.H. (1957). On the relative abundance of bird species. *Proc. Natl. Acad. Sci.* V. 43. № 3. P. 293–295.
<https://doi.org/10.1073/pnas.43.3.293>
- Mazei Yu.A., Tsyganov A.N. (2006). Presnovodnye rakoviny ameby (Freshwater testate amoebas). Moscow: Tovarischestvo nauchnykh izdaniy KMK (Publ.). 300 p. (in Russ.)
- Mikhailova A.B., Grenaderova A.V., Kurina I.V. et al. (2021). Holocene vegetation and hydroclimate changes in the Kansk forest steppe, Yenisei River Basin, East Siberia. *Boreas*. V. 50. P. 948–966.
<https://doi.org/10.1111/bor.12542>
- Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnykova E.K. (2013). Production and destruction processes in peatland ecosystems of Vasyugan region. *Dinamika okruzhayushchei sredy i global'nye izmeneniya klimata*. V. 4. № 1. P. 1–9. (in Russ.).
<https://doi.org/10.17816/edgcc411-9>
- Moberg A., Sonechkin D.M., Holmgren K. et al. (2005). Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature*. V. 433. P. 613–617.
<https://doi.org/10.1038/nature03265>
- Montoya E., Rull V., van Geel B. (2010). Non-pollen palynomorphs from surface sediments along an altitudinal transect of the Venezuelan Andes. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* V. 297. Iss. 1. P. 169–183.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.07.026>
- Moore P.D., Webb J.A., Collinsom M.E. (1991). Pollen analysis. Oxford: blackwell scientific publications. 216 p.
- Muldiyarov E.Ya., Chernova N.A. (2003). O bolotakh gornogo massiva Ergaki (About the swamps of the Ergaki mountain range). In: *Stat'i po materialam mezhr regional'nogo ekologicheskogo seminar "Kompleksnye ekologicheskie issledovaniya landshaftov Sibiri"*. Tomsk: Tomskii gosudarstvennyi universitet (Publ.). P. 171–174. (in Russ.).
- Myglan V.S., Oidupaa O.Ch., Vaganov E.A. (2012). A 2367-Year Tree-Ring Chronology for the Altai–Sayan Region (Mongun-Taiga Mountain Massif). *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii*. V. 3. № 53. P. 76–83. (in Russ.).
<https://doi.org/10.1016/j.aecae.2012.11.009>
- Nikolaev V.A., Chernov A.F. (1988). Rel'ef Altae-Sayanskoi gornoj oblasti (Relief of the Altai-Sayan mountain region). Novosibirsk: Nauka (Publ.). 204 p. (in Russ.)
- Novenko E.Yu., Tsyganov A.N., Babeshko K.V. et al. (2019). Climatic moisture conditions in the north-west of the Mid-Russian Upland during the Holocene. *Geography, Environment, Sustainability*. V. 12. № 4. P. 188–202.
<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-62>
- Novenko E.Yu. (2021). Landscape and climate dynamics in Central and Eastern Europe during the Holocene – assessment of future environmental changes. *Geomorfologiya*. V. 52. № 3. P. 24–47. (in Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S0435428121030093>
- Novenko E.Yu., Mazei N.G., Kuprijanov D.A. et al. (2022). Vegetation changes in Yenisei Siberia over the last 4700 years: new palaeoecological data from Igarka area; Krasnoyarsk Region. *Geomorfologiya*. V. 53. № 3. P. 51–60. (in Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S0435428122030129>
- PAGES 2k Consortium. (2013). Continental-scale temperature variability during the past two millennia. *Nat. Geosci.* V. 6. P. 339–346.
<https://doi.org/10.1038/ngeo1797>
- Payne R.J., Mitchell E. (2007). Ecology of testate amoebae from mires in the central Rhodope Mountains, Greece and development of a transfer function for palaeohydrological reconstruction. *Protist*. V. 158. Iss. 2. P. 159–171.
<https://doi.org/10.1016/j.protis.2006.11.003>
- Platonov G.M. (1964). Bolota lesostepi Srednei Sibiri (Forest-steppe swamps of Central Siberia). Moscow: Nauka (Publ.). 116 p. (in Russ.).
- Platonov G.M. (1965). Bolota predgorii Zapadnogo Sayana (Swamps of the foothills of the Western Sayan). In: *Osobennosti bolotoobrazovaniya v nekotorykh lesnykh i predgornykh raionakh Sibiri i Dal'nego Vostoka*. Moscow: Nauka (Publ.). P. 35–46. (in Russ.)
- Prager A., Theuerkauf M., Couwenberg J. et al. (2012). Pollen and non-pollen palynomorphs as tools for identifying alder carr deposits: A surface sample study from NE-Germany. *Review of Palaeobotany and Palynology*. V. 186. P. 38–57.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.07.006>
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. V. 62. Iss. 4. P. 725–757.
<https://doi.org/10.1017/rdc.2020.41>

- Revelles J., Burjachs F., van Geel B. (2016). Pollen and non-pollen palynomorphs from the Early Neolithic settlement of La Draga (Girona, Spain). *Review of Palaeobotany and Palynology*. V. 225. P. 1–20.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2015.11.001>
- Rodionova A.B., Grenaderova A.V. (2018). Peatland development and paleoclimate records from the Holocene peat archive in the foothills of the Eastern Sayan Mountains. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. V. 138. 012014.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012014>
- Romanov F.N., Naidich E.M. (1950). Materialy marshrutnoi razvedki torfyanogo mestorozhdeniya “Bolshoye” Irbeiskogo raiona, Krasnoyarskogo kraya (KZ No 54): geologicheskii otchet (Materials of route exploration of the “Bolshoye” peat deposit, Irbeysky district, Krasnoyarsk region (KZ No 54): geological report). Leningrad: ROSTORFRAZVEDKA (Publ.). 19 p. (in Russ.)
- Savina L.N. (1976). Noveishaya istoriya lesov Zapadnogo Sayana (po dannym sporovo-pyl'tsevoogo analiza pochy) [Recent history of the forests of Western Sayan (according to spore-pollen analysis of soils)]. Novosibirsk: Nauka (Publ.). 157 p. (in Russ.)
- Sedaeva M.I., Ekart A.K., Stepanov N.V. et al. (2022). Characteristics of isolated *Tilia nasczokinii* Stepanov (*Tiliaceae*) populations near Krasnoyarsk. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. № 57. P. 28–45.
<https://doi.org/10.17223/19988591/57/2> (in Russ.).
- Sergeev G.M. (1971). O strovniy lesostepi i podtaiga Prieniseiskoi Sibiri (Island forest-steppes and sub-boreal forests of the Yenisei Siberia). Irkutsk: Vostochno-Sibirskoe knizhnoe izdatel'stvo (Publ.). 264 p. (in Russ.)
- Shnitnikov A.V. (1957). Variability of the general humidity of the continents of the Northern Hemisphere. *Zapiski Geograficheskogo obshchestva SSSR*. V. 16. 337 p. (in Russ.)
- Shumilovskikh L.S., Schlütz F., Achterberg I. et al. (2015). Non-Pollen Palynomorphs from Mid-Holocene Peat of the Raised Bog Borsteler Moor (Lower Saxony, Germany). *Studia Quaternaria*. V. 32. № 1. P. 5–18.
<https://doi.org/10.1515/squa-2015-0001>
- Shumilovskikh L.S., van Geel B. (2020). Non-pollen palynomorphs. Henry A.G. (Ed.). In: *Handbook for the Analysis of MicroParticles in Archaeological Samples*. P. 65–94.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-42622-4_4
- Solomina O., Haeberli W., Kull C. et al. (2008). Historical and Holocene glacier–climate variations: General concepts and overview. *Global and Planetary Change*. V. 60. № 1–2. P. 1–9.
<http://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.02.001>
- Tarasov P.E., Guiot J., Volkova V.S. (2000). Last glacial maximum biomes reconstructed from pollen and plant macrofossil data from northern Eurasia. *J. of biogeography*. V. 27. № 3. P. 609–620.
- Van Geel B. (1978). A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology*. V. 25. Iss. 1. P. 1–120.
[https://doi.org/10.1016/0034-6667\(78\)90040-4](https://doi.org/10.1016/0034-6667(78)90040-4)
- Van Geel B., Hallewas D.P., Pals J.P. (1983). A late holocene deposit under the Westfriese Zeedijk near Enkhuizen (Prov. of Noord-Holland, The Netherlands): Palaeoecological and archaeological aspects. *Review of Palaeobotany and Palynology*. V. 38. Iss. 3–4. P. 269–335.
[https://doi.org/10.1016/0034-6667\(83\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0034-6667(83)90026-X)
- Wanner H., Beer J., Butikofer J. et al. (2008). Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quat. Sci. Rev.* V. 27. Iss. 19–20. P. 1791–1828.
<http://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013>
- Yamskikh G.Y., Grenaderova A.V., Borisova I.V. (2008). Rekonstruktsiya rastitel'nosti v okrestnostyakh ozera Oiskoe (po dannym sporovo-pyl'tsevoogo analiza) v golotsene (territoriya Prirodnogo parka “Ergaki”) (Reconstruction of vegetation in the vicinity of Lake Oyskoe (territory of the Ergaki natural park)). In: “*Ergaki*” istoriya i budushchee: materialy kraevoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Krasnoyarsk: SFU. P. 26–30. (in Russ.)
- Yanchenko Z.A. (2009). Flora sosudistyykh rastenii na severozapade plato Putorana (okrestnosti ozera Lama) (Flora of vascular plants in the northwest of the Putorana Plateau (visibility of Lama Lake)). *Botanicheskii zhurnal*. V. 94. № 7. P. 1003–1030. (in Russ.)
- Zakh V.A., Ryabogina N.E., Chlachula J. (2010). Climate and environmental dynamics of the mid- to late Holocene settlement in the Tobol-Ishim forest-steppe region, West Siberia. *Quat. Int.* V. 220. Iss. 1–2. P. 95–101.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.09.010>