

ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГОЛОЦЕНА  
В ПРЕДГОРЬЕ ВОСТОЧНОГО САЯНА  
(ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ  
ОТЛОЖЕНИЙ БОЛОТА СОСНОВКА)<sup>#</sup>

© 2025 г. А. В. Гренадерова<sup>1,\*</sup>, А. Б. Михайлова<sup>1</sup>, Р. А. Шарафутдинов<sup>1</sup>, Т. Г. Стойко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт экологии и географии Сибирского федерального университета, Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Педагогический институт Пензенского государственного университета имени В.Г. Белинского, Пенза, Россия

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

Поступила в редакцию 23.09.2024 г.

После доработки 27.03.2025 г.

Принята к публикации 15.04.2025 г.

Исследование посвящено изучению динамики растительности, гидроклиматических условий и пожаров в предгорье северо-западного макросклона Восточного Саяна. Приводятся результаты палео-экологической реконструкции, полученной на основе AMS датирования, спорово-пыльцевого, ботанического, палеоантракологического и малакофаунистического анализа отложений болота Сосновка (правобережье р. Енисей, южная часть Рыбинской впадины), охватывающие последние  $\approx 11.0$  тысяч календарных лет. Определен гранулометрический состав подстилающих торф минеральных отложений, минералы различных размерных фракций изучены методом сканирующей электронной микроскопии. Процесс заболачивания в пойме реки Кан начался  $\approx 9.7$ –8.5 тыс. кал.л.н. в оптимум теплого и влагообеспеченности, когда суходолы были покрыты смешанным кедрово-елово-пихтовым лесом с максимальным участием ели и пихты. В строении разреза Сосновка отчетливо проявилась реакция на термический оптимум голоцене (7.5–6.0 тыс.л.н.): сокращение участия ели и пихты в составе древостоя, усиление пожарной активности, осветление лесов, начало заболачивания в долинах рек с водосборами в предгорье западной части Восточного Саяна. Периоды снижения теплообеспеченности и увеличения влажности пришли на 5.5–5.2, 3.6–3.0, 2.3–2.0, 1.8–1.3 тыс. кал.л.н., что, в том числе, повлияло на расширение ареала темнохвойных лесов, с наиболее значительным откликом в интервале 1.4–1.3 тыс. кал.л.н. Изменения климатических условий в сторону аридизации и усиления континентальности 7.5–6.0, 3.8–3.6 и 2.0–1.8 тыс. кал.л.н. способствовали подъему нижней границы темнохвойных лесов, усилиению пожарной активности. Последние 800 лет характеризуются усилением континентальности, расширением лесов с участием *Pinus sylvestris*, и максимально высокой пожарной активностью (в последние 100 лет скорость аккумуляции макроскопических частиц угля составила 80 частиц/см<sup>2</sup> в год).

**Ключевые слова:** реконструкция растительности и климата; торфяные отложения; моллюски; пожары; экотон лесостепь–тайга; голоцен

**DOI:** 10.31857/S2949178925030052

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остро стоит проблема изучения отклика природных систем на глобальное изменение климата. Особый интерес представляет понимание тенденций развития лесных сообществ в ответ на изменение тепло- и влагообеспечен-

ности, в том числе адаптации к условиям иссушения климата и восстановления после воздействия пожаров. На сегодняшний день в пределах Алтая-Саянского региона в меньшей степени изучены палеоэкологические условия в западной части Восточного Саяна, особенно мало информации о раннеголоценовых условиях, начало которых, согласно Stratigraphicому кодексу России (2019), приходится на  $\sim 11.7$  тыс. кал.л.н., что соответствует 10.3 тыс. <sup>14</sup>C л.н. (Кинд, 1974; Хотинский, 1977; Воробьева, 2010; Борисова, 2014). Проследить характер становления и последующее развитие послеледниковых ландшафтов в предгорье Восточного Саяна в экотоне лесо-

<sup>#</sup>Ссылка для цитирования: Гренадерова А.В., Михайлова А.Б., Шарафутдинов Р.А., Стойко Т.Г. (2025) Ландшафтно-климатические условия голоцена в предгорье Восточного Саяна (по данным комплексного изучения отложений болота Сосновка). *Геоморфология и палеогеография*. Т. 56. № 3. С. 418–441. <https://doi.org/10.31857/S2949178925030052>

степь — тайга представляется возможным на основе анализа палеосигналов различной природы (остатки растений, животных, частицы угля, минералогический, гранулометрический и химический состав), фиксируемых при изучении аллювиальных и болотных отложений, в том числе в пределах островных лесостепей (Красноярской и Канской) в предгорье Восточного Саяна.

Цель настоящего исследования заключается в установлении регионального отклика ландшафтов южной части Рыбинской впадины на масштабные изменения климата в голоцене. Эта цель реализуется на основе комплексного палеоэкологического анализа отложений болота Сосновка в долине р. Кан.

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемый болотный массив располагается в южной части Рыбинской впадины — самой крайней северо-восточной межгорной впадины Саяно-Алтайской складчатой области — в перигородной области Восточного Саяна и Сибирской платформы (Николаев, Чернов, 1988; Золотарев, 1989). 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). Новейшая тектоническая активность территории велика, все структуры ограничены тектоническими уступами разной высоты и подчинены постоянно живущим глубинным и региональным разломам, являются сейсмичными зонами по настоящее время (Государственная ..., 2008).

В геологическом строении исследуемого участка принимают участие породы верхнего девона, относящиеся к кунгусской свите, верхнекунгусской подсвите ( $D_3kn_3$ ), которая представлена алевролитами пестроцветными известковистыми с прослойями песчаников, известняков, известняковых гравелитов и конгломератов, перекрыты голоценовыми аллювиальными, а также озерными и палюстринными (болотными) отложениями (Карта полезных ископаемых, 1999).

Известно, что новейшая тектоническая активность исследуемой территории велика (Государственная ..., 2008), Канская система разломов способна генерировать землетрясения с  $M=8$  (Аржанников и др., 2004), а за голоценовый период в пределах Восточно-Саянской палеосейсмодислокации выявлено шесть сильнейших землетрясений, происходивших менее 400, ~600, ~1800,

~4700, ~7600 и ~9800 л.н. (Чипизубов, Смекалин, 1999).

Рельеф Рыбинской впадины равнинный, слабо всхолмленный, с абс. высотами до 400–550 м (Юркин, 1968), на исследуемом участке сформирован речной, озерно-речной аккумуляцией. Повышенная заболоченность района (до 25%) (Платонов, 1964) обусловлена особенностями физико-географического положения: 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; 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).

Болото Сосновка (рис. 1) находится в долине р. Кан — крупного правобережного притока р. Енисей. Бассейн Кана отличается малой густотой водотоков ( $0.44 \text{ км}/\text{км}^2$ ) при значительном уклоне основного русла (7.5 м/км). Верховье реки расположено в районе Манско-Канских низких гор на северных склонах горного массива Канское Белогорье, 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 среднем течении при выходе в Рыбинскую впадину долина р. Кан достигает ширины 6–9 км, русло сильно меандрирует, в пойме много озер и стариц (Сергеев, 1977). Современный растительный покров в южной части Канской лесостепи представлен редколесьем из сосны обыкновенной и лиственницы сибирской на северных склонах и в понижениях и естественными степными сообществами на возвышенностях. Заболоченные березово-еловые леса с зеленым мхом распространены по долинам рек (Антилова, 2003).

По данным метеостанции “Ирбейское”, которая находится на расстоянии 10 км на запад от болота Сосновка, количество атмосферных осадков в среднем составляет 450 мм в год. Средняя температура января  $-16.7^\circ\text{C}$ , июля  $+19.6^\circ\text{C}$  (ФГБУ “Среднесибирское УГМС”, 2022).

## 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Болото Сосновка располагается неширокой полосой на правобережье р. Кан (рис. 1), ниже по течению от с. Ирбейское (административный центр Ирбейского района Красноярского края).

Современный растительный покров на болоте представлен в большей степени лесными сообществами. Древесный ярус делится на два подъяруса. Первый представлен лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), сомкнутость 25–30%, высота древостоя 15–20 м. Второй подъярус сложен сосной (*Pinus sylvestris* L.), березой (*Betula pendula* Roth.) и елью (*Picea obovata* Ledeb.) примерно в равных пропорциях. Общая сомкнутость крон не более 10–20%, высота древостоя 5–12 м. В подросте преобладает лиственница, среди кустарников отмечены смородина черная (*Ribes nigrum* L.), багульник болотный (*Ledum palustre* L.). Травяно-кустарниковый ярус представлен: клюквой мелкoplодной (*Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr.),

хвощом болотным (*Equisetum fluviatile* L.), вахтой трехлистной (*Menyanthes trifoliata* L.), осокой (*Carex*), звездчаткой ланцетовидной (*Stellaria holostea* L.), пушицей влагалищной (*Eriophorum vaginatum* L.), грушанкой (*Pyrola* L.), ятрышником (*Orchis* L.). Моховой ярус образован зеленым мхом (*Drepanocladus; Aulacomnium*), участие сфагнового мха единично (*Sphagnum*). По направлению к урезу реки уровень поверхности понижается, в растительном покрове преобладают осоково-гипновые топи.

Согласно материалам торфоразведки (Найдич, 1950), площадь торфяного меторождения “Сосновка-1” в границах промышленной глубины (свыше 0.7 м) составляет — 267.5 га, общая пло-

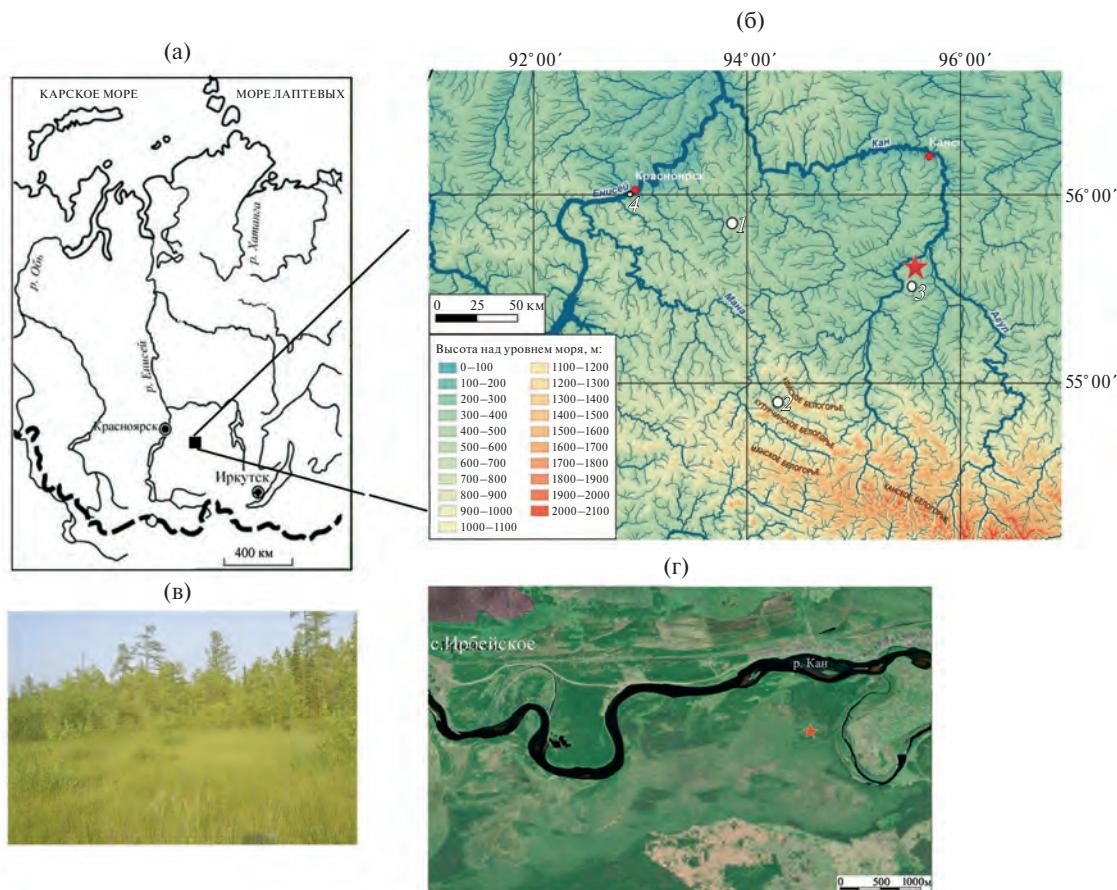


Рис. 1. Месторасположение района исследований.

Звездочка — точка отбора торфяной колонки “Сосновка”: (а) — положение изучаемого региона; (б) — карта рельефа, построенная с помощью геоинформационной системы QGIS3.32.3-Lima, с указанием местоположения изученных ранее палеоархивов (1 — болото Пинчинское (Mikhailova et al., 2021), 2 — болото Мина (Гренадерова et al., 2020), 3 — болото Большое (Гренадерова и др., 2024), 4 — разрез “Остров Отдыха”) (Шарафутдинов и др., 2018); (в) — смешанный разнотравно-осоково-зеленомошный лес на первой нпт р. Кан; (г) — положение изучаемого объекта (спутниковый снимок Landsat 8).

Fig. 1. Location of the study area.

Asterisk — sampling point of the “Sosnovka” peat column: (a) — position of the studied region; (б) — relief map (built using the geographic information system QGIS3.32.3-Lima), indicating the location of paleoarchives from literary sources (1 — Pinchinskoye mire (Mikhailova et al., 2021), 2 — Mina mire (Grenaderova et al., 2020); 3 — Bolshoe mire (Grenaderova et al., 2024), 4 — Sediments stratigraphy of Otdykh island) (Sharafutdinov et al., 2018); (в) mixed grass-sedge-green moss forest on the first floodplain terrace of the Kan river; (г) — position of the study area (satellite image Landsat 8).

Таблица 1. Результаты AMS<sup>14</sup>C датирования торфяных отложений болота Сосновка

Table 1. Results of radiocarbon dating of samples from Sosnovka peat core

Лабораторный номер образца	Материал для датирования	Глубина, см	Возраст, л.н. (от 1950 г.)	
			радиоуглеродный	календарный, 95.4% (2 $\sigma$ )
GV-4395	Торф	30–35	современный	—
GV-4396		90–95	1463±31	1463 (1381–1606)
GV-4397		140–145	2243±32	2384 (2325–2600)
GV-4398		200–205	3506±27	3905 (3841–4148)
GV-4399		270–275	4815±34	5721 (5583–5945)
GV-4400		315–320	6657±36	7681 (7567–7916)
GV-4401	Суглинок оторфованный	405–410	8751±45	9827 (9801–9863)

щадь болота — 939.2 га. С учетом плана торфяного mestрождения (Приложение к геологическому отчету Е.М. Найдич), на участке с указанной максимальной мощностью торфа, нами выполнено бурение торфяной толщи с помощью пробоотборника Eijkelkamp Peat sampler. На расстоянии 50 м друг от друга по направлению к урезу реки ( отметка уреза составляет 242.9 м.), было отобрано три колонки отложений. Для каждой колонки выполнен ботанический анализ торфа, который оказался сходным (осоковый торф).

Для комплексного палеоэкологического анализа выбрана колонка (координаты 55°39' с.ш., 95°36' в.д., абрс. отметка 247 м) с максимальной мощностью — 430 см. Опробование выполнено с шагом в 5 см, общее количество исследованных проб — 71 шт.

В диапазоне глубин 0–400 см отложения представлены торфом, в интервале 400–430 см — минеральными суглинистыми осадками, включающими растительный детрит и раковины моллюсков. Интервал 325–400 см был представлен торфом высокой степени обводненности, отобрать и проанализировать данный слой не удалось в силу высокой текучести материала.

Образцы изучены комплексом методов: споро-пыльцевой (Гричук, Заклинская, 1948), ботанический (Куликова, 1974), палеоантракологический (Clark, 1988) и малакофаунистический анализ (Верещагин, Громов, 1953; Жадин, 1952), определена зольность (ГОСТ 11306-2013) и активная кислотность торфа (ГОСТ 11623-89). Гранулометрический состав минеральных отложений из подошвы разреза определен в соответствии с методом Н.А. Качинского (1958), минералы различных размерных фракций изучены на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 SBH с системой энергодисперсионного микроанализа

OxfordX-Act. Радиоуглеродный анализ (табл. 1) проведен в Лаборатории изотопных исследований ЦКП “Геохронология кайнозоя” Института археологии и этнографии СО РАН и ЦКП “Ускорительная масс-спектрометрия” НГУ-ННЦ. Калибровка радиоуглеродных дат и построение глубинно-возрастной модели проводились по калибровочной кривой IntCal20 в пакете “Bchron” среди R. (Reimer et al., 2020) (рис. 2).

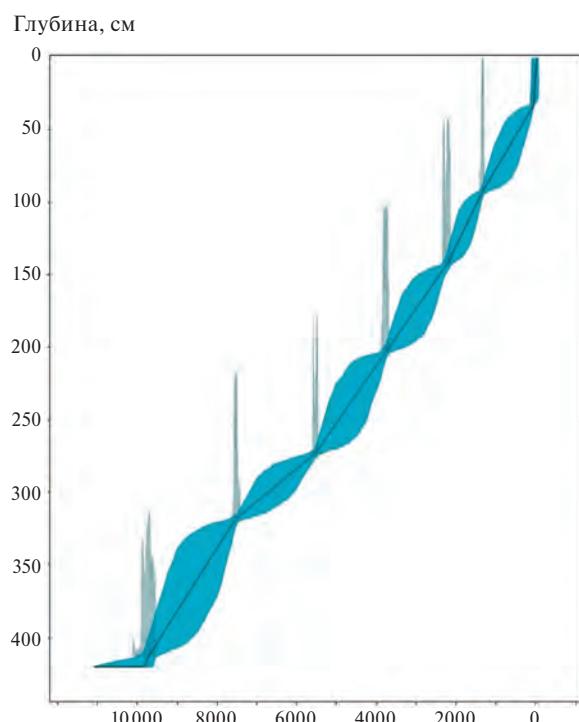


Рис. 2. Модель вертикального прироста торфа для болота Сосновка, рассчитанная в пакете “Bchron” среди R (Reimer et al., 2020).

Fig. 2. Age-depth model for the peat core Sosnovka calculated in the “Bchron” package of the R program (Reimer et al., 2020).

При лабораторной подготовке образцов для спорово-пыльцевого анализа использована методика (Moore et al., 1991) с применением HCl и NaOH, но без ацетолиза и обработки тяжелой жидкостью. Промывание образцов выполнено через сито с ячейками 250 мкм, минеральные пробы дополнительно обработаны с использованием ультразвуковой ванны. Обработке подвергались пробы объемом 1 см<sup>3</sup>, таблетки со спорами *Lycopodium* для подсчета концентрации пыльцы не применялись. Анализ проводился на микроскопе Микромед-3 при увеличении ×400, с использованием определителей (Куприянова, Алешина, 1972, 1978; Beug, 2004). Для каждого образца подсчитывалось не менее 300–350 пыльцевых зерен древесных и травянистых в сумме. На спорово-пыльцевой диаграмме обилие пыльцы травянистых (non-arboreal pollen, NAP) и древесных (arboreal pollen, AP) выражено в процентах от их суммы, содержание споровых рассчитано от суммы спор. Для выделения спорово-пыльцевых зон применялся метод broken stick model (MacArthur, 1957) в программе R пакетах ‘vegan’, ‘rioja’ и ‘analogue’.

При подготовке к ботаническому анализу пробы торфа кипятили в течение 10 минут в 10% растворе NaOH, промывали под струей горячей воды через сито с диаметром ячеек 250 мкм (Торфяные месторождения, 1977). Изучение осуществлялось при помощи светового микроскопа Микромед-3 при увеличении ×200. Для определения видовой принадлежности растительных остатков использовались атласы (Домбровская и др., 1959; Кац и др., 1977). Графическое отображение полученных данных выполнено с использованием программы Gistogram Maker (Филиппов В.А., Филиппов Д.А., 2010) и C2 (Juggins, 2003).

Для палеоантракологического анализа (подсчет концентрации угольных частиц в торфе) из каждого интервала в 5 см была отобрана осредненная пробы объемом 1 см<sup>3</sup>. Лабораторный этап включал пробоподготовку по стандартной методике (Clarke, 1988), с предварительной обработкой 5% раствором Na<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и 6% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Подсчет частиц угля проведен при увеличении ×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), отметим, что с помощью CharAnalysis проанализирована только торфяная часть колонки, т.е. без учета обводненного промежутка и органо-минерального слоя. 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.

Интервалы 425–400 см, 325–100 см, 40–35 см включают раковины моллюсков. Из каждого 5-ти см интервала керна, объемом около 150 см<sup>3</sup> выбирались раковины моллюсков. Материал отбирался по общепринятой методике: универсальным способом промывки вмещающих пород с помощью сит в воде, обеспечивающим одновременно сбор и извлечение из породы (Верещагин, Громов, 1953; Жадин, 1952). Установление видовой принадлежности выполнено с помощью тематических определителей (Лихарев, Раммельмайер, 1952; Шилейко, 1984; Шилейко, Лихарев, 1986; Хохуткин и др., 2009).

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 4.1. Анализ ботанического состава торфа

Торфяная залежь низинного типа сложена практически полностью осоковым видом торфа, за исключением тонких прослоев хвошового и гипнового торфа в верхней части толщи, в интервале 90–85 см от поверхности зафиксирован древесно-осоковый торф. Основным растением торфообразователем является осока (*Carex lasiocarpa* Ehrh., *C. limosa* L., *C. chordorrhiza* Ehrh., *C. vesicaria* L., *C. pauciflora* Lightf., *C. rostrata* Stoke., *C. appropinquata* Schumach.). Доминирует *Carex lasiocarpa* Ehrh.— осока волосистоплодная, доля тканей которой в составе торфяного волокна варьирует от 65 до 100%, за исключением верхних 25 см залежи (рис. 3). Осока волосистоплодная — типично болотный вид, облигатно связанный с торфяными болотами, растет повсеместно на низинных и переходных осоково-моховых болотах богатого грунтового и смешанного питания, заходит в пойменные кочкарноосочники и сорги (Лапшина, 2003). Таким образом, на протяжении большей части периода болотообразования на болоте была развита ассоциация осоки волосистоплодной, в отдельные этапы отмечалось незначительное усиление роли гипновых мхов и болотного разнотравья.

### 4.2. Механический и минералогический состав органоминеральных отложений

Торфяные отложения характеризуются высокой зольностью, в строении толщи можно выделить два слоя: 1) 325–105 см — высокозольный

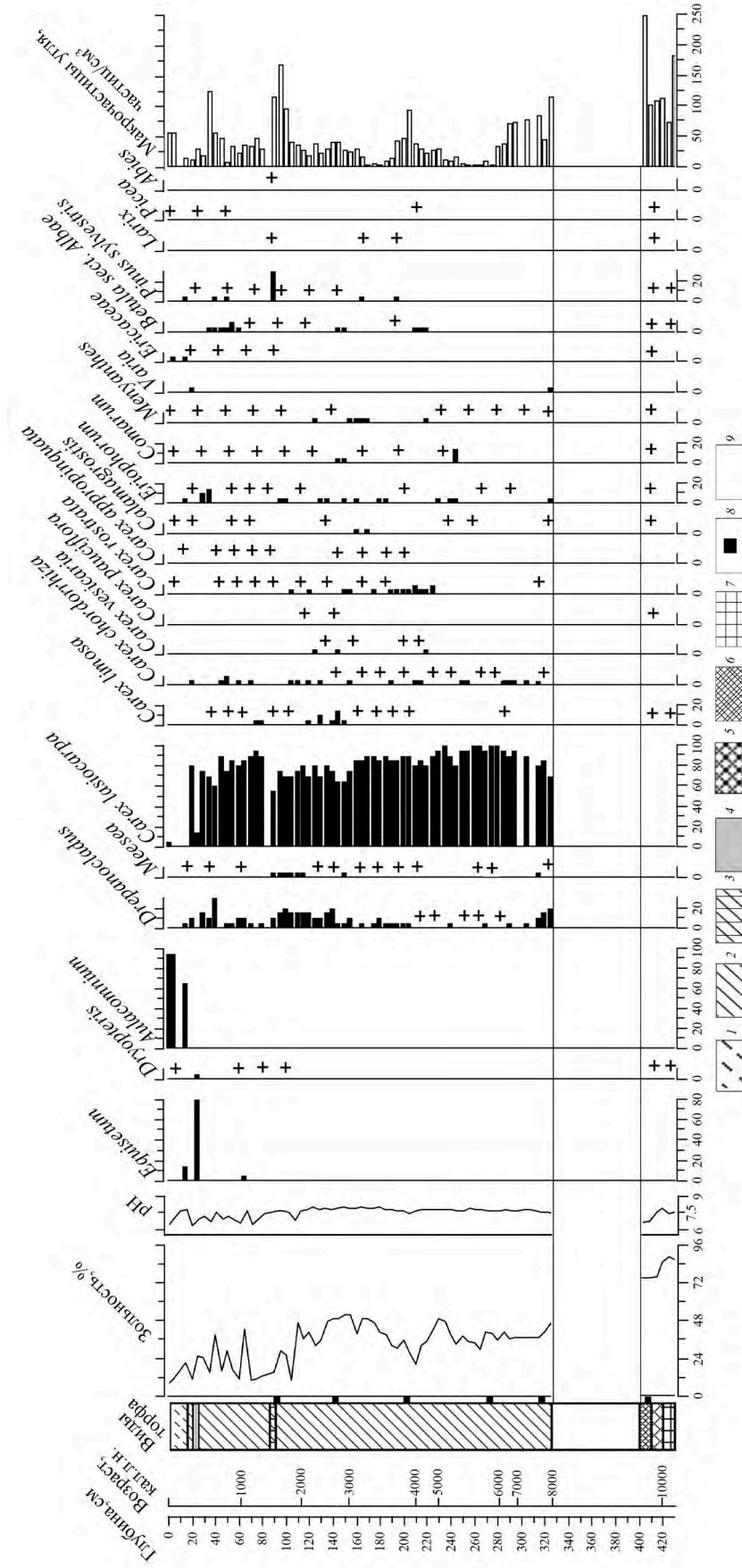


Рис. 3. Стратиграфия торфяной толщи болота Сосновка, динамика растений-торфообразователей (%), зольность торфа (%) и значение pH, содержание частиц макроугля (“+” — единичная встречааемость).

Торф низинный: 1 — гипновый, 2 — древесно-осоковый, 3 — осоковый, 4 — хвощевый; суглинок: 5 — оторванный, 6 — тяжелый, 7 — глина; 8 — интервал отбора проб на AMS<sup>14</sup>C датированием; 9 — обводненный слой.

Fig. 3. Stratigraphy of the peat strata of the Sosnovka swamp, dynamics of peat-forming plants (%), ash content of peat (%) and pH value, content of macro-carbon particles (“+” is a single occurrence).

Types of peat: 1 — moss, 2 — horsetail, 3 — sedge, 4 — woody-sedge, 5 — peaty loam, 6 — heavy loam; 7 — clay; 8 — sampling interval for AMS<sup>14</sup>C dating; 9 — waterlogged layer.

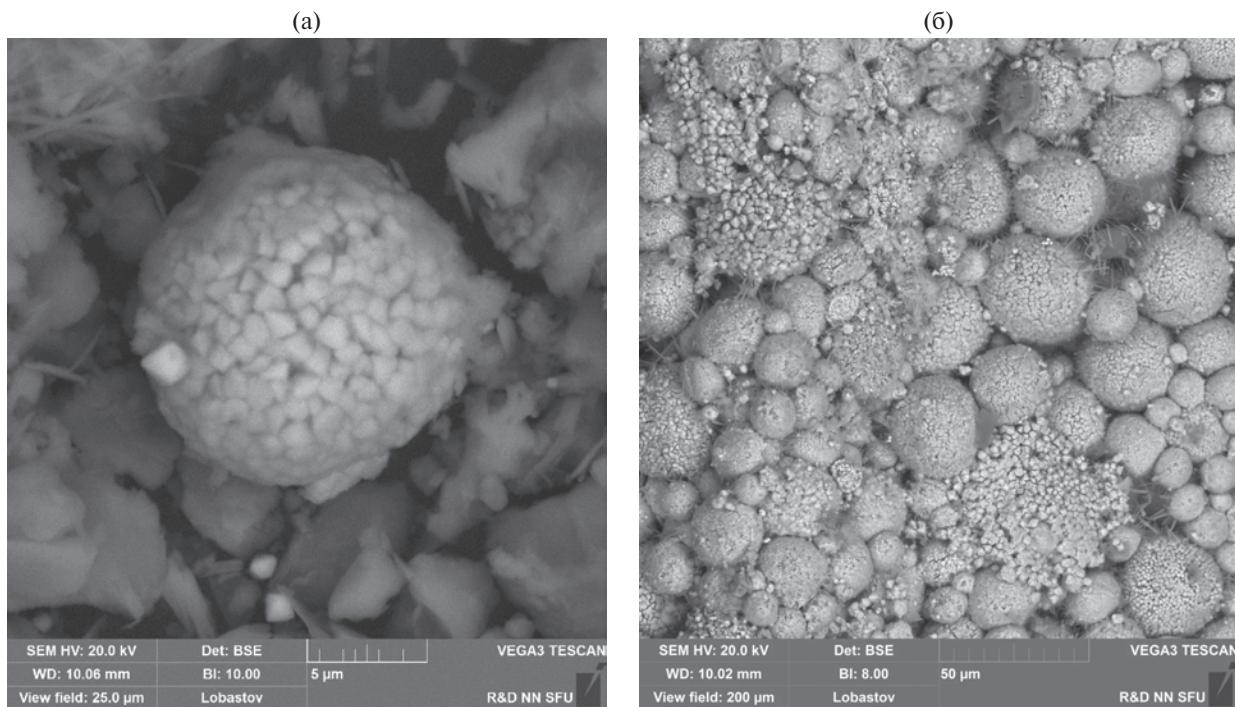
торф, со средним значением 39.7%, а максимальные показатели зафиксированы на глубинах 155–135 см — 49–52%, 175–160 см — 46–49%, 235–225 см — 47–49%; и 2) 105–0 см — торф с более низкой зольностью, в среднем — 18.8%, с максимумом в интервалах 65–60 см — 42%, 40–35 см — 39% (рис. 3).

Минеральный осадок, подстилающий торф, отражает условия пойменного осадконакопления. Интервал глубин 430–420 см представлен глиной, в гранулометрическом составе доля частиц размером <0.001 мм составляет 35%, 0.25–0.05 мм — 9%, 1.0–0.25 мм — 4%. Минералогический состав указанного слоя достаточно разнообразен, присутствует кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, пирит, пироксен, монацит, циркон, амфибол, барит, кальцит. Наибольшее разнообразие минералов отмечается среди частиц размером 0.25–0.05 мм, минералогический состав частиц фракции 0.005–0.001 мм беден, преобладают гидроокислы железа. Следует отметить, что в данном интервале глубин отсутствуют фрамбоиды пирита, которые фиксируются в вышележащих слоях. Это указывает на отсутствие условий для накопления значимого количества органического вещества и его разложения вследствие бактериальной сульфатредукции — т.е. типичных условий

для образования фрамбоидного пирита (Астафьева и др., 2011; Масленникова и др., 2012).

Интервал глубин 420–410 см слагает тяжелый суглинок. Доля частиц размером <0.001 мм составляет 23%, 0.25–0.05 мм — 7%, 1.0–0.25 мм — 11%. На данном этапе фациальные условия начали благоприятствовать формированию фрамбоидного пирита, фиксируются сферические агрегаты диаметром 11–15 мкм (рис. 4), состоящие из кристаллов размером 0.5–1.5 мкм.

Элементный состав фрамбоидов пирита определен при помощи системы энергодисперсионного микронализма OxfordX-Act, входящего в состав сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 SBH в R&D центре НорНикель СФУ. Состав зерен пирита незначительно варьирует, соотношение серы и железа остается весьма стабильным, близким к 1. В среднем, содержание серы составляет 38%, железа 38%, кислорода 20%. В качестве примеси, в незначительном количестве (<0.9%) присутствуют натрий, алюминий, кремний, фосфор, кальций. Кроме зерен пирита, значительную долю минеральных образований в интервале глубин 420–410 см составляют шарообразные агрегаты  $\text{CaCO}_3$ , размером от 0.02 до 0.1 мм. Образование карбоната кальция подобной морфологии (рис. 4) происходит на поверх-



**Рис. 4.** Электронные микрофотографии сферического фрамбоидального пирита, состоящего из кристаллов размером 0.5–1.5 мкм из пробы с интервалом глубин 425–420 см (а) и агрегатов  $\text{CaCO}_3$  с интервалом глубин 420–415 см (б).

**Fig. 4.** SEM micrographs of spherical frambooidal pyrite consisting of crystals 0.5–1.5  $\mu\text{m}$  in size from sediments 425–420 cm (a) and of  $\text{CaCO}_3$ , isolated from sediments 420–415 cm (b). The images are representative of the entire populations of particles

ности глинистых минералов (Molnár et al., 2019) и тесно сопряжено с биологической активностью (Kosanovic et al., 2017).

#### 4.3. Спорово-пыльцевой анализ

Зона 1 (430–400 см;  $\approx 11.0$ –9.7 тыс. кал.л.н.) характеризуется низким содержанием пыльцы и спор. Среди пыльцы древесных растений доминирует пыльца *Abies*, *Pinus sibirica*, среди травянистых растений отмечается пыльца *Cyperaceae*, *Artemisia*, *Galium*, *Rosaceae*, *Ranunculaceae*. Из споровых растений зафиксированы *Bryales*, *Polypodiaceae*, *Lycopodium clavatum* (рис. 5).

Зона 2 (325–190 см; 8.4–3.7 тыс. кал.л.н.). В составе пыльцевого спектра содержание пыльцы древесных растений составляет 92–98%. Преобладает пыльца *Pinus sylvestris* и *Pinus sibirica*. В начале зоны (глубина 325–320 см) отмечен пик *Abies sibirica* – 27%, *Picea obovata* – 13%, участие *Betula sect. Nanae* до 10%. Среди пыльцы трав в количестве больше 1% присутствует *Cyperaceae* и *Artemisia*. Менее процента приходится на *Chenopodiaceae*, *Rosaceae*, *Thalictrum*. В интервале 245–240 см и 225–220 см зафиксирована пыльца *Ephedra*. Споровые распределения представлены *Polypodiaceae* – 43–95%, *Bryales* – до 30%, *Equisetum* – до 16%.

Зона 3 – (190–0 см; 3.7 тыс. кал.л.н. – настоящее время). Так же, как и в предыдущей зоне, преобладает пыльца *Pinus sylvestris* и *Pinus sibirica*. Пыльца *Abies sibirica* в диапазоне 1–8%, *Picea obovata* – 2–7%. Содержание пыльцы *Betula sect. Nanae* ниже, чем в зоне 2, и составляет 1–4%. Из травянистых растений в количестве больше 1% присутствует пыльца представителей сем. *Cyperaceae* и *Artemisia*. Менее процента приходится на *Asteraceae*, *Poaceae*, *Ranunculaceae*, *Brassicaceae*, *Chenopodiaceae*, *Rosaceae*, *Thalictrum*. В интервале 155–150 и 50–45 см единично отмечена пыльца *Turpha*. Споровые растения представлены *Polypodiaceae* – 18–84%, *Bryales* – до 63%, *Sphagnum* – до 39%, *Equisetum* – до 30%. В интервале глубин 185–180 см встречаются переотложенные пыльцевые зерна *Picea* и *Pinus* sp.

#### 4.4. Палеоантракологический анализ

Содержание частиц макроугля в торфяном слое изученных отложений варьирует от единичных значений до более 100 частиц в 1 см<sup>3</sup>, в среднем около 40 частиц/см<sup>3</sup>. Максимальное количество макро частиц приходится на интервалы: 0.3–0.35 м – 126 частиц/см<sup>3</sup>, 0.85–0.95 м – до 168 частиц/см<sup>3</sup>, 3.20–3.25 м – 117 частиц/см<sup>3</sup>, а наименьшее количество зафиксировано в интервалах: 1.65–1.80 м – 5–6 частиц/см<sup>3</sup>, 2.45–2.75 м – 4–7 частиц/см<sup>3</sup>. В минеральном слое включения

макроугля представлены наиболее обильно – 100–250 частиц/см<sup>3</sup> (рис. 3).

Полученные с помощью программы CharAnalysis схемы демонстрируют скорость аккумуляции макроскопических частиц угля, локальные пожарные эпизоды и интервалы повторения пожаров в заданном временном отрезке (рис. 6). Выделено 9 локальных пожарных эпизодов (на рисунке отмечены “+”), отражающих первичное отложение частиц угля от пожара и/или серии пожаров, находящихся от объекта исследования в радиусе от нескольких десятков–сотен метров (Clark et al., 1998) до 3 км (Higuera, 2009). Пожарные эпизоды пришлись на даты: 7500, 5500, 5100, 3200, 2100, 1950, 1800, 800, 300 кал.л.н. На следующие даты 7900, 7200, 6600, 5900, 5250, 3700, 2900, 2600, 2250, 1350, 900 и 50 кал.л.н. выпали пожарные события со скоростью аккумуляции угля не превышающей пороговое значение (отмечены на графике серой точкой).

Наиболее высокая частота пожарных событий приходится на временной интервал 2200–1800 кал.л.н. (до 3 пожарных эпизодов за 1000 лет), межпожарный интервал составляет 100–200 лет. Okolo 5400–5200 кал.л.н. и последние 600 лет частота пожарных событий несколько ниже – 2 эпизода за 1000 лет (рис. 6).

#### 4.5. Малакофаунистический анализ

По результатам малакофаунистического анализа в колонке “Сосновка” выделено 5 интервалов (малакозон), отличающихся количеством раковин и процентным таксономическим составом моллюсков (рис. 7).

Малакозона 1 (420–400 см;  $\approx 11.0$ –9.7 тыс. кал.л.н.) – суглинок с включением растительного детрита и раковин моллюсков. Всего из четырех проб выделена 41 раковина, идентифицировано 11 видов, из которых 6 наземных, 4 водных и 1 амфибионтный вид (*Succinella oblonga* Draparnaud, 1801), численно преобладают раковины наземных моллюсков (73% от общего состава). Доминирует *Vallonia pulchella* (Müller, 1774) (15 шт.), в меньшем количестве присутствует *Succinella oblonga* (Draparnaud, 1801), *Ladislavella terebra* (Westerlund, 1885), по 1–2 раковинки *Euconulus fulvus* Müller, 1774), *Carychium* sp., *Pupilla muscorum* (Linnaeus, 1758), *Gyraulus acronicus* (Ferussac, 1807), *Cincinnia frigida* (Westerlund, 1873). Только для этого слоя отмечены наземные таксоны: *Vallonia tenuilabris* (Al. Braun, 1842) (4 шт.) и *Cochlicopa nitens* (Gallenstein, 1852) (6 шт.); а также представитель временных водоемов – *Aplexa hypnorum* (Linnaeus, 1758) (1 шт.).



**Рис. 5.** Спорово-пыльцевая диаграмма отложений болота Сосновка.  $AP+NAP=100\%$ . Дополнительный контур показывает увеличение базового пыльцевого таксона в 10 раз. Плюсом обозначены единичные пыльцевые зерна.  $AP$  – древесные и кустарники,  $NAP$  – травянистые и кустарнички.

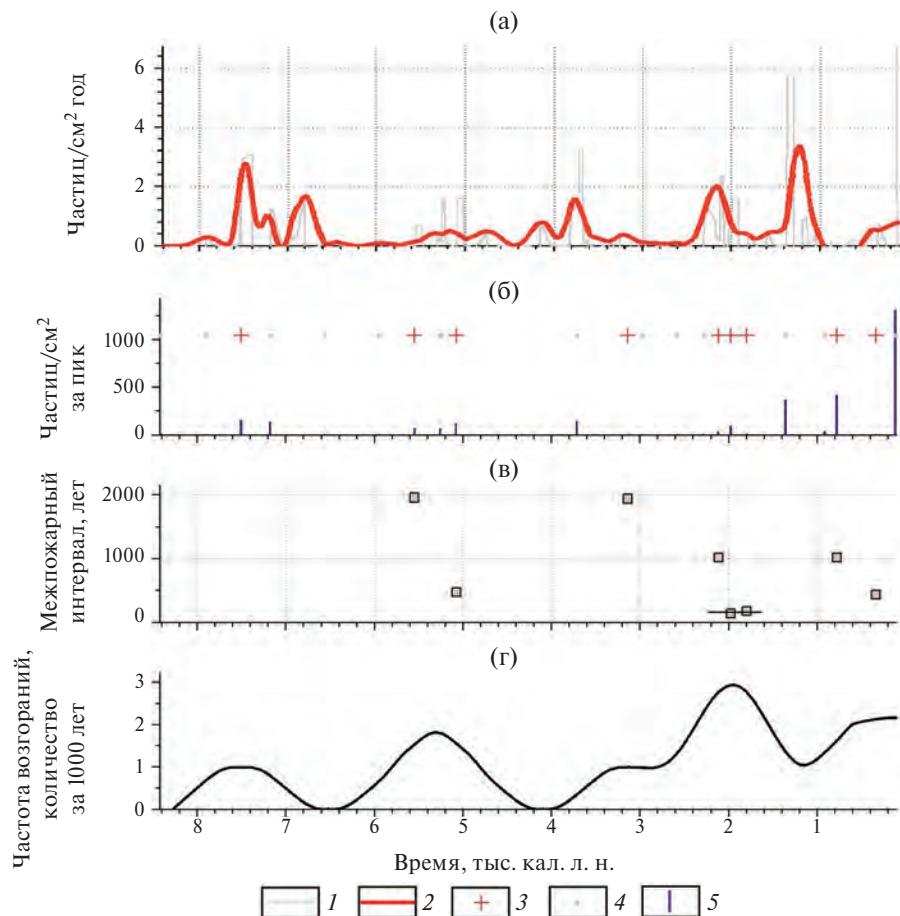
Fig. 3. Pollen diagram for the peat core Sosnovka.  $\Delta\Gamma + \Delta\text{NAT} = 100\%$ . Exaggeration  $\times 10$ . The plus sign denotes single pollen grains.  $\Delta\Gamma$  = arboreal pollen,  $\Delta\text{NAT}$  = non-arboreal pollen.

Малакозона 2 (325–250 см; 8.4–5.3 тыс. кал.л.н.) преобладают раковины водных моллюсков (70% от общего количества), включая представителей двустворчатых семейства Sphaeriidae (подсемейство Euglesinae, подсемейство Sphaeriinae). По количественной наполненности проб раковинами можно выделить две подзоны.

Подзона 2.1. (325–280 см; 8.4–6.5 тыс. кал.л.н.) характеризуется небольшим содержанием раковин, в среднем по 10–14 шт. в пробе, за исключением горизонта 320–315 см (7.9–7.5 тыс. кал.л.н.), где зафиксировано 36 раковинок.

Подзона 2.2. (280–250 см; 6.5–5.3 тыс. кал.л.н.) отличается высокой наполненностью раковинным

материалом, максимальное количество (115 экз.) пришлось на слой 260–250 см (около 5.4–5.3 тыс. кал.л.н.), где абсолютным доминантом (61%) является *Gyraulus acronicus* (Ferussac, 1807) — вид, тяготеющий к крупным постоянным водоемам, внепойменным озерам. Максимальное количество видов (10 шт.) выявлено в интервале 265–260 см (5.5–5.4 тыс. кал.л.н.), в котором, в том числе, отмечена одна раковинка *Perpolita petronella* (L. Pfeiffer, 1853) — наземный вид, обитатель подстилки лиственных и смешанных лесов, реже лугов и оврагов; и максимальное по количеству количество раковин (18 шт.) *Vallonia pulchella* (Müller, 1774) — холодаустойчивый вид, обитатель

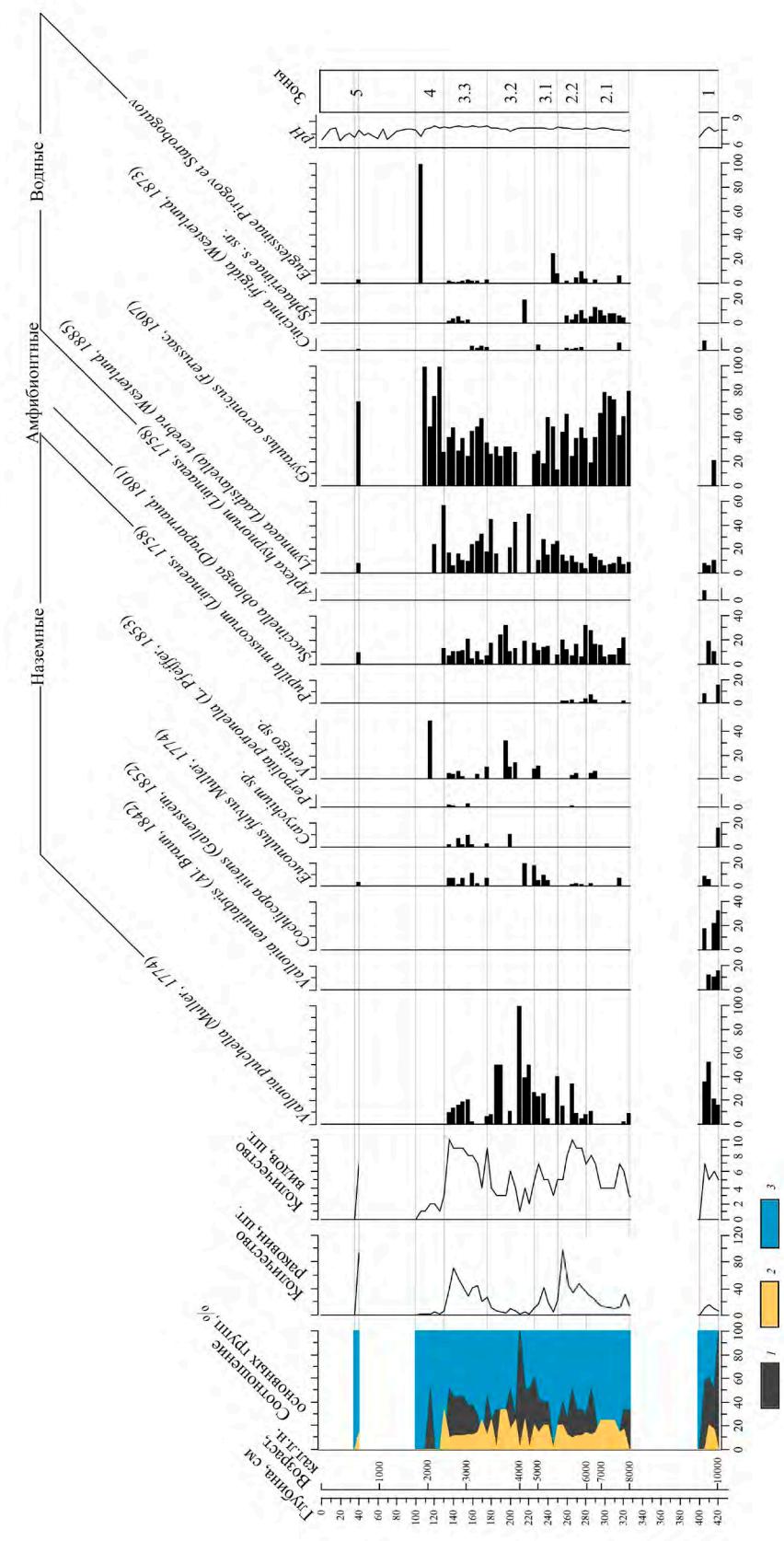


**Рис. 6.** Характеристика пожарной активности голоцена по данным изучения торфяных отложений болота Сосновка: (а) — скорость аккумуляции макроскопических частиц угля; (б) — пиковые значения скорости в пожарные эпизоды; (в) — межпожарный интервал; (г) — частота возгораний.

1 — скорость аккумуляции частиц макроугля на 1  $\text{см}^2$  за год; 2 — пороговое значение поступления частиц угля; 3 — пожарный эпизод (разность интерполированного значения притока и фонового значения притока); 4 — пожарное событие со скоростью аккумуляции частиц макроугля, не превышающей пороговые значения; 5 — скорость поступления частиц за пик.

**Fig. 6.** Macroscopic charcoal accumulation rate in the peat core Sosnovka: (a) — is the rate of accumulation of macroscopic coal particles; (b) — is the peak velocity during fire episodes; (c) — is the inter-fire interval; (d) — the frequency of fires.

1 — is the accumulation rate of macrocarbon particles per 1  $\text{cm}^2$  per year; 2 — is the threshold value for the intake of coal particles; 3 — is a fire episode (the difference between the interpolated inflow value and the background inflow value); 4 — is a fire event with the accumulation rate of macrocarbon particles not exceeding the thresholds; 5 — is the rate of particle intake per peak.



**Рис. 7.** Результаты малакофаунистического анализа отложений болота Сосновка. Динамика таксонов представлена в %.

*Виды моллюсков: 1 — наземные, 2 — амфибионтные, 3 — водные.*

**Fig. 7.** Results of malacofaunal analysis from the deposits of the peat core Sosnovka. Taxon dynamics are presented in %.

*Types of mollusks: 1 — terrestrial, 2 — amphibious, 3 — aquatic.*

подстилки смешанных и лиственных лесов. Раковины вида *Pupilla muscorum* (Linnaeus, 1758) присутствуют только в малакозонах 1 и 2, а выше отсутствуют. Известно, что *Pupilla muscorum* — холдоустойчивый вид, обитатель открытых местообитаний, пойменных лугов и болот (White et al., 2008), в устье моллюска имеется 1, 2 зуба. В исследованных нами пробах этот зуб чаще отсутствовал, редукция зуба в устье указывает на высокое увлажнение местообитания (Шилейко, 1984; White et al., 2008; Sysoev, Shileyko, 2009).

Малакозона 3 (250–130 см; 5.3–2.2 тыс. кал.л.н.), в которой можно выделить три подзоны, отличающиеся качественной и количественной наполненностью проб.

Подзона 3.1. (250–225 см; 5.3–5.0 тыс. кал.л.н.) в каждом образце около 20 раковин, за исключением 245–240 см — всего 4 шт., 235–230–41 шт. В подзоне отмечены представители 8 таксонов. *Gyraulus acronicus* (Ferussac, 1807) утрачивает господствующее положение в составе танатоценоза, и наряду с *Ladislavella terebra* (Westerlund, 1885) и *Vallonia pulchella* (Müller, 1774) занимает равное положение (каждый примерно по 25%).

Подзона 3.2. (225–175 см; 5.0–3.5 тыс. кал.л.н.) отличается низкой наполненностью проб, в среднем каждая проба включает около 5 раковинок. Идентифицированы следующие виды: *Vallonia pulchella*, *Succinella oblonga*, *Ladislavella terebra*, *Gyraulus acronicus*, *Euconulus fulvus*, *Carychium* sp., *Vertigo* sp. и *Sphaeriinae* s. str. Слой 210–205 см (4.6–4.1 тыс. кал.л.н.) содержит всего 1 раковинку (вид *Vallonia pulchella*). Слой 200–195 см (3.8–3.7 тыс. кал.л.н.) включает максимальное для подзоны разнообразие моллюсков (6 видов, 9 раковинок).

Подзона 3.3. (175–130 см; 3.5–2.2 тыс. кал.л.н.) характеризуется относительно высоким содержанием раковин моллюсков (в среднем 38 шт. на пробу), с максимумом — 71 шт. в интервале 145–135 см (2.6–2.2 тыс. кал.л.н.), где насчитывалось 10 таксонов, включая представителей двустворчатых моллюсков (подсемейство *Euglesinae*, подсемейство *Sphaeriinae*). Доля раковинок водных моллюсков численно преобладает, доминантом является *Gyraulus acronicus*, содоминант — *Ladislavella terebra*.

Малакозона 4 (130–100 см; 2.2–1.8 тыс. кал.л.н.) количество раковинок крайне низкое, по 1–4 раковинки на пробу, отмечены представители *Gyraulus acronicus* (9 шт. на весь интервал), единично зафиксированы *Ladislavella terebra*, *Succinella oblonga*, *Vertigo* sp. и *Euglessinae* Pirogov et Starobogatov. Выше, вплоть до глубины 40 см раковины моллюсков отсутствуют.

Малакозона 5 (40–35 см; примерно около 200 л.н.) включает 93 раковины, среди которых 66 шт. — *Gyraulus acronicus*, на второй по численности таксон — *Succinella oblonga* приходится 10 раковин, на *Ladislavella terebra* — 8 шт., остальные четыре таксона насчитывают до 3 раковин каждый.

Отсутствие раковин моллюсков выше отметки 100 см (за исключением слоя 40–35 см) может быть обусловлено снижением обводненности болота, в силу разных причин: изменение положения уреза реки за счет эрозионных процессов, нарастание торфяной толщи и снижение доли речного и грунтового питания, климатические изменения в сторону иссушения климата. Аналогичные результаты отмечены Н.В. Лебедевой для торфяных отложений Южно-Минусинской котловины, автор связывает исчезновение моллюсков с климатическими изменениями (Лебедева, 2011). Масленников П.В. и Долгин В.Н. (2014) на примере современных болотных озер бассейна р. Чулым (Средняя Обь) показали, что в озерах, которым свойственно понижение pH от 6.0 до 4.5 моллюски отсутствуют. Для отложений болота Сосновка значение активной кислотности на глубине 0–0.80 м варьирует от слабокислой (6.3–6.4) до нейтральной (6.6–6.9) и щелочной (7.2–7.8). В интервале 0.80–4.30 м кислотность остается неизменной — 7.4–8.1, что исключает влияние данного фактора.

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Совокупность полученных палеосигналов при комплексном изучении отложений болота Сосновка дает возможность рассмотреть ход развития природных условий в среднем течении р. Кан за большую часть голоцена.

Около 11.0–9.7 тыс. кал. л. на месте современного болота происходило накопление пойменной фации аллювия, в том числе, в условиях сезонного заилиения со значительным содержанием органического вещества (около 10.0 тыс. кал.л.н.). Минералогический состав по мере формирования отложений становился более пестрым, возросло разнообразие аутигенных минералов, образовывались шарообразные агрегаты кальцита. Растительные макроостатки, выделенные в небольшом количестве из минеральных отложений, отражают развитие разнотравно-осокового сообщества с хвощом и папоротником. Идентифицированные раковины моллюсков принадлежат обитателям открытых, незалесенных ландшафтов: *Vallonia pulchella* (Müller, 1774), *Vallonia tenuilabris* (Al. Braun, 1842) — индикатор “холодных степей” (Lozek, 1964) и “тундростепи” (Horsák et al., 2010, 2015), *Pupilla muscorum* (Linnaeus, 1758)

и *Cochlicopa nitens* (Gallenstein, 1852), что может свидетельствовать о холодных безлесных ландшафтах с высоким увлажнением. Присутствие водных моллюсков, включая *Aplexa hypnorum* (Linnaeus, 1758), указывает на близкое расположение к урезу водотока (Lozek, 1964; Alexandrowicz S.W., Alexandrowicz W.P., 2011).

Около 9.7 тыс. кал.л.н. начинает развиваться болотное сообщество. Смене типа осадконакопления с пойменного на болотный могли способствовать изменения региональной тепло- и влагообеспеченности в сторону роста летних температур и увеличения продолжительности безморозного периода (Демиденко, Хижняк, 2018). Далее на протяжении ~9.0–7.5 тыс. кал.л.н. (верхний слой суглинка + торф в интервале 325–315 см) суходолы в окрестностях болота Сосновка были покрыты смешанным кедрово-елово-пихтовым лесом, с максимальным участием ели и пихты за весь период торфонакопления. Суммарная доля пыльцы темнохвойных растений в составе спектра достигла 68% — максимум за весь период реконструкции. Значительное участие пихты в составе лесных экосистем (25–32% в составе пыльцевого спектра) можно рассматривать как проявление отклика на благоприятные условия тепло- и влагообеспеченности. Известно, что *Abies sibirica*, несмотря на высокую морозостойкость, теплолюбива, требовательна к богатству почвы, предпочитает увлажненные, но без застойного увлажнения почвы и относительно высокую влажность воздуха (Крылов и др., 1986).

Высокое участие темнохвойных пород в составе спорово-пыльцевых спектров, сформированных около 8.4–7.5 тыс. кал.л.н., отмечено и в отложениях болота Пинчинское (рис. 1), которое располагается в 100 км на СЗ от болота Сосновка (Mikhailova et al., 2021), и в 180 км на СЗ от опи-ываемого болота в аллювиальных отложениях о-ва Отдыха (Шарафутдинов и др., 2018). Демиденко Г.А. (2016) отмечает, что на месте современных островных степей Приенисейской Сибири в интервале 8.7–8.0 тыс.л.н. произрастали березово-сосновые леса с участием пихты и кедра в сочетании с осоково-злаковыми группировками, что также свидетельствует об увеличение влажности в этот период.

В пределах Сибири период максимального распространения пихты в первой половине голоцене рассматривается как оптимум влагообеспеченности (Bezrukova et al., 2010). Так, в Прибайкалье ~10–6.5 тыс.л.н. в районе Дулихинского торфяника, около 9–6 тыс.л.н. вблизи торфяника Очковое (Шарова и др., 2015), 10.8–7.3 тыс.л.н. в районе оз. Котокель (Tarasov et al., 2009; Безрукова и др.,

2011) отмечались условия наиболее благоприятные для развития влажной темнохвойной тайги из пихты и ели. Летние температуры ~9500–6000 л.н. приближались к современным значениям, зимние температуры могли быть на 3–4 °C выше, средняя годовая сумма осадков выше современной на 100–120 мм (Tarasov et al., 2007). По данным комплексного изучения рыхлых отложений, современных и погребенных почв (Кузьмин и др., 2014) в Прибайкалье в интервале 9500–7000 л.н. атмосферное увлажнение стало максимальным за весь период после казанцевского межледникова и достигало в среднем 1000 мм/год, среднегодовые температуры воздуха превышали современные на 2 °C, а сумма активных температур достигала 1100–1200 °C/год.

На болоте Сосновка с 8.4 по 5.4 тыс. кал.л.н. видовой состав раковин моллюсков отражает условия заболоченной поймы, испытывающей периодические речные разливы. Наличие наземных таксонов, в том числе обитателей лесной подстилки, характеризующих увлажненные, но не подтопляемые биотопы с различной степенью затенения (*Perpolita petronella* L. Pfeiffer, 1853, *Euconulus fulvus* Muller, 1774, *Vertigo modesta* Say, 1824) может указывать на привнос моллюсков поверхностным стоком с окружающих болото облесенных суходолов (Осипова, 2009). На заболоченной пойме в интервале 8.4–7.4 тыс. кал.л.н. произрастало осоково-гипновое сообщество, сменившееся в дальнейшем продолжительным периодом развития ассоциации осоки волосисто-плодной (*C. lasiocarpa* Ehrh.), на этот же интервал (7.9–7.5 тыс. кал.л.н.) приходится высокое содержание раковинок водного моллюска *Gyraulus acronicus*.

Начиная с 7.5 тыс. кал.л.н. в исследуемом районе прослеживается реакция растительных сообществ на термический оптимум голоцена (7.5–6.0 тыс.л.н.), проявившийся в потеплении и усилении аридизации (Хотинский, 1977; Wang et al., 2010; Tarasov et al., 2007; Безрукова и др., 2011; Шарова, 2015). Участие ели и пихты в составе древостоя резко сократилось (доля пихты в спорово-пыльцевом спектре уменьшилась в 4–5 раз), усиление пожарной активности (7.5–7.2 тыс. кал.л.н.) способствовало осветлению лесов и большему развитию кустарникового яруса. Интервал 6.8–5.5 тыс. кал.л.н. характеризуется сокращением участия пихты в составе древостоя (1.3–2.8% в составе пыльцевого спектра), среди травянистых увеличилось содержание рода *Artemisia*.

Далее в исследуемой толще наглядно прослеживается переход от климатического оптимума

голоцена к похолоданию. Данный этап резких климатических изменений 6–5 тыс. кал.л.н., известный как начало “неогляциала”, характеризуется похолоданием, наступлением горных ледников (Solomina et al., 2008; Wanner et al., 2008; Борисова, 2014; Новенко, 2021), значительными климатическими колебаниями при продолжительности климатических фаз около 300–400 лет (Воробьева, 2010; Columbu et al., 2023).

Так, на увеличение увлажнения в пойме реки Кан в период 5.5–5.4 тыс. кал.л.н. указывает состав остатков малакофауны, на этот интервал приходится количественный (до 115 шт.) и качественный максимум (11 таксонов). Численное преобладание представителей водных видов, включая таксоны двустворчатых моллюсков сем. *Sphaeriidae*, а также брюхоногих сем. *Planorbidae* — *Gyraulus acronicus* (Ferussac, 1807) и сем. *Lymnaeidae* — *Lymnaea (Ladislavella) terebra* (Westerlend, 1885) свидетельствуют об усилении речного влияния на пойменное болото. При этом *G. acronicus* живет в постоянных водоемах, а *L. terebra* может обитать и во временных. Выше по течению р. Кан (болото Большое) сходный возрастной интервал (5680–5320 кал.л.н.) торфяной толщи отличается гидрофильным составом макрофоссилий и непыльцевых палиноморф (*Menyanthes trifoliata* L., *Calamagrostis*, *Turbularia*, *Spirogyra*).

Период 5.3–5.0 тыс. кал.л.н. характеризуется сокращением общего количества раковин. Утрата господствующего положения *Gyraulus acronicus* (Ferussac, 1807) может свидетельствовать о снижении влияния реки на пойменное болото. В составе локального растительного сообщества 5.3–5.2 тыс. кал.л.н. наряду с осокой встречались болотные травы (*Comarum palustre* L. и *Eriophorum*), в составе пыльцевого спектра единично фиксируется *Ephedra*, что в сумме может отражать уменьшение увлажнения.

В то же время, около 5.2–5.1 тыс. кал.л.н. обилие пыльцы ели в составе спектра достигло 10.5%, при среднем значении по разрезу 5.2%, что может указывать на значительное содержание *P. obovata* в структуре древостоя (примерно в 3–5 раз выше, чем в поверхностном пыльцевом спектре) (Кольцова, 1980; Bezrukova et al., 2005), следовательно, свидетельствовать об увеличении влажности почв. В составе спектра споровых растений фиксируется минимум зеленого мха 6–9.6% при среднем значении 21%, а доля папоротников возросла до 75–91%. Усиление пожарной активности (скорость аккумуляции частиц угля составила около 50–100 частиц на 1 см<sup>2</sup> в год), возможно, происходило в засушливые годы, когда интенсивно горели значительные запасы лесных горючих

материалов, накопленные ранее при достаточном увлажнении. Около 5.1–5.0 тыс. кал.л.н. возросло участие пихты (до 8.2%, при среднем значении в спектре — 5%). Многообразие палеосигналов (рис. 8) подтверждает контрастность условий, повлекших перестройку, как в локальных болотных сообществах, так и на окружающих болотах.

Далее развитие реконструируемых сообществ происходит при постепенном снижении увлажнения. В интервале 4.9–4.1 тыс. кал.л.н., в составе локального фитоценоза наряду с доминантом *C. lasiocarpa*, отмечается евтрофно-мезотрофные *C. rostrata* Stoke.— до 10%, *C. chordorrhiza* Ehrh.— до 5%, *Eriophorum* — до 5%, появляется разреженный древесный ярус из *Pinus sylvestris* L., отмечена *Betula* sect. *Nanae*, количество раковин моллюсков минимальное (1–2–5 шт.). Осветление леса, подъем нижней границы темнохвойных пород происходит 3.8–3.7 тыс. кал.л.н., в составе спектра наблюдается увеличение доли *Pinus sylvestris* L. до 46% — максимум с начала процесса болотообразования, содержание пихты и ели сократилось соответственно до 3.8 и 2.6%. На интервал 3.7–3.6 тыс. кал.л.н. приходится крупное пожарное событие со скоростью аккумуляции угля около 250 частиц на 1 см<sup>2</sup> в год. Пожары способствовали активному распространению кустарников и травянистых, доля последних в составе пыльцевого спектра болота Сосновка возросла до 11% от AP+NAP и включает 16 таксонов — максимум разнообразия за реконструкцию.

Данный период снижения увлажнения и усиления пожарной активности хорошо согласуется с суб boreальным термическим максимум голоценом (с 4.2 по 3.2 тыс.л.н.), который выделяется Н.А. Хотинским (1982) для Северной Евразии, или в глобальном масштабе с “событием 4.2” (4.2–3.8 тыс. кал.л.н.) (Mayewski et al., 2004; Wang et al., 2016). Проявление аридизации в этот период отмечено и в смежных районах: в пределах таежной зоны Приенисейской Сибири, где наблюдался рост сухих местообитаний, господство травяных ассоциаций и возрастание роли лиственницы и сосны в древостое (Кошков, Кошкова, 2003); в Прибайкалье аридизация климата привела к активизации эоловых процессов, к проявлению у синлитогенных почв свойств характерных для сухостепных почв, к обогащению почв древесными угольками — следами многократных пожаров на окружающей территории (Воробьева, 2010); в межгорных котловинах Байкальской рифтовой зоны Л.В. Данько (2009) отмечает в суб boreale два эпизода активизации эоловых процессов, наиболее значительная и продолжительная аридизация

климата (региональное проявление опустынивания) приходится на  $3800 \pm 65$  л.н. (Верхнечарская котловина, Северное Забайкалье) и коррелирует с экстремумом ксеротермической фазы голоцена.

В интервале 3.6–3.0 тыс. кал.л.н. в бассейне р. Кан наблюдается постепенное увеличение увлажнения, нашедшее отражение в виде усиления участия пихты и ели в составе древостоя (доля в спектре соответственно 8–11% и 7%), в напочвенном покрове отмечены *Lycopodium dubium*, папоротники (Polypodiaceae — 85%), присутствуют представители сем. Ophioglossaceae (до 7.7%) — индикаторы влажных березовых и пихтовых лесов, заболоченных лугов (Флора Сибири, 1988). В составе болотного сообщества небольшое, но стабильное положение занимают болотные травы: рогоз, вахта, вейник, пушкица. Вероятно, уровень воды в реке поднимался значительно, пойма затапливалась, на что указывает и высокое значение зольности — 50–52%. Около 3.2 тыс. кал.л.н. было небольшое пожарное событие с минимальной скоростью аккумуляции частиц угля.

Позже (3.0–2.3 тыс. кал.л.н.) в составе осокового сообщества доля доминанта *C. lasiocarpa* снизилась до 65%, отмечены *C. limosa*, *C. vesicaria*, *C. rostrata*, *C. chordorrhiza*, *C. appropinquata*, *Comarum palustre*, зеленый мох, *Betula* sect. *Nanae*. Среди моллюсков численно преобладают представители водных таксонов, доминантом является *Gyraulus acronicus*, содоминант — *Ladislavella terebra* — данный вид тяготеет к заболоченным местообитаниям, увлажненным участкам пойм малых рек (Хохуткин и др., 2009). Максимальное количество раковин приходится на интервал 2.3–2.2 тыс. кал.л.н. — 71 шт., в этом же слое в составе споровых отмечен *Lycopodium dubium* — 13.3% — максимум за весь период, вид характерный для тундры, лесотундры, изредка встречается в сосновых лесах (Флора Сибири, 1988).

Известно, что временной интервал 3.5–2.5 тыс. л.н. выделяют как этап глобальных климатических изменений, когда происходило наступление горных ледников, снижалась верхняя граница леса в горах (Mayewski et al., 2004; Борисова, 2014). Так, на Алтае, согласно (Галахов и др., 2012) в позднем голоцене выделяют три фазы наступления ледников с максимумами: 3100 л.н., 2500, 1600 л.н. В Прибайкалье похолодание фиксируется примерно 3400 л.н. образованием мелких криогенных грунтовых жил, образованием льда в Большой Байдинской пещере (Воробьева, 2010), а также на рубеже около 2500 л.н. значительное похолодание оставило следы в виде системы криогенных трещин на склонах и террасах и в виде криогенных смятий в пойменных отложениях, кроме того, произошло

сокращение площади лесов, расширение ерниковых формаций и оголенных пространств.

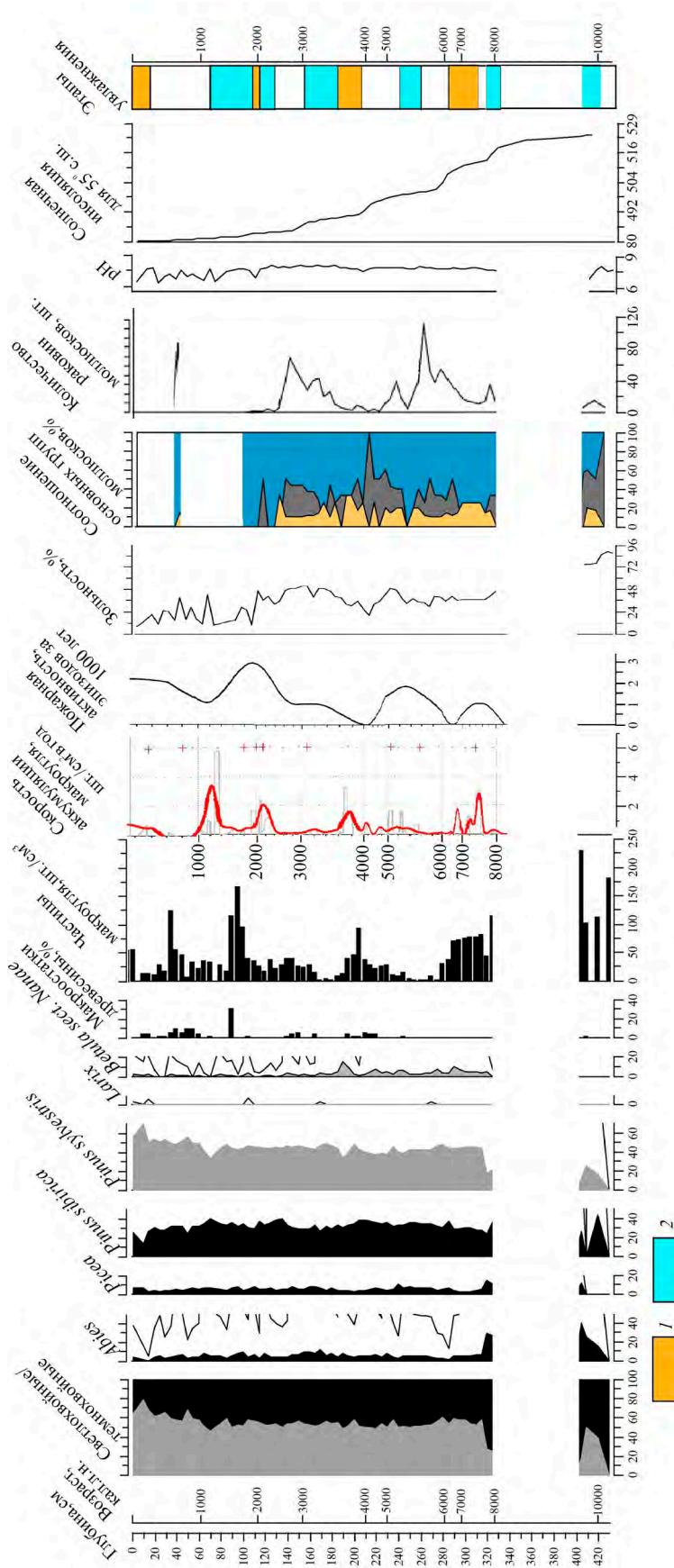
Максимум содержания пыльцы *Pinus sibirica* (38.3%) приходится на 2.2–2.1 тыс. кал.л.н., с этого времени и до 2.0 тыс. кал.л.н. общее содержание темнохвойных в составе пыльцевого спектра увеличилось до 46% (доля пихты невелика — 3.6–4%), доля светлохвойных — 43%. На отметке 2.2 тыс. кал.л.н. находится верхняя граница относительно обильного включения раковин моллюсков (39 шт.).

Условия 2.0–1.8 тыс. кал.л.н. не способствовали развитию сообществ моллюсков: количество раковинок сходит на ноль. Кроме того, отмечается сокращение ареала *Pinus sibirica*, в составе древостоя встречается *Larix*, в напочвенном покрове выросло участие зеленого мха. На это время приходится усиление пожарной активности, пожарный режим отличается наибольшей частотой. Совокупность выявленных палеосигналов может указывать на снижение влажности, приведшее к полному исчезновению моллюсков в болотном биотопе (рис. 8).

Далее во временном интервале 1.8–1.3 тыс. кал.л.н. доля темнохвойных пород увеличивается, максимум — 46.8% — приходится на 1.4–1.3 тыс. кал.л.н., что подтверждает выявленное ранее по реконструкции “Болото Большое” (Гренадерова и др., 2024) снижение нижней границы леса в западной части Восточного Саяна в период Похолодания темных веков (410–775 гг.н.э.) (Helama et al., 2017).

В интервале (70–65 см, примерно 1.1–1.0 тыс. кал.л.н.) отмечена низкая концентрация пыльцы, зафиксированы споры печеночника маршанции (*Hepatica*) — пирофитный пионерный вид-эксплорант, который свойственен начальным этапам заселения “черных гарей” (Шабалина и др., 2021). Образец из интервала 65–60 см отличается максимальным значением зольности (42%). Можно предположить, что пожары, прошедшие выше по течению р. Кан во временном интервале 1.2–1.0 тыс. кал.л.н. (Гренадерова и др., 2024), способствовали обогащению поверхностного стока минеральными фракциями за счет постпирогенной эрозии.

Примерно с 900 кал.л.н. доля *Pinus sylvestris* начала увеличиваться и превысила 50% от состава пыльцевого спектра. В связи с отсутствием для отложений болота Сосновка достоверных дат выше интервала 95–90 см, возрастная привязка отклика на климатические изменения для этой части толщи была выполнена, опираясь на реконструкцию “Болото Большое”.



**Рис. 8.** Сводная диаграмма индикаторов палеоэкологических условий для реконструкции болота Сосновка. Инсолация для 55° с.ш. по (Berger, Loutre, 1991).

1 — интервал уменьшения увлажнения; 2 — интервал увеличения увлажнения, интерпретированного по комплексу полученных данных.

**Fig. 8.** Summary diagram of palaeoecological conditions indicators according to Sosnovka peat bog reconstruction. Solar insolation for 55° N according to Berger, Loutre 1991

1 – intervals of decrease; 2 – intervals of increase of moisture, interpreted based on a set of data.

В образце из интервала 55–50 см зафиксирована относительно низкая концентрация пыльцы (доминант *Pinus sylvestris*, содоминант *Pinus sibirica*), состав макрофоссилий отражает развитие разнотравно-осоково-гипнового сообщества с вересковыми и разреженным древесным ярусом из сосны и березы. В реконструкции “Болото Большое” подобный спорово-пыльцевой спектр отмечены в слое накопившемся 310–220 кал.л.н. — в период максимального проявления Малого ледникового периода (XVII–XIX вв.) в Алтае-Саянском регионе (Мыглан и др., 2012).

Слой 40–35 см с массовым включением раковин моллюсков (доля водных таксонов — 86%) может быть рассмотрен как интервал экстремального подъема уровня воды в реке и сопоставлен со слоем из болота Большое с возрастом 130–70 кал.л.н., где отмечены гидрофильные раковинные амебы *Centropyxis aculeata* и *Difflugia oblonga*, интервал характеризуется повышенным увлажнением.

## 6. ВЫВОДЫ

Отложения болота Сосновка, вследствие особых геоморфологических особенностей и специфики эволюции речной долины на рубеже плейстоцена и голоцене, сохранили непрерывную стратиграфическую последовательность, что позволило, опираясь на индикаторы палеогеографической обстановки, проследить локальные и региональные изменения ландшафтно-климатической среды в предгорье западной части Восточного Саяна.

В раннем голоцене на южной окраине Рыбинской впадины были распространены холодные безлесные ландшафты. Начиная примерно с 9.7 тыс. кал.л.н. и до 7.5 тыс. кал.л.н. условия тепло- и влагообеспеченности достигли оптимума для развития влажной темнохвойной тайги, кедрово-елово-пихтовые леса произрастали по долинам рек, по периферии Канской и Красноярской лесостепи в предгорье Восточного Саяна. Начало торфонакопления в пойме р. Кан датируется возрастом около 9.7 тыс. кал.л.н.

Усиление аридизации в термический оптимум голоцена (7.5–6.0 тыс.л.н.) привело к сокращению участия ели и пихты в составе древостоя, высокой горимости лесов, снижению водности рек и активному началу процесса торфонакопления в поймах притоков Енисея.

Похолодание начиная с 5.5 тыс. кал.л.н. способствовало большей обводненности болот, влагонасыщению почвы достаточному для развития темнохвойных лесов с высоким участием ели.

Около 4.2 тыс. кал.л.н. изменение климата в сторону иссушения обусловило мезотрофиза-

цию и облесение болот, высокую пожарную активность, увеличение разнообразия в составе травянистых сообществ на суходолах, подъем нижней границы темнохвойных лесов в горах. Также резкое сокращением ареала *Pinus sibirica* в составе древостоя и усиление пожарной активности наблюдалось 2.0–1.8 тыс. кал.л.н.

Периоды снижения теплообеспеченности и увеличения влажности пришлись на 3.6–3.0, 2.3–2.0, 1.8–1.3 тыс. кал.л.н. что, в том числе, повлияло на расширение ареала темнохвойных пород, с наиболее значительным откликом в интервале 1.4–1.3 тыс. кал.л.н.

Последние 800 лет характеризуются усилением континентальности, расширением лесов с участием *Pinus sylvestris* и высокой пожарной активностью. Скорость аккумуляции частиц угля достигла в последние 100 лет максимального за весь период реконструкции значения — 80 частиц/см<sup>2</sup> в год.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00341, <https://rscf.ru/project/23-27-00341/>. Авторы выражают благодарность М.В. Винарскому, д.б.н., профессору Санкт-Петербургского государственного университета за помощь при определении брюхоногих моллюсков; сотрудникам R&D-центра ГМК “Норильский никель” Сибирского федерального университета С.А. Сильянову и Б.М. Лобастову за выполнение минералогического анализа и сканирующей электронной микроскопии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антилова 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.
- Астафьева М.М., Герасименко Л.М., Гептнер А.Р. и др. (2011) Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах. М.: ПИН РАН. 172 с.
- Безрукова Е.В., Тарасов П.Е., Кулагина Н.В. и др. (2011) Палинологическое исследование донных отложений озера Котокель: (район озера Байкал). *Геология и геофизика*. Т. 52. № 4. С. 586–595.
- Берзин Н.А. (1967) Зона Главного разлома Восточного Саяна. М.: Наука. 147 с.
- Борисова О.К. (2014) Ландшафтно-климатические изменения в голоцене. *Известия РАН. Серия географическая*. № 2. С. 5–20.
- <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2014-2-5-20>

- Верещагин Н.К., Громов И.М. (1953) Сбор остатков высших позвоночных четвертичного периода. М.—Л.: Изд-во АН СССР. 39 с.
- Волков И.А. (1971) Позднечетвертичная субаэральная формация. М.: Наука. 254 с.
- Воробьева Г.А. (2010) Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета. 205 с.
- Галахов В.П., Черных Д.В., Золотов Д.В. и др. (2012) Положение и время формирования морен стадии фернау и исторической в бассейне реки Хайдун на Алтае. *Известия РГО*. Т. 144. Вып. 6. С. 15–21.
- ГОСТ 11306-2013 (2019) Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М.: Стандартинформ. 6 с.
- ГОСТ 11623-89 (1990) Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения обменной и активной кислотности [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024157> (26.02.2020).
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтая-Саянская. Лист N-46. Объяснительная записка. (2008). СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 391 с.
- Гренадерова А.В., Михайлова А.Б., Курьина И.В. и др. (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>
- Гричук В.П., Заклинская Е.Д. (1948) Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географгиз. 224 с.
- Данько Л.В. (2009) Эоловые отложения межгорных котловин юга Сибири: палеоландшафтные индикаторы опустынивания. В сб.: *Фундаментальные проблемы квартета: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы VI Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода*. Новосибирск: Изд-во СО РАН. С. 174–176.
- Демиденко Г.А. (2016) Изменение климата в позднем плейстоцене и голоцене юга Приенисейской Сибири. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет. 187 с.
- Демиденко Г.А., Хижняк С.В. (2018) Корреляционные связи между компонентами палеоландшафтов юга Приенисейской Сибири в голоцене. *Вестник КрасГАУ*. № 3. С. 206–210.
- Домбровская А.В., Коренева М.М., Тюремнов С.Н. (1959) Атлас растительных остатков, встречающихся в торфе. М.—Л.: Госэнергоиздат. 137 с.
- Евсеева Н.С., Жилина Т.Н. (2010) Палеогеография конца позднего плейстоцена и голоцена (корреляция событий). Томск: Изд-во НТЛ. 180 с.
- Жадин В.И. (1952) Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. М.—Л.: Изд-во АН СССР. 376 с.
- Золотарев А.Г. (1989) Периорогенные территории Советского Союза. *Геоморфология*. № 2. С. 26–37.
- Карта полезных ископаемых: N-46(47) (Абакан). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Новая серия. Карта дочетвертичных образований, масштаба 1:1000000. (1999). Под ред. В.В. Беззубцева, Ю.С. Глухова. Красноярск: ФГУПП Красноярскгеолсъемка. 1 л.
- Кац Н.Я., Кац С.В., Скобеева Е.И. (1977) Атлас растительных остатков в торфах. М.: Недра. 371 с.
- Качинский Н.А. (1958) Механический и микроагрегатный состав почвы и методы его изучения. М.: АН СССР. 192 с.
- Кинд Н.В. (1974) Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. М.: Наука. 255 с.
- Кольцова В.Г. (1980) История лесной растительности заповедника “Столбы” в голоцене. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск: Институт леса и дрессесины им. В.Н. Сукачева. 150 с.
- 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.
- Кошкarov А.Д., Кошкрова В.Л. (2003) Развитие природной среды бассейна р. Кас в послеледниковый период. В сб.: *Палеогеография Средней Сибири. Вып. 3*. Красноярск: Красноярский государственный университет. С. 38–43.
- Краснобродова И.М. (1988) Флора Сибири. Том 1. *Lycopodiaceae — Hydrocharitaceae*. Новосибирск: Наука. 200 с.
- Крылов Г.В., Марадудин И.И., Михеев Н.И., Козакова Н.Ф. (1986) Пихта. М.: Агропромиздат. 240 с.
- Кузьмин С.Б., Белозерцева И.А., Шаманова С.И. (2014) Палеогеографические события Прибайкалья в голоцене. *Успехи современного естествознания*. № 12. С. 62–75.
- Куликова Г.Г. (1974) Краткое пособие к ботаническому анализу торфа. М.: Изд-во Московского университета. 94 с.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1972) Пыльца и споры растений флоры СССР. Л.: Наука. Т. 1. 171 с.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1978) Пыльца двудольных растений флоры Европейской части СССР. *Lamiaceae, Zygophyllaceae*. Л.: Наука. 183 с.
- Лапшина Е.Д. (2003) Флора болот юго-востока Западной Сибири. Томск: Изд-во Томского университета. 296 с.
- Лебедева Н.В. (2011) Моллюски Голоцена Южно-Минусинской котловины. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск: ТГУ. 26 с.
- Лихарев И.М., Раммельмайер Е.С. (1952) Наземные моллюски фауны СССР (Определители по фауне СССР, издаваемые зоологическим институтом АН СССР). Т. 43. М.—Л.: Изд-во АН СССР. 512 с.
- Масленников П.В., Долгин В.Н. (2014) Видовое разнообразие пресноводных моллюсков различных типов пойменных и болотных озер бассейна реки Чулым (Средняя Обь). *Современные проблемы науки и образования*. № 3. С. 622–627.
- Масленникова А.В., Блинов И.А., Удачин В.Н. (2012) Фрамбоидальный пирит в донных отложениях озер

- Южного Урала. В сб.: *Минералы: строение, свойства, методы исследования: материалы IV Всероссийской молодежной научной конференции*. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН. С. 188–190.
- Мыглан В.С., Ойдупаа О.Ч., Ваганов Е.А. (2012) Построение 2367-летней древесно-кольцевой хронологии для Алтас-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 Алтас-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*. Т. 52. № 3. С. 24–47. <https://doi.org/10.31857/S0435428121030093>
- Осипова Е.М. (2009) Характеристика поздненеоплейстоцен-голоценовых моллюсков Южноуральского региона. *Геологический сборник*. № 8. С. 49–52.
- Платонов Г.М. (1964) Болота лесостепи Средней Сибири. М.: Наука. 116 с.
- Сергеев Г.М. (1971) Островные лесостепи и подтайга Приенисейской Сибири. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное изд-во. 264 с.
- Стратиграфический кодекс России (2019). Под ред. А.И. Жамойда. СПб.: ВСЕГЕИ. 96 с.
- Торфяные месторождения и их разведка (руководства по лабораторно-практическим занятиям) (1977). Под ред. И.Ф. Ларгина. М.: Недра. 264 с.
- ФГБУ “Среднесибирское УГМС” — официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.krasnoyarsk.ru/> (дата обращения: 17.02.2022).
- Филиппов В.А., Филиппов Д.А. (2010) О методике построения стратиграфических колонок торфяных залежей с использованием программы *Gistogram Maker*. *Труды Инсторфа*. № 2. С. 11–14.
- Флора Сибири. Lycopodiaceae — Hydrocharitaceae (1988). Под ред. И.М. Красноборова. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение. 200 с.
- Хотинский Н.А. (1977) Голоцен Северной Евразии: Опыт трансконтинентальной корреляции этапов развития растительности и климата. М.: Наука. 197 с.
- Хотинский Н.А. (1982) Голоценовые хроносрезы: дискуссионные проблемы палеогеографии голоцена. В сб.: *Развитие природы территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене*. М.: Наука. С. 142–147.
- Хохуткин И.М., Винарский М.В., Гребенников М.Е. (2009) Моллюски Урала и прилежащих территорий. Семейство Прудовиковые Lymnaeidae (Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeiformes). Ч. 1. Екатеринбург: Гошицкий. 156 с.
- Чипизубов А.В., Смекалин О.П. (1999) Палеосеймодислокации и связанные с ними палеоземлетрясения по зоне Главного Саянского разлома. *Геология и геофизика*. Т. 40. № 6. С. 936–947.
- Шабалина О.М., Гренадерова А.В., Безкоровайная И.Н. и др. (2021) Сопряженная динамика восстановления растительности и сообществ раковинных амеб на гряжах в лесах Центральной Эвенкии. *Лесоведение*. № 3. С. 278–289. <https://doi.org/10.31857/S0024114821030116>
- Шарафутдинов Р.А., Гренадерова А.В., Мандрыка П.В. и др. (2018) Стратиграфия отложений острова Отдыха в среднем течении реки Енисей (г. Красноярск). *Проблемы региональной экологии*. № 5. С. 100–105. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-15100>
- Шарова О.Г., Безрукова Е.В., Летунова П.П. и др. (2015) Растительность и климат Танхойской подгорной равнины (южное побережье оз. Байкал) в позднеледниковые и голоцене. *Известия Иркутского государственного университета*. Т. 11. С. 86–102.
- Шилейко А.А. (1984) Наземные моллюски подотряда Pupillina (Gastropoda, Pulmonata, Geophila). Т. 3. Вып. 3. Л.: Наука. 399 с.
- Шилейко А.А., Лихарев И.М. (1986) Наземные моллюски семейства янтарок (Succineidae) фауны СССР. В сб.: *Сборник трудов Зоологического музея*. Т. 29. М.: Изд-во МГУ. С. 198–238.
- Юркин В.И. (1968) Геологическая карта СССР. Объяснительная записка. Масштаб 1:200000. Серия Восточно-Саянская. Лист N-47-VIII. М.: Недра. 59 с.
- Alexandrowicz S.W., Alexandrowicz W.P. (2011) Analiza malakologiczna — metody badań i interpretacji. Krakow: Polska Akademia Umiejętności. 301 p.
- Berger A., Loutre, M.F. (1991) Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 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. <https://doi.org/10.1002/jqs.915>
- Bezrukova E., Tarasov P., Solovieva N. et al. (2010) Last glacial-interglacial vegetation and environmental dynamics in southern Siberia: Chronology, forcing and feedbacks. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* Vol. 296. P. 185–198. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.07.020>
- Bezrukova E.V., Abzaeva A.A., Letunova P.P. et al. (2005) Post-glacial history of Siberian spruce (*Picea obovata*) in the Lake Baikal area and the significance of this species as a paleo-environmental indicator. *Quat. Int.* Vol. 136. Iss. 1. P 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2004.11.007>
- Clark J.S. (1988) Particle Motion and the Theory of Charcoal Analysis: Source Area, Transport, Deposition, and Sampling. *Quat. Res.* Vol. 30. 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*. Vol. 8. Iss. 1. P. 19–29. <https://doi.org/10.1191/095968398672501165>
- Columbu A., Zhorniyak 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.* Vol. 320. 108355. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108355>
- 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*. Vol. 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.
- Horsák M., Chytrý M., Hájková P. et al. (2015) European glacial relict snails and plants: environmental context of their modern refugial occurrence in southern Siberia. *Boreas*. Vol. 4. Iss. 44. P. 638–657.
- Horsák M., Chytrý M., Pokryszko B.M. (2010) Habitats of relict terrestrial snails in southern Siberia: lessons for the reconstruction of palaeoenvironments of full-glacial Europe. *J. of Biogeography*. No. 37. P. 1450–1462.
- Juggins S. (2003) User guide: C2, Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization. In: *Department of Geography University of Newcastle*. Newcastle upon Tyne. P. 1–69.
- Kosanovic C., Fermani S., Falini G. et al. (2017) Crystallization of Calcium Carbonate in Alginate and Xanthan Hydrogels. *Crystals*. Vol. 7. Iss. 12. P. 355. <https://doi.org/10.3390/crust7120355>
- Ložek V. (1964) Quartermollusken der Tschechoslowakei. Praha: Rozpravy Ústředního ústavu geologického. 374 p.
- MacArthur R.H. (1957) On the relative abundance of bird species. *Proc. Natl. Acad. Sci.* Vol. 43. No. 3. P. 293–295. <https://doi.org/10.1073/pnas.43.3.293>
- Mackay A.W., Bezrukova E.V., Boyle J.F. et al. (2013) Multiproxy evidence for abrupt climate change impacts on terrestrial and freshwater ecosystems in the Ol’khon region of Lake Baikal, central Asia. *Quat. Int.* Vol. 290–291. P. 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.09.031>
- Mayewski P.A., Rohling E.E., Stager J.C. et al. (2004) Holocene climate variability. *Quat. Res.* Vol. 62. P. 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.07.001>
- 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*. Vol. 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*. Vol. 433. P. 613–617. <https://doi.org/10.1038/nature03265>
- Molnar Z., Pekker P., Pósfai M. (2019) Calcium carbonate precipitation induced by clay minerals. In: *Goldschmidt Conference*. Barcelona: European Association of Geochemistry and the Geochemical Society. 1 p.
- Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. (1991) Pollen analysis. Oxford: blackwell scientific publications. 216 p.
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. Vol. 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*. Vol. 225. P. 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2015.11.001>
- Solomina O., Haeberli W., Kull C. et al. (2008) Historical and Holocene glacier–climate variations: General concepts and overview. *Global and Planetary Change*. Vol. 60. No. 1–2. P. 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.02.001>
- Sysoev A., Schileyko A. (2009) Land Snails and Slugs of Russia and Adjacent Countries. Sofia: Pensoft Publishers. 454 p.
- Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E. et al. (2007) Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from Lake Baikal pollen records. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* Vol. 252. P. 440–457. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.05.002>
- Tarasov P.E., Bezrukova E.V., Krivonogov S.K. (2009) Late Glacial and Holocene changes in vegetation cover and climate in southern Siberia derived from a 15 kyr long pollen record from Lake Kotokel. *Climate of the Past Discussions*. Vol. 5. P. 127–151. <http://doi.org/10.5194/cpd-5-127-2009>
- Wang Y., Liu X., Herzschuh U. (2010) Asynchronous evolution of the Indian and East Asian summer monsoon indicated by Holocene moisture patterns in monsoonal central Asia. *Earth-Sci. Rev.* Vol. 103. P. 135–153. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.09.004>
- Wanner H., Beer J., Butikofer J. et al. (2008) Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 27. No. 19–20. P. 1791–1828. <http://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013>
- White D.A., Preece R., Shchetnikov A.A. et al. (2008) Holocene molluscan succession from floodplain sediments of the upper Lena River (Lake Baikal region), Siberia. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 27. P. 962–987. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.01.010>

# LANDSCAPE AND CLIMATIC CONDITIONS IN THE EASTERN SAYAN FOOTHILLS IN THE HOLOCENE ACCORDING TO THE STUDY OF THE SOSNOVKA MIRE<sup>1</sup>

A. V. Grenaderova<sup>a, #</sup>, A. B. Mikhailova<sup>a</sup>, R. A. Sharafutdinov<sup>a</sup>, and T. G. Stojko<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Institute of Ecology and Geography Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>b</sup> Pedagogical Institute of Belinsky Penza State University, Penza, Russia

<sup>#</sup> E-mail: grenaderova-anna@mail.ru

This study is devoted to the vegetation dynamics, hydroclimatic conditions and fires research in the northwestern macroslope foothills of the Eastern Sayan. The results of palaeoecological reconstruction obtained based on AMS dating, pollen, macrofossils, macrocharcoal and malacofaunal analyses of the Sosnovka mire deposits (right bank of the Yenisei River, southern part of the Rybinskaya Depression) covering the last  $\approx$  11,000 calendar years are presented. The grain size analysis of the mineral deposits underlying peat was performed and minerals of different size fractions were studied using scanning electron microscopy. The data show that about 10,000 calendar years ago, a shallow water body experiencing periodic shallowing were formed in the floodplain of the Kan River. The process of mire formation began  $\approx$  9,700–8,500 cal. yr BP at the optimum of heat and moisture supply, when the dry valleys were covered with a mixed siberian pine-spruce-fir forest dominated by spruce and fir. During the Holocene Thermal Optimum (7,500–6,000 years ago) a reduction in spruce and fir in the composition of the forest stand, increased fire activity, clearing of forests, beginning of mire formation in the floodplains of rivers with catchments in the western part of the Eastern Sayan foothills occurred. The periods of decreased heat supply and increased humidity occurred at 5,500–5,200, 3,560–2,960, 2,300–2,000, 1,800–1,300 cal. yr BP. This, among other things, caused the expansion of the range of dark coniferous forests, with the most significant response in the range of 1,360–1,300 cal. yr BP. Changes in climatic conditions towards aridization and increased continentality 7,500–6,000 cal. yr BP, 3,800–3,600 and 2,000–1,800 cal. yr BP contributed to the rise of the lower boundary of dark coniferous forests and increased fire activity. The last 800 years have been characterized by strengthening of continentality, expansion of forests with *Pinus sylvestris* and the highest fire activity (in the last 100 years the rate of accumulation of macroscopic charcoal has been 80 particles/cm<sup>2</sup> per year).

**Keywords:** vegetation and climate reconstruction; Holocene; peat deposits; mollusks; fires; Eastern Sayan

## ACKNOWLEDGMENTS

The study was funded by the Russian Science Foundation, Project No. 23-27-00341, <https://rscf.ru/project/23-27-00341/>. The authors express their gratitude to Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Macroecology and Biogeography of Invertebrates of St. Petersburg State University, Professor M.V. Vinarsky for assistance in identifying gastropods; to employees of the R&D center of MMC Norilsk Nickel of Siberian Federal University S.A. Silyanov and B.M. Lobastov for performing mineralogical analysis and scanning electron microscopy.

## REFERENCES

- Alexandrowicz S.W., Alexandrowicz W.P. (2011) Analiza malakologiczna — metody badań i interpretacji. Krakow: Polska Akademia Umiejętności. 301 p.
- Antipova E.M. (2003) Flora severnykh lesosteppei 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). *Geologiya i geofizika*. Vol. 45. No. 4. P. 430–442 (in Russ).
- Astafieva M.M., Gerasimenko L.M., Geptner A.R. et al. (2011) Iskopaemye bakterii i drugie mikroorganizmy v zemnykh porodakh i astromaterialakh (Fossil bacteria and other microorganisms in terrestrial rocks and astromaterials). Moscow: PIN RAS (Publ.). 172 p (in Russ).
- Berger A., Loutre, M.F. (1991) Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 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. <https://doi.org/10.1002/jqs.915>
- Bezrukova E., Tarasov P., Solovieva N. et al. (2010) Last glacial-interglacial vegetation and environmental dynamics

<sup>1</sup> For citation: Grenaderova A.V., Mikhailova A.B., Sharafutdinov R.A., and Stojko T.G. (2025) Landscape and climatic conditions in the Eastern Sayan Foothills in the Holocene according to the study of the Sosnovka Mire. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 56. No. 3. P. 418–441 (in Russ). <https://doi.org/10.31857/S2949178925030052>

- in southern Siberia: Chronology, forcing and feedbacks. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* Vol. 296. P. 185–198.  
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.07.020>
- Bezrukova E.V., Abzaeva A.A., Letunova P.P. et al. (2005) Post-glacial history of Siberian spruce (*Picea obovata*) in the Lake Baikal area and the significance of this species as a paleo-environmental indicator. *Quat. Int.* Vol. 136. Iss. 1. P 47–57.  
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2004.11.007>
- Bezrukova E.V., Tarasov P.E., Kulagina N.V. et al. (2010) Palynological study of Lake Kotokel' bottom sediments (Lake Baikal Region). *Russian Geology and Geophysics.* Vol. 52. No. 4. P. 458–465.  
<https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.03.008>
- Bezzubtseva V.V., Glukhova Yu.S. (Eds.) (1999) Karta poleznykh iskopaemykh: N-46(47) (Abakan). Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Novaya seriya. Karta dochetvertichnykh obrazovaniy, masshtab 1:1000000 (Map of useful minerals: N-46(47) (Abakan). State geological map of the Russian Federation. New series. Map of pre-Quaternary formations, scale 1:1000000). Krasnoyarsk: FGUP Krasnoyarskgeols'emska. 1 p.
- Borisova O.K. (2014) Landscape and Climate Change in Holocene. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya.* No. 2. P. 5–20 (in Russ).  
<https://doi.org/10.15356/0373-2444-2014-2-5-20>
- Clark J.S. (1988) Particle Motion and the Theory of Charcoal Analysis: Source Area, Transport, Deposition, and Sampling. *Quat. Res.* Vol. 30. 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.* Vol. 8. Iss. 1. P. 19–29.  
<https://doi.org/10.1191/095968398672501165>
- Columbu A., Zhorniyak 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.* Vol. 320. 108355.  
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108355>
- Danko L.V. (2009) Aeolian deposits of intermountain basins of Southern Siberia: paleolandscape indicators of desertification. In: *Fundamental'nye problemy kvartera: itogi izucheniya i osnovnye napravleniya dal'neishikh issledovanii. Materialy VI Vserossiiskogo soveshchaniya po izucheniyu chetvertichnogo perioda.* Novosibirsk: Izdatel'stvo SB RAS (Publ.). P. 174–176 (in Russ).
- Demidenko G.A. (2016) Izmenenie klimata v pozdnem pleistotsene i golotsene yuga Prieniseiskoi Sibiri (Climate change in the Late Pleistocene and Holocene of the South of Yenisei Siberia). Krasnoyarsk: KrasGAU (Publ.). 187 p (in Russ).
- Demidenko G.A., Khizhnyak S.V. (2018) Correlation relations between paleolandscapes components of the south of Prieniseyskaya Siberia in the Holocene. *Vestnik KrasGAU.* No. 3. P. 206–210 (in Russ)
- Dombrovskaya A.V., Koreneva M.M., Turennov S.N. (1959) Atlas rastitel'nykh ostatkov, vstrechayushchikhysya v torfe (Atlas of plant residues found in peat). Moscow–Leningrad: Gosenergoizdat (Publ.). 137 p (in Russ).
- Evseeva N.S., Zhilina T.N. (2010) Paleogeografiya kontsa pozdnego pleistotsena i golotsena (korrelyatsiya sobytii) (Paleogeography of the Late Pleistocene and Holocene (correlation of events). Tomsk: NTL (Publ.). 180 p (in Russ).
- FGBU "Srednesibirskoye UGMS" — ofitsial'nyi sait (FSBI "Central Siberian UGMS" — official site) [Electronic data]. URL: <http://meteo.krasnoyarsk.ru/> (access date: 17.02.2022).
- Galakhov V.P., Chernykh D.V., Zolotov D.V. et al. (2012) Location and time of moraine forming of Fernau and historic stages in the basin of Khaidun river, Altai. *Izvestiya RGO.* Vol. 144. Iss. 6. P. 15–21 (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).
- GOST 11623-89 (1990) Torf i produkty ego pererabotki dlya sel'skogo khozyaistva. Metody opredeleniya obmennoi i aktivnoi kislotnosti (Peat and its processed products for agriculture. Methods for determining exchange and active acidity) [Electronic data]. URL: <https://docs.ctnd.ru/document/1200024157> (access date: 26.02.2020).
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Altai-Sayanskaya. List N-46. Ob'yasnitel'naya zapiska (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Altai-Sayan Series. Sheet N-46. Explanatory Note.). (2008). Sankt-Peterburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI (Publ.). 391 p.
- Grenaderova A.V., Mikhailova A.B., Kuryina I.V. et al. (2024) The vegetation cover response in the Eastern Sayan Foothills to the Holocene climate extremes (the Bolshoye Peat Bog case study). *Geomorfologiya i Paleogeografiya.* Vol. 55. No. 4. P. 157–176 (in Russ).  
<https://doi.org/10.31857/S2949178924040107>
- 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.
- Grichuk V.P., Zaklinskaya E.D. (1948) Analiz iskopaemykh pyl'tsy i spor i ego primenie v paleogeografi (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.* Vol. 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.
- Horsák M., Chytrý M., Hájková P. et al. (2015) European glacial relict snails and plants: environmental context of their modern refugial occurrence in southern Siberia. *Boreas.* Vol. 4. Iss. 44. P. 638–657.
- Horsák M., Chytrý M., Pokryszko B.M. (2010) Habitats of relict terrestrial snails in southern Siberia: lessons for the reconstruction of palaeoenvironments of full-glacial Europe. *J. of Biogeography.* No. 37. P. 1450–1462.
- Juggins S. (2003) User guide: C2, Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization. In: *Department of Geography University of Newcastle.* Newcastle upon Tyne. P. 1–69.
- Kaczynski N.A. (1958) Mekhanicheskii i mikroagregatnyi sostav pochvy i metody ego izucheniya (Mechanical and Micro Soil Composition, Methods of its Study). Moscow: AN SSSR (Publ.). 193 p (in Russ).

- Kats N. Ya., Kats S.V., Skobeeva E.I. (1977) Atlas rastitel'nykh ostatkov v torfakh (Atlas of plant residues in peats). Moscow: Nedra (Publ.). 371 p (in Russ).
- Khokhutkin I.M., Vinarsky M.V., Grebennikov M.E. (2009) Mollyuski Urala i prilezhashchikh territorii. Semeistvo Prudovikovye Lymnaeidae (Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeiformes). Ch. 1. (Mollusks of the Urals and adjacent territories. Family Lymnaeidae (Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeiformes). Part 1.). Yekaterinburg: Goschitsky (Publ.). 156 p (in Russ).
- Khotinsky N.A. (1977) Golotsni 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).
- Khotinsky N.A. (1982) Holocene chronosections: controversial problems of Holocene paleogeography. In: *Razvitiye prirody territorii SSSR v pozdnem pleistotsene i golotsene*. Moscow: Nauka (Publ.). P. 142–147 (in Russ).
- Kind N.V. (1974) Geokhronologiya pozdnego antropogena po izotopnym dannym (Geochronology of the late anthropogenic period according to isotope data). Moscow: Nauka (Publ.). 255 p (in Russ).
- Koltsova V.G. (1980) Istorya lesnoi rastitel'nosti zapovednika "Stolby" v golotsene (The history of forest vegetation of the Stolby Nature Reserve in the Holocene). PhD thesis. Krasnoyarsk: Institut lesa i drevesiny im. V.N. Sukacheva. 150 p (in Russ).
- Korotkov I.A. (1994) Forest zoning of Russia and the republics of the former USSR. In: *Uglerod v ekosistemakh lesov i bolot Rossii*. Krasnoyarsk: Computing Center SB RAS (Publ.). P. 29–47 (in Russ).
- Kosanovic C., Fermani S., Falini G. et al. (2017) Crystallization of Calcium Carbonate in Alginate and Xanthan Hydrogels. *Crystals*. Vol. 7. Iss. 12. P. 355. <https://doi.org/10.3390/crust7120355>
- Koshkarov A.D., Koshkarova V.L. (2003) The development of the natural environment of the Kas river basin in the postglacial period. In: *Paleogeografiya Srednei Sibiri. No. 3*. Krasnoyarsk: KSU (Publ.). P. 38–43 (in Russ).
- Krasnobrodova I.M. (1988) Flora Sibiri. Tom 1. Lycopodiaceae—Hydrocharitaceae (Flora of Siberia. Vol. 1. Lycopodiaceae — Hydrocharitaceae.). Novosibirsk: Nauka (Publ.). 200 p (in Russ).
- Krylov G.V., Maradudin I.I., Mikheyev N.I., Kozakova N.F. (1986) Pikhata. (Fir). Moscow: Agropromizdat (Publ.). 240 p (in Russ).
- Kulikova G.G. (1974) Kratkoe posobie k botanicheskому analizu torfa (A short guide to botanical analysis of peat). Moscow: MSU (Publ.). 94 p (in Russ).
- Kupriyanova L.A., Aleshina L.A. (1972) Pyl'tsa i spory rastenii flory SSSR T. 1. (Pollen and spores of plants of the flora of the USSR Vol. 1). Leningrad: Nauka (Publ.). 171 p (in Russ).
- Kupriyanova L.A., Aleshina L.A. (1978) Pyl'tsa 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).
- Kuzmin S.B., Belozertseva I.A., Shamanova S.I. (2014) Palaeogeographic events of Prebaikal region in Holocene. *Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya*. No. 12. P. 62–75 (in Russ).
- Lapshina E.D. (2003) Flora bolot yugo-vostoka Zapadnoi Sibiri (Flora of the swamps of the south-east of Western Siberia). Tomsk: Tomsk University (Publ.). 296 p (in Russ).
- Largina I.F. (1977) Torfyanye mestorozhdeniya i ikh razvedka (rukovodstva po laboratorno-prakticheskim zanyatiyam) (Peat deposits and their exploration (guidelines for laboratory and practical exercises)). Moscow: Nedra (Publ.). 264 p (in Russ).
- Likharev I.M., Rammelmeyer E.S. (1952) Nazemnye mollyuski fauny SSSR (Opredeliteli po faune SSSR, izdavaemye zoologicheskim institutom AN SSSR) (Terrestrial mollusks of the fauna of the USSR (Identification guides of the fauna of the USSR, published by the Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences)). Moscow—Leningrad: AS USSR (Publ.). Vol. 43. 512 p (in Russ).
- Ložek V. (1964) Quartermollusken der Tschechoslowakei. Praha: Rozpravy Ústředního ústavu geologického. 374 p.
- MacArthur R.H. (1957) On the relative abundance of bird species. *Proc. Natl. Acad. Sci.* Vol. 43. No. 3. P. 293–295. <https://doi.org/10.1073/pnas.43.3.293>
- Mackay A.W., Bezrukova E.V., Boyle J.F. et al. (2013) Multi-proxy evidence for abrupt climate change impacts on terrestrial and freshwater ecosystems in the Ol'khon region of Lake Baikal, central Asia. *Quat. Int.* Vol. 290–291. P. 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.09.031>
- Maslennikov P.V., Dolgin V.N. (2014) Species diversity of freshwater mollusks of different types of floodplain and marsh lakes of the Chulym River basin (Middle Ob). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. No. 3. P. 622–627 (in Russ).
- Maslennikova A.V., Blinov I.A., Udachin V.N. (2012) Framboidal pyrite in bottom sediments of lakes of the Southern Urals. In: *Mineraly: stroenie, svoistva, metody issledovaniya. Materialy IV Vserossiiskoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii*. Yekaterinburg: Institut geologii i geokhimii UrO RAN (Publ.). P. 188–190 (in Russ).
- Mayewski P.A., Rohling E.E., Stager J.C. et al. (2004) Holocene climate variability. *Quat. Res.* Vol. 62. P. 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.07.001>
- 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*. Vol. 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*. Vol. 433. P. 613–617. <https://doi.org/10.1038/nature03265>
- Molnar Z., Pekker P., Pósfai M. (2019) Calcium carbonate precipitation induced by clay minerals. In: *Goldschmidt*

- Conference.* Barcelona: European Association of Geochemistry and the Geochemical Society. 1 p.
- Moore P.D., Webb J.A., Collinsom M.E. (1991) Pollen analysis. Oxford: blackwell scientific publications. 216 p.
- 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). *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*. Vol. 40. No. 3. P. 76–83.  
<https://doi.org/10.1016/j.aeae.2012.11.009>
- Nikolaev V.A., Chernov A.F. (1988) Rel'ef Altai-Sayanskoi gornoi oblasti (Relief of the Altai-Sayan Mountain region). Novosibirsk: Nauka (Publ.). 204 p (in Russ).
- Novenko E. Yu. (2021) Landscape and climate dynamics in Central and Eastern Europe during the Holocene — assessment of future environmental changes. *Geomorfologiya*. Vol. 52. No. 3. P. 24–47 (in Russ).  
<https://doi.org/10.31857/S0435428121030093>
- Osipova E.M. (2009) Characteristics of late Pleistocene-Holocene mollusks of the South Ural region. *Geologicheskiy sbornik*. No. 8. P. 49–52.
- Platonov G.M. (1964) Bolota lesostepi Srednei Sibiri (Forest-steppe swamps of Central Siberia). Moscow: Nauka (Publ.). 116 p (in Russ).
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. Vol. 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*. Vol. 225. P. 1–20.  
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2015.11.001>
- Sergeev G.M. (1971) Ostrovnye 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).
- Shabalina O.M., Grenaderova A.V., Bezkorovaynaya I.N. et al. (2021) Coupled dynamics of vegetation and testate amoebae associations restoration on burned-out areas in Central Evenkia forests. *Lesovedenie*. No. 3. P. 278–289 (in Russ).  
<https://doi.org/10.31857/S0024114821030116>
- Sharafutdinov R.A., Grenaderova A.V., Mandryka P.V. et al. (2018) Sediment's stratigraphy of Otdykh Island in the middle Yenisei River (Krasnoyarsk). *Problemy regional'noi ekologii*. No. 5. P. 100–105 (in Russ).  
<https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-15100>
- Sharova O.G., Bezrukova E.V., Letunova P.P. et al. (2015) Vegetation and climate of the Tankhui foothill plain (southern coast of Lake Baikal) in the Late Glacial and Holocene. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta*. Vol. 11. P. 86–102 (in Russ).
- Shileyko A.A. (1984) Nazemnye mollyuski podotryada Pupillina (Gastropoda, Pulmonata, Geophila). T. 3. Vyp. 3. (Terrestrial mollusks of the Pupillina suborder (Gastropoda, Pulmonata, Geophila). Vol. 3. Iss. 3.). Leningrad: Nauka (Publ.). 399 p (in Russ).
- Shileyko A.A., Likharev I.M. (1986) Terrestrial mollusks of the amber family (Succineidae) of the fauna of the USSR. In: *Sbornik trudov Zoologicheskogo muzeya*. Vol. 29. Moscow: MGU (Publ.). P. 198–238 (in Russ).
- Solomina O., Haeberli W., Kull C. et al. (2008) Historical and Holocene glacier–climate variations: General concepts and overview. *Global and Planetary Change*. Vol. 60. No. 1–2. P. 1–9.  
<http://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.02.001>
- Sysoev A., Schileyko A. (2009) Land Snails and Slugs of Russia and Adjacent Countries. Sofia: Pensoft Publishers. 454 p.
- Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E. et al. (2007) Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from Lake Baikal pollen records. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* Vol. 252. P. 440–457.  
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.05.002>
- Tarasov P.E., Bezrukova E.V., Krivonogov S.K. (2009) Late Glacial and Holocene changes in vegetation cover and climate in southern Siberia derived from a 15 kyr long pollen record from Lake Kotokel. *Climate of the Past Discussions*. Vol. 5. P. 127–151.  
<http://doi.org/10.5194/cpd-5-127-2009>
- Vereshchagin N.K., Gromov I.M. (1953) Sbor ostatkov vysших pozvonochnykh chetvertichnogo perioda (Collection of remains of higher vertebrates of the Quaternary period). Moscow, Leningrad: AS USSR (Publ.). 39 p (in Russ)
- Volkov I.A. (1971) Pozdnechetvertichnaya subaerial'naya formatsiya (Late Quaternary subaerial formation). Moscow: Nauka (Publ.). 254 p (in Russ).
- Vorobyova G.A. (2010) Pochva kak letopis' prirodykh sobytiy Pribaikalya: problemy evolyutsii i klassifikatsii pochv (Soil as a chronicle of natural events in the Baikal region: problems of evolution and classification of soils). Irkutsk: Irkutskii gosudarstvennyi universitet (Publ.). 205 p (in Russ).
- Wang Y., Liu X., Herzschuh U. (2010) Asynchronous evolution of the Indian and East Asian summer monsoon indicated by Holocene moisture patterns in monsoonal central Asia. *Earth-Sci. Rev.* Vol. 103. P. 135–153.  
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.09.004>
- Wanner H., Beer J., Butikofer J. et al. (2008) Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 27. No. 19–20. P. 1791–1828.  
<http://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013>
- White D.A., Preece R., Shchetnikov A.A. et al. (2008) Holocene molluscan succession from floodplain sediments of the upper Lena River (Lake Baikal region), Siberia. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 27. P. 962–987.  
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.01.010>
- Zhadin V.I. (1952) Mollyuski presnykh i solonovatnykh vod SSSR (Mollusks of fresh and brackish waters of the USSR). Moscow–Leningrad: AS USSR (Publ.). 376 p (in Russ).
- Zhamoyda A.I. (2019) Stratigraficheskii kodeks Rossii (Stratigraphic Code of Russia). Sankt-Peterburg: VSEGEI (Publ.). 96 p (in Russ).