

ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РОССИИ:
ОТ КАЛИНИНГРАДА ДО КАМЧАТКИ

УДК 551.89:556.55:551.8:574→551.312.4(234.853)

РЕКОНСТРУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТИЧЕСКИХ
ИЗМЕНЕНИЙ ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЯ – ГОЛОЦЕНА ЮЖНОГО УРАЛА
НА ОСНОВЕ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА ДОННЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БОЛЬШОЕ МИАССОВО[#]

© 2023 г. Г. Р. Нигаматзянова^{1,*}, Л. А. Фролова¹, Н. М. Нигматуллин¹,
А. Р. Юсупова¹, Д. К. Нургалиев¹

¹Казанский федеральный университет, Казань, Россия

*E-mail: GuRNigamatzyanova@kpfu.ru

Поступила в редакцию 19.04.2023 г.

После доработки 10.08.2023 г.

Принята к публикации 08.09.2023 г.

Проведен спорово-пыльцевой анализ колонки донных отложений мощностью 526 см озера Б. Миассово, Южный Урал. Полученные данные позволили реконструировать растительный покров на водосборе озера и климатическую обстановку региона за 13400 кал. л., что существенно расширяет и дополняет палеогеографическую летопись Южного Урала. Установлено, что в интервале 13400–12700 кал. л. н. в условиях относительно теплого и сухого климата в исследуемом регионе были распространены перигляциальные лесостепные формации. На открытых ландшафтах произрастали травянистые сообщества и березово-сосновые редколесья с елью. Снижение доли участия сосны в растительном покрове и смена ели на более холодоустойчивую лиственницу были вызваны, скорее всего, похолоданием в период 12700–11700 кал. л. н. Начиная с 11700 кал. л. н., перигляциальные лесостепи сменяются березовыми лесами. Выявленные существенные изменения растительного покрова водосборного бассейна оз. Б. Миассово указывают на потепление и увлажнение климата в начале голоцена. В интервале 11300–10300 кал. л. н. отмечено доминирование березовых лесов. Распространение сосны и ели в диапазоне 10300–8300 кал. л. н. указывает на потепление климатических условий. С 8400 кал. л. н. в древостое увеличивается доля широколиственных пород. Максимальное значение широколиственных пород зафиксировано в интервале 6000–4500 кал. л. н. Некоторое похолодание климата отмечено в диапазоне 4500–2000 кал. л. н. На водосборе озера в это время произрастал березовый лес с примесью ели и широколиственных пород. Увеличение роли сосны и сокращение доли участия ели в древостое были вызваны, вероятно, аридизацией и потеплением климата в интервале 1800–1000 кал. л. н. С 1800 кал. л. н. растительность вокруг оз. Б. Миассово становится схожей с современной: на территории преобладали сосново-березовые леса с примесью темнохвойных и широколиственных пород.

Ключевые слова: спорово-пыльцевой анализ, голоцен, реконструкция климата, палеоэкология, озеро Большое Миассово

DOI: 10.31857/S2949178923040060, **EDN:** GPLFNE

ВВЕДЕНИЕ

Палеореконструкции климата и природных условий позднеледниковья и голоцена становятся все популярнее в связи с все более возрастающим вниманием к проблеме изменения климата (Nazarova et al., 2014; Frolova, 2016; Frolova et al.,

2017; Krivonogov et al., 2023). Особую ценность приобретают палеоклиматические и палеоэкологические исследования, основанные на комплексном изучении биологических палеоиндикаторов из донных отложений озер: створки диатомовых водорослей, пыльца и споры растений, остатки ветвистоусых ракообразных и комаров-звонцов (Palagushkina et al., 2014; Frolova, Frolova, 2017; Nigmatullin et al., 2021; Valieva et al., 2020; Nazarova et al., 2021; Nigamatzyanova et al., 2022). Пыльца растений в отложениях является хорошо зарекомендовавшим себя индикатором изменений растительности в прошлом (Пыльцевой анализ, 1950). Распространенность пыльцевых зерен

[#] Ссылка для цитирования: Нигаматзянова Г.Р., Фролова Л.А., Нигматуллин Н.М. и др. (2023). Реконструкция растительности и климатических изменений позднеледниковья – голоцена Южного Урала на основе спорово-пыльцевого анализа донных отложений озера Большое Миассово // Геоморфология и палеогеография. Т. 54. № 4. С. 179–194. <https://doi.org/10.31857/S2949178923040060>; <https://elibrary.ru/GPLFNE>

и их хорошая сохранность в отложениях различного типа сделали спорово-пыльцевой анализ одним из наиболее ценных инструментов изучения прошлых изменений окружающей среды и климата (Гричук, Заклинская, 1948; Сладков, 1967).

Палеорекострукции на Урале на основе изучения донных отложений озер имеют особое значение, учитывая пограничное положение Уральских гор, как климатораздела между Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнинами (Масленникова и др., 2014; Shumilovskikh et al., 2020). Первые работы по реконструкции растительного покрова Южного Урала были начаты И.М. Крашенинниковым в 1937 и 1939 г. (Lapteva, Korona, 2012). В 1940-е гг. Г.А. Благовещенским были изучены озерно-болотные отложения водоемов Южного Урала и Зауралья (Масленникова и др., 2014). Голоценовые отложения Южного Предуралья спорово-пыльцевым методом изучались в 1970-е гг. В.К. Немковой (1992). Автор выделил смены растительного покрова, соответствующие 5 фазам голоцена. Пребореал характеризовался распространением березовых лесов с примесью хвойных и широколиственных пород. В бореале возросла роль хвойных лесов, разрослись березово-сосновые леса. Климатический оптимум ознаменовался распространением ели и широколиственных пород. В суббореале заметно возросла роль сосен в Северном Предуралье и Среднем Прикамье, но южнее для этого времени установлено более широкое развитие липовых и березовых лесов с примесью широколиственных пород. В субатлантике в Предуралье распространилась растительность, схожая по составу с современной: на севере елово-сосновые леса, южнее елово-сосновые леса, но с примесью липы, дуба и вяза. В конце субатлантики автор отмечает увеличение безлесных пространств на юге Предуралья.

Исследование смены растительности на болотах близ озера Б. Миассово в Ильменском заповеднике проводилось Н.А. Кац и С.В. Кац (1978). Согласно полученным данным спорово-пыльцевого анализа торфяной залежи болота "Клюквенное" мощностью 7.75 м, растительность исследованной территории в начале формирования колонки была представлена редкой лиственницей. Далее в отложениях наряду с пылью лиственницы стала появляться пыльца березы и трав-пионеров. Большая часть колонки отложений (6.50–1.0 м) была сформирована в период развития березово-сосновых лесов с участием ели, пихты и широколиственных пород. В отложениях выше 1 м исчезает пыльца широколиственных пород, снижается концентрация пыльцы хвойных, но увеличивается концентрация пыльцы травянистых растений вследствие вырубок и пожаров.

Начиная с 1970-х гг., Н.К. Пановой опубликован ряд работ по истории растительности Урала,

в том числе, о формировании растительного покрова Южного Урала в голоцене (Панова, 2018).

Комплексное исследование донных отложений оз. Увильды (Южный Урал) мощностью 4.55 м было проведено В.И. Хомутовой (1995). Автором установлена последовательность изменений палеогеографических условий в послеледниковый и голоценовый период. Так, по мнению В.И. Хомутовой, растительность в дриасе была представлена перигляциальными степями. В теплых и влажных условиях аллерада стала преобладать древесная растительность. В пребореале и бореале вокруг оз. Увильды произрастали березовые и березово-сосновые леса. Наиболее оптимальные условия для развития широколиственных пород были в атлантическом периоде. В суббореале на водосборе озера преобладали сосново-березовые леса с постоянным участием широколиственных пород и ели. В субатлантический период на изучаемой территории продолжалось господство березы и сосны с постоянным присутствием берез кустарниковых форм, ольхи и ели, но с меньшим участием широколиственных пород.

В истории формирования растительного покрова Южного Зауралья в голоцене Н.И. Наumenko (2005) выделяет отсутствие эндемиков, тесные связи с Уральским центром распространения видов, а также влияние хозяйственной деятельности человека на протяжении всего голоцена. Е.Г. Лаптева и О.М. Корона (Lapteva, Korona, 2012) на основе макроостатков растений и пыльцы из пещеры Сухарыш реконструировали для Южного Зауралья развитие лесостепей с разнотравьем и березовым редколесьем с начала голоцена и до атлантического периода, сменившиеся под влиянием антропогенного воздействия рудеральными пастбищными сообществами. Послеледниковые и голоценовые изменения окружающей среды Южного Урала реконструированы на основе исследований донных отложений оз. Сырыткуль (Maslennikova et al., 2015). На водосборе озера в интервале ~11 600–11 500 кал. л. н. произошел переход от позднеледникового к голоцену. На водосборе озера в полуоткрытых лиственничных лесах начала шире распространяться береза, что, вероятно, связано с потеплением климата. ~11 200 кал. л. н. в предбореальные колебания разреженный лиственничный лес сменился степными травянистыми сообществами. В промежутке ~9800–9000 кал. л. н. климат характеризовался незначительной аридизацией, после которой вновь повысилась влажность. Снижение представленности сосны, ели, ольхи с одновременным увеличением количества полыни и березы в отложениях авторы связывают с ухудшением климатических условий в интервале ~8300–8000 кал. л. н. Распространение широколиственных пород, доминирование ели на территории вокруг оз. Сырыткуль связано с потеплением и увлажнением кли-

мата ~7400 кал. л. н. Значительное увеличение численности вяза и ели на водосборе озера ~7400–4450 кал. л. н. авторы связывают с климатическим оптимумом. Интервал ~4200–1900 кал. л. н. отмечился увеличением доли березовых лесов и появлением пихты. Около 2000 кал. л. н. на водосборе озера снизилось количество вяза и ольхи, что было следствием похолодания и аридизации климата.

Ранее проведенные исследования донных отложений озер позволили реконструировать динамику развития растительного покрова на протяжении 11900 кал. л. для Среднего Урала (оз. Таватуй) и 11700 кал. л. для Южного Урала (оз. Сырыткуль) (Maslennikova et al., 2016; Maslennikova, 2022). Озеро Б. Миассово, выбранное нами в качестве объекта исследования для проведения реконструкции растительного покрова и климатических изменений позднеледниковья и голоцена Южного Урала, позволит расширить и дополнить палеогеографическую летопись региона.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Озеро Б. Миассово (55°9'8.99" с. ш.; 60°16'34.73" в. д., 290 м над у. м.) расположено на территории Ильменского государственного заповедника в восточных предгорьях Ильменского хребта Южного Урала в окрестностях г. Миасс Аргаяшского и Чебаркульского районов Челябинской области (Rogozin, Gavrilkina, 2015). Это крупнейший водоем Ильменского заповедника и центральное звено Кисегач-Миассовской гидрологической системы, которая состоит из 8 связанных между собой озер (Рогозин, 2014). В восточной части водоема расположена протока – Проходная курья, соединяющая оз. Б. Миассово и оз. М. Миассово. Вследствие тектонического происхождения, водоем характеризуется глубокой центральной котловиной, сложной морфологией дна, депрессиями с выходом коренных пород, а также большой изрезанностью береговой линии (коэффициент изрезанности 2.9) и наличием заливов (Мухин и др., 2013; Вейсберг, 2014). Основные лимнологические характеристики озера представлены в табл. 1. Питание озера осуществляется по большей части атмосферными осадками (Андреева и др., 2000). Водоем характеризуется как димиктический, холодный, олиготрофный с сильно выраженной летней и зимней стратификацией и двумя периодами гомотермии (весной и осенью) (Rogozin, Gavrilkina, 2015; Вейсберг, 2014; Snitko, Snitko, 2014). Летние температуры воды достигают 10–12°C. Ледостав формируется с конца октября по начало декабря. Вскрывается озеро с конца марта по середину апреля. По ионному составу воды озера Б. Миассово относятся к гидрокарбонатному классу смешанного катионного состава с незначительным преобладанием каль-

Таблица 1. Лимнологические характеристики оз. Б. Миассово

Table 1. Limnological characteristics of Lake Bolshoe Miassovo

Характеристики озера	
Площадь зеркала, км ²	11.4
Максимальная глубина, м	25
Средняя глубина, м	11.2
Длина озера, км	8
Средняя ширина, м	1.5
Площадь водосбора, км ²	13.4
Минерализация, мг/л	183–240
Общая жесткость, мг-экв/л	1.8–2.8
pH	6.0–9.5

ция (Андреева и др., 2000). Климат территории характеризуется воздействием атлантических и континентальных воздушных масс, что приводит к резким колебаниям температур. В зимние месяцы Южный Урал находится под влиянием Сибирского антициклона, летом – под воздействием тропического воздуха с высокой температурой и низкой влажностью из Центральной Азии и Казахстана, а также арктического воздуха из Баренцева и Карского морей (Maslennikova, Udachin, 2017). Кроме того, атлантические циклоны приносят на Урал теплые и влажные воздушные массы. Климат характеризуется как континентальный. Средний абсолютный минимум в январе составляет –47°C, средний абсолютный максимум в июле – +38°C. Средняя температура воздуха в январе –16°C, в июле +17°C. Средняя годовая температура воздуха +1°C. Среднее годовое количество осадков составляет 415 мм (Ивченко, 2013; Maslennikova, Udachin, 2017). Снежный покров держится в среднем 150 дней (Андреева и др., 2000).

По геоботаническому районированию водоем расположен в подзоне сосново-березовых лесов лесной зоны, промежуточной между подзоной южнотаежных темнохвойно-широколиственных лесов и лесостепной зоной (Куликов, 2005; Вейсберг, 2014). Почвы представлены горными серыми, темно-серыми лесными и горными дерново-подзолистыми почвами. В растительном покрове преобладают сосновые леса (разнотравно-злакового, широколиственного, зеленомошно-брусничного, остепненного, травяно-болотного и сфагнового типа) и березняки (разнотравно-злакового и широколиственного типа), реже сосново-лиственничные редколесья и редкостойные лиственничники. На склонах хребтов распространены высокотравные луга и горные степи (кустарниковые, злаково-разнотравные, петрофитные) (Коротеева, 2005; Куликов, 2005). Ввиду обилия водоемов и заболоченных участков вокруг них, обширные территории занимают болотные сообщества (осоковые, сфагно-

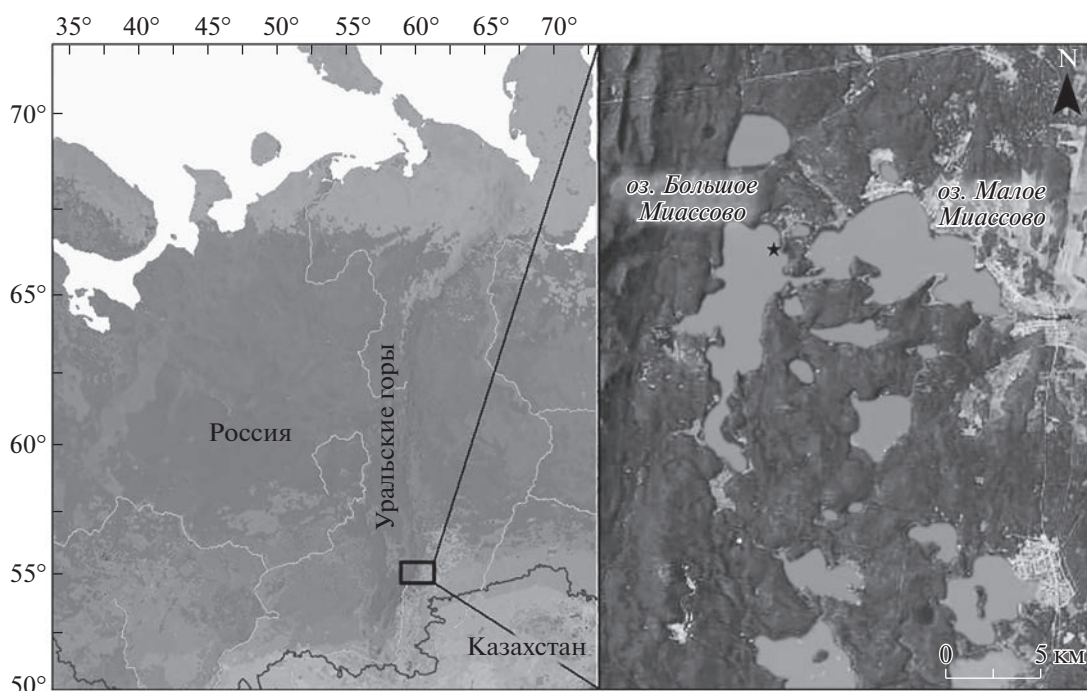


Рис. 1. Карта-схема расположения оз. Б. Миассово (звездой обозначено место отбора исследованной колонки донных отложений).

Fig. 1. The map of the location of the Lake Bolshoe Miassovo (the asterisk indicates the place of selection of the studied core of bottom sediments).

вые) (Кац, Кац, 1978; Куликов, 2005). Среди водных макрофитов преобладают высокотравные гелофиты (*Typha latifolia*, *Phragmites australis*) и прикрепленные гидрофиты (*Nuphar lutea*), но разнообразнее всего во флоре озера представлены гигрофиты (Вейсберг, 2014; Андреева и др., 2000).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В июле 2018 г. сотрудниками НИЛ Палеоклиматология, палеоэкология, палеомагнетизм Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета (ИГиНГТ КФУ) при помощи специализированного гидравлического пробоотборника (Борисов, 2004) была отобрана колонка донных отложений мощностью 526 см и диаметром 6 см с 25 м глубины в центральной части озера Б. Миассово (55°09'51.1" с. ш., 60°17'21.9" в. д.) для проведения палеоэкологических исследований (рис. 1). Для 9 образцов исследованной колонки определен возраст отложений радиоуглеродным методом в Лаборатории датирования ускорительной масс-спектрометрии ^{14}C Департамента геологических наук Национального Тайваньского университета (NTUAMS Lab) (г. Тайбей, Тайвань) (табл. 2).

На спорово-пыльцевой анализ были исследованы 52 образца колонки донных отложений. Пробы весом 0.1–2.4 г были подвергнуты кислот-

ной (30 мин экспозиция в водяной бане при +90°C с добавлением 10% раствора соляной кислоты для удаления карбонатов из осадков) и щелочной (30 мин экспозиция в водяной бане при +90°C с добавлением 10% раствора гидроксида калия для удаления органической составляющей из осадков) обработке по сепарационному методу Гричука и просеяны через сито 0.25 мм для удаления крупных частиц из осадков (Пыльцевой анализ, 1950). Сепарация образцов проводилась тяжелой жидкостью (раствор калия-кадмия йодистого) плотностью 2.25 г/см³. Для подсчета концентрации пыльцы в каждый образец на первом этапе пробоподготовки добавлялось по одной таблетке спор *Lycopodium clavatum*. Расчет велся по следующей формуле:

$$K_{\text{п}} = (\Sigma_{\text{п}} \cdot N_{\text{м}} / \Sigma_{\text{пм}}) / H,$$

где $K_{\text{п}}$ — концентрация пыльцы в образце; $\Sigma_{\text{п}}$ — сумма пыльцевых зерен, подсчитанных в образце; $N_{\text{м}}$ — количество маркеров, добавленных в образец; $\Sigma_{\text{пм}}$ — сумма маркеров, подсчитанных в образце; H — масса (Stockmarr, 1972).

Спорово-пыльцевой анализ проводился с помощью светового микроскопа Axio Imager A2 (Zeiss) при увеличении в 400 раз. Для определения пыльцы и спор применялись отечественные и зарубежные определители и атласы (Куприянова и Алешина, 1972, 1978; Reille, 1992; 1995; 1998).

Таблица 2. Данные радиоуглеродного датирования донных отложений оз. Б. Миассово
Table 2. AMS measurements from Lake Bolshoe Miassovo

№ обр.	Лабораторный номер	Глубина отбора проб, см	Тип отложений	Радиоуглеродный возраст (^{14}C), л. н.	Калиброванный возраст (календарный), кал. л. н.
1	NTUAMS-5014-1	6	ил	836 ± 78	790 ± 90
2	NTUAMS-5015-1	48	ил	1216 ± 79	1130 ± 160
3	NTUAMS-5016-1	108	ил	1991 ± 80	1925 ± 205
4	NTUAMS-5017-2	198	ил	3511 ± 81	3780 ± 210
5	NTUAMS-5018-1	296	ил	5244 ± 97	6050 ± 175
6	NTUAMS-5019-2	334	ил	6290 ± 84	7175 ± 185
7	NTUAMS-5020-2	398	ил	8337 ± 94	9325 ± 205
8	NTUAMS-5021-1	470	ил	11056 ± 91	12940 ± 170
9	NTUAMS-5022-1	522	ил	11559 ± 93	13420 ± 180

В каждом образце идентифицировалось не менее 300 зерен. Построение палинодиаграммы и выделение кластерным анализом CONISS (Grimm, 1987) палинозон осуществлялись с помощью программного обеспечения Tilia / TiliaGraph (Grimm, 1991). Процентное содержание каждого таксона рассчитано от общей суммы пыльцы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Возраст исследованной колонки на основании проведенного радиоуглеродного AMS-датирования на глубине 526 см составил 13400 кал. л. (Nurgaliev et al., 2019). Для исследованной колонки были получены 9 датировок и построена возрастная модель (рис. 2). Отмечено непрерывное осадконакопление донных отложений озера со скоростью от 0.2 до 1.24 мм/год.

По результатам спорово-пыльцевого анализа в 52 образцах колонки донных отложений идентифицировано 34 пыльцевых (15 древесных, 15 травянистых) и споровых (4) таксона. Доминирующими породами выступали сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и береза (*Betula*).

Результаты палинологического анализа представлены в виде процентной диаграммы (рис. 3). Согласно кластерному анализу, спорово-пыльцевая диаграмма была разделена на 4 палинозоны (ПЗ I – ПЗ IV).

Для ПЗ I, 520–435 см; 13400–11200 кал. л. н., характерно значительное преобладание в общем составе спектров пыльцы травянистых растений (30–97%). Доминирует пыльца *Artemisia*, субдоминантой является пыльца *Amaranthaceae*: их максимальное участие в спектрах достигает 82 и 22% соответственно. Из других травянистых растений отмечена пыльца *Brassicaceae* (18%), *Рoсeae* (8%), *Cyperaceae*, *Caryophyllaceae*, *Asteraceae*, *Apiaceae*, а также *Fabaceae*, *Polygonaceae*. Из вод-

ных высших растений присутствует пыльца *Hydrocharitaceae*.

Пыльца бореальных таксонов занимает подчиненное положение. Доминирует пыльца березы (*Betula*) – до 40%. На втором месте по значимости в древесно-кустарниковом комплексе пыльца ивы (*Salix*) – до 20%. Роль пыльцы ели (*Picea*), сосны (*Pinus sylvestris*) и пихты (*Abies*) невелика. В незначительном количестве присутствуют пыльца лиственницы (*Larix*), ольхи (*Alnus*) и пыльца широколиственных пород: лещина (*Corylus*), липа (*Tilia*), вяз (*Ulmus*).

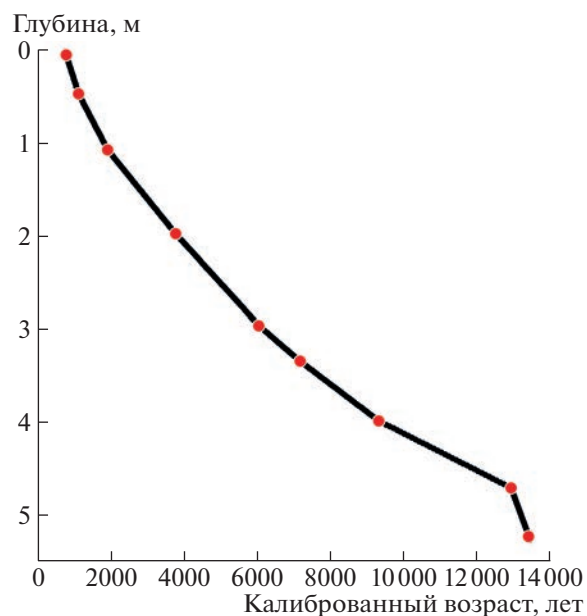


Рис. 2. Модель возраст–глубина колонки донных отложений оз. Б. Миассово.

Fig. 2. Age-depth model of Lake Bolshoe Miassovo sediment core.

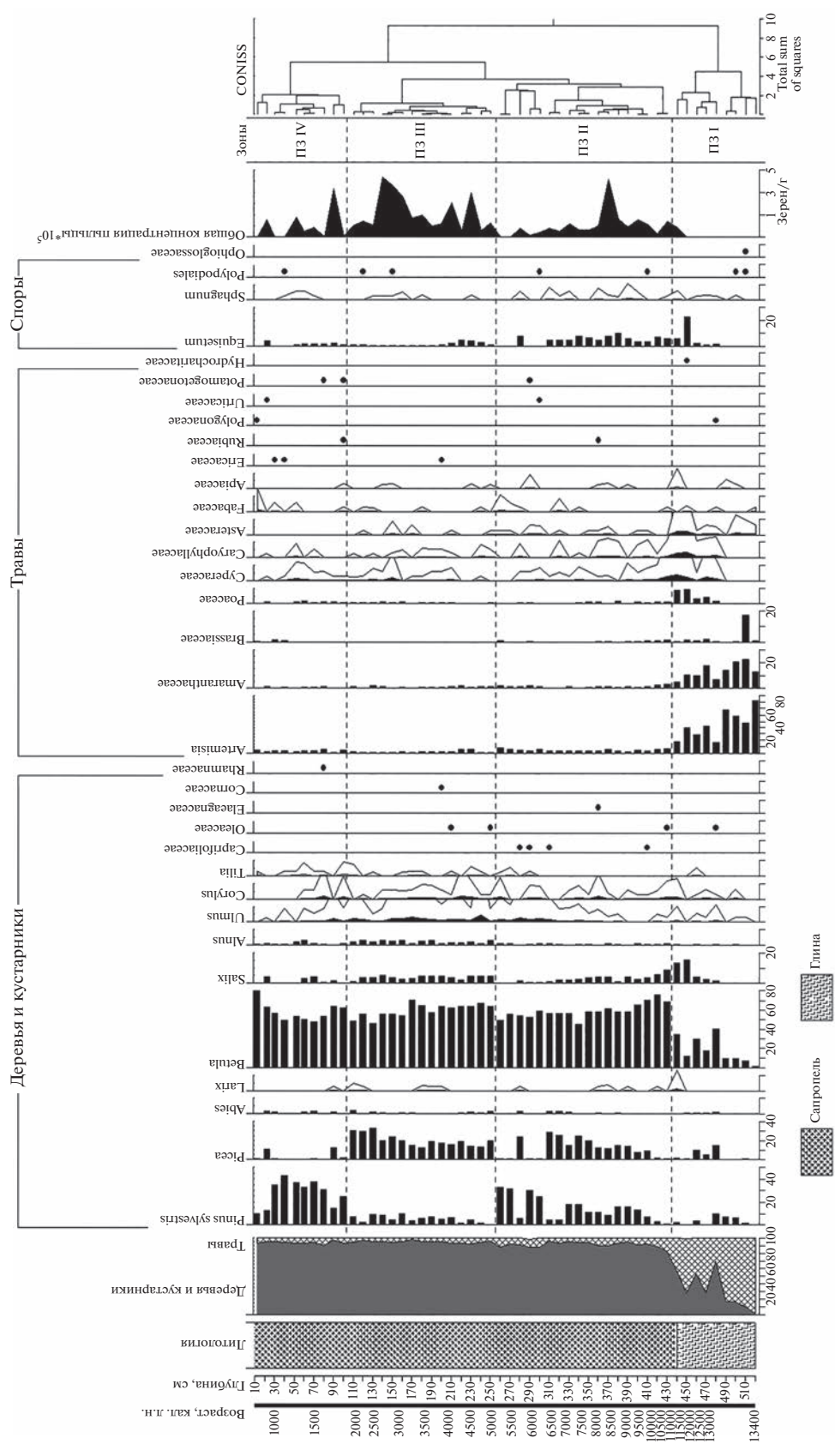


Рис. 3. Палинологическая диаграмма колонки донных отложений оз. Б. Миассово.
Fig. 3. Palynological diagram of the core of bottom sediments of Lake Bolshe Miasovo.

Споровые растения представлены скудно: обнаружены споры *Sphagnum*, Polypodiales, Ophioglossaceae и *Equisetum*. Наряду с этим в образцах на границе ПЗ I и II установлено наличие большого количества спор хвощей (до 30%).

Концентрация пыльцы на протяжении ПЗ I остается низкой (до 10^5 зерен/г), но увеличивается к верхней части зоны. В ПЗ II, 435–255 см; 11 200–5100 кал. л. н., в растительном покрове наблюдается резкая смена доминирующих групп: в отложениях начинает преобладать пыльца древесных пород, снижается вклад пыльцы травянистых таксонов. Среди древесных растений продолжает доминировать пыльца *Betula* (75%). Возрастает содержание пыльцы *Pinus sylvestris* (до 35%) и *Picea* (до 32%). Резко снижается количество пыльцы *Salix*: с 15 до 1%. Представленность в спектрах пыльцы широколиственных пород, пыльцы *Larix* и *Abies* и пыльцы ольхи меняется незначительно. Появляется пыльца Caprifoliaceae.

В спектрах ПЗ II резко снижается содержание пыльцы *Artemisia* (до 5%) и Amaranthaceae (до 1%). Отсутствует пыльца Polygonaceae и Hydrocharitaceae, отмеченные в ПЗ I. Наряду с этим выявлена пыльца представителей следующих травянистых таксонов: Rubiaceae, Urticaceae и Potamogetonaceae из водных растений.

Из спектров ПЗ II исчезают споры Ophioglossaceae. Заметно ниже по сравнению с ПЗ I содержание спор *Equisetum* — до 10%. Присутствие спор *Sphagnum* остается без изменений.

Концентрация пыльцы в этой зоне по сравнению с ПЗ II резко возрастает: до 4.2×10^5 зерен/г.

В спектрах ПЗ III, 255–105 см; 5100–1800 кал. л. н., продолжается доминирование древесных таксонов, среди которых по-прежнему преобладает пыльца *Betula* (до 70%). Наблюдается “максимум” пыльцы *Picea*: ее содержание достигает 33%. Количество пыльцы *Pinus sylvestris* резко снижается до 2%. Пропадает из спектров пыльца Caprifoliaceae, но впервые зафиксирована пыльца Ericaceae и Cornaceae.

В ПЗ III содержание пыльцы травянистых растений остается низким (1–5%) — это минимальное количество пыльцы трав в колонке. Доминирующим таксоном по-прежнему является пыльца *Artemisia* (до 6%), субдоминантой выступает пыльца Amaranthaceae (до 5%).

Споровые растения в спектрах представлены по-прежнему спорами *Sphagnum*, Polypodiales и *Equisetum*, чье присутствие несколько ниже, чем в предыдущей зоне.

Концентрация пыльцы колеблется в значительном диапазоне и достигает максимальных значений в колонке 4.3×10^5 зерен/г.

ПЗ IV, 105–10 см; 1800–800 кал. л. н., характеризуется доминированием в спектрах пыльцы

древесных таксонов. В средней части палинозоны наблюдается пик пыльцы *Pinus sylvestris* (43%), в верхней части зоны пик пыльцы *Betula* (80%). Наряду с этим сокращается вклад пыльцы *Picea*. Доля пыльцы широколиственных пород снижается к верхней части колонки, исчезая к границе зоны. Впервые выявлена пыльца Rhamnaceae.

В ПЗ IV существенных изменений в содержании пыльцы травянистых растений не наблюдается. Вновь появляются в спектрах пыльца Brassicaceae, Rubiaceae, Polygonaceae, Urticaceae и Potamogetonaceae. Выпадает из спектров пыльца Cornaceae.

Концентрация пыльцы в ПЗ IV по сравнению с предыдущей зоной ниже и варьирует в диапазоне $0.1–3.0 \times 10^5$ зерен/г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Колебания содержания пыльцы древесных растений и трав в донных отложениях позволяют сделать вывод о чередовании потеплений-похолоданий климата (Масленникова, 2016). В интервале 13400–12700 кал. л. н. на территории, окружающей оз. Б. Миассово, были распространены перигляциальные лесостепные формации. На открытых ландшафтах преобладали разнотравные сообщества (в основном, полынь и амарантовые), речные долины были заняты березово-сосновыми редколесьями с елью. Отмеченная в отложениях данного отрезка пыльца широколиственных пород (*Ulmus*, *Corylus*, *Tilia* и Oleaceae), скорее всего, является переотложенной из других слоев. Климат в указанный интервал характеризовался как относительно теплый и сухой, что может соответствовать кратковременному потеплению в аллереде. Сокращение доли участия сосны в растительном покрове и смена ели на более холодоустойчивую лиственницу в составе редколесий, а также сокращение роли древесных пород в спорово-пыльцевых спектрах и вновь развитие степных сообществ в период 12700–11700 кал. л. н. указывают на холодный и сухой климат позднего дриаса. В табл. 3 изображено хронологическое положение границ основных климатических фаз голоцена, выделенных на основе данных палинологического и диатомового анализа донных отложений озер Б. Миассово (Валиева и др., 2023; Нигаматзянова и др., 2023), Уфимское (Средний Урал) и Сырыткуль (Южный Урал) (Maslennikova, Udachin, 2017). Выбор перечисленных водоемов для сравнительного анализа полученных результатов обусловлен общностью территории исследования (Средний и Южный Урал), схожими возрастными границами (~12 тыс. кал. л.) и видами выполненных анализов.

Подобные колебания содержания пыльцы древесных растений и трав вследствие неодно-

Таблица 3. Хронологическое положение границ основных климатических фаз голоцена, выделенных на основе данных спорово-пыльцевого и диатомового анализа озерных отложений
Table 3. Chronological positions of the boundaries of main climatic phases of the Holocene, identified on the basis of spore-pollen and diatom analyses of lake sediments

Калиброванный возраст, л.н.	Оз. Уфимское (Maslennikova, Udachin, 2017)	Оз. Сырыткуль (Maslennikova, Udachin, 2017)	Оз. Б. Миассово	
			данные по палинологическому анализу (Нигаматзянова и др., 2023)	данные по диатомовому анализу (Валиева и др., 2023)
0				
1000			малый климат. оптимум	
2000	потепление	потепление	потепление, аридизация	
3000	похолодание	похолодание	похолодание, гумидизация	похолодание
4000				климатический оптимум голоцена
5000	климатический оптимум голоцена	климатический оптимум голоцена	климатический оптимум голоцена	
6000				потепление, гумидизация
7000	потепление, гумидизация	потепление, гумидизация	потепление, гумидизация	
8000				
9000				
10 000	аридизация	аридизация		относительно холодно
11 000	нестабильный климат	нестабильный климат	относительно холодно, влажно	
12 000	тепло, влажно	тепло, влажно	потепление, увлажнение	потепление, увлажнение
13 000			похолодание, аридизация	холодно, сухо
13 400			тепло, сухо	

родных климатических условий обнаружены в интервале ~13 250–11 700 кал. л. н. в донных отложениях оз. Таватуй, Средний Урал (Масленникова и др., 2016). Схожие данные получены (Панова, Антипина, 2017) для восточного склона Среднего Урала: развитие разнотравья и кустарниковых берез в холодные дриасовые периоды разделено доминированием пыльцы сосны в кратковременное потепление аллереда. Господство пыльцы анемофильных трав в отложениях озера Сырыткуль на северо-западе Ильменского заповедника (Южный Урал) указывает на холодную стадию позднего дриаса (Масленникова и др., 2014). По данным изучения колонки донных отложений оз. Увиль-

ды дриасовое похолодание характеризовалось повышением доли пыльцы травянистой растительности, увеличением содержания спор и резким спадом в отложениях содержания древесной пыльцы, отражая холодный период с резко-континентальным климатом (Хомутова, 1995). Переход позднеледниковье — голоцен, который зафиксирован во многих записях Северного полушария, включая Южный Урал (Rasmussen et al., 2005; Maslennikova et al., 2015), отражается в значительных изменениях палиноспектров донных отложений оз. Б. Миассово. С 11 700 кал. л. н. перигляциальные лесостепи сменяются березовыми лесами и произрастающими в низинах ивовыми

ми зарослями. Выявленные существенные перемены в растительном покрове водосборного бассейна оз. Б. Миассово указывают на потепление и увлажнение климата в начале голоцена. Сходные изменения зафиксированы в работе Bjune et al. (2022) по спорово-пыльцевым данным донных отложений озера Большое Щучье (Поярный Урал), когда в начале голоцена (начиная с 11900 кал. л. н.) резко возросло количество пыльцы *Betula*, а пыльцы трав *Artemisia* и *Suregada* заметно сократилось. По мнению Н.К. Пановой и Т.Г. Антипиной, причиной появления и распространения лиственницы, а позже ели и березы для Среднего Урала, стало потепление в пребореальном периоде (Panova, Antipina, 2016). А.В. Масленникова и соавт. (2014, 2016, 2018) отмечают значительные изменения растительного покрова территории вокруг озер Уфимское, Турго-як, Сырыткуль и Таватуй Среднего и Южного Урала, а именно распространение сосновых и березовых лесов и сокращение анемофильных трав (*Artemisia*, *Roacea*, *Chenopodiaceae*), вызванные потеплением в начале голоцена.

Господство березовых лесов на водосборе озера в интервале 11300–10300 кал. л. н. соответствует, вероятно, второй половине пребореала и началу бореала. Подобное доминирование березы для Среднего Урала по данным оз. Уфимское отмечено до 10500 кал. л. н.; для оз. Сырыткуль преобладание берез продолжилось до 9900 кал. л. н. (Масленникова и др., 2014) и вызвано, вероятно, незначительными похолоданиями.

Распространение сосны и ели в 10300–8300 кал. л. н. указывает на потепление климатических условий во второй половине пребореального – бореальном периоде. На смену березовым лесам пришли березово-сосново-еловые леса. Подобные изменения в составе растительного покрова близ Горбуновского торфяного болота (Средний Урал) с доминированием сосновых и березово-сосновых лесов с присутствием ели описывается в работе Lapteva et al. (2020). В интервале 9400–9100 кал. л. н. (405–390 см) снизилось присутствие спор *Equisetum*, что могло быть связано со снижением влажности климата. Подобные короткие эпизоды сухих и теплых условий в Среднем Урале описывают Н.К. Панова и Т.Г. Антипина (Panova, Antipina, 2016) по данным комплексного исследования осадков Шигирского и Горбуновского торфяника, а также А.В. Масленникова и соавт. на основе изучения донных отложений оз. Таватуй (Масленникова и др., 2016).

С 8400 кал. л. н. в древостое увеличивается доля широколиственных пород и ели. Несмотря на то что процентное содержание сосны, ели и березы остается без значительных изменений, концентрация данных таксонов существенно увеличивается. Подобные перемены в растительном

покрове, скорее всего, объясняются высокой теплообеспеченностью атлантического периода (Величко и др., 2009). Максимальный расцвет широколиственных пород отмечен в конце атлантического – начале суббореального периода в интервале 6000–4500 кал. л. н. (климатический оптимум голоцена). Аналогичные условия для данного региона были отмечены на основе изучения палинологических и диатомовых данных в донных отложениях озер Сырыткуль, Уфимское (Maslennikova, Udachin, 2017) и Б. Миассово (Валиева и др., 2023) (табл. 3). Резкое снижение присутствия ели и хвощей (6400–5000 кал. л. н.), исключая кратковременный перерыв (280 см; 5700 кал. л. н.), произошло из-за аридизации климата. С 5000 кал. л. н. климат вновь стал влажным. Подобные смены фаз растительности из-за засушливых интервалов климата на Среднем Урале отмечены в работах: Panova, Antipina, 2014; 2016; Масленникова и др., 2016.

Некоторое похолодание климата отмечено в диапазоне 4500–2000 кал. л. н. (230–110 см), что, предположительно, соответствует суббореалу и началу субатлантика. На водосборе озера произрастал березовый лес с елью и широколиственными породами. Аналогичные условия для Южного и Среднего Урала на основе изучения донных отложений озер отмечаются в работах А.В. Масленниковой и Л.С. Шумиловских и соавт. (Масленникова и др. 2012; 2014; Maslennikova et al., 2016; Shumilovskikh et al., 2020). Возрастание количества пыльцы ели в интервале 2400–2000 кал. л. н. (130–110 см), скорее всего, было связано с увеличением увлажненности климата и похолоданием. Подобные изменения прослеживаются в отложениях оз. Таватуй, Средний Урал (Масленникова и др., 2016).

Увеличение доли участия сосны в растительном покрове и сокращение роли ели указывают на некоторую аридизацию и потепление климата в субатлантическом периоде в интервале 1800–1000 кал. л. н. (табл. 3). Подобные изменения в древостое зафиксированы в Верхнем Прикамье (Lapteva et al., 2017). Для верхней части колонки отложений (1000–800 кал. л. н.) отмечено увеличение содержания березы и ивы, что могло быть вызвано сложившимися благоприятными условиями средневекового климатического оптимума (Demezhko, Golovanova, 2007; Масленникова и др., 2014). С 1800 кал. л. растительный покров вокруг озера Б. Миассово напоминал по составу современный: на территории преобладали сосново-березовые леса с примесью темнохвойных и широколиственных пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе спорово-пыльцевого анализа донных отложений оз. Б. Миассово реконструирова-

ны растительный покров территории, прилегавший к озеру, и динамика климатических изменений за последние 13400 лет. Климатическая обстановка изученной территории в конце плейстоцена и в голоцене неоднократно менялась; палинологическая запись осадков хорошо отражает изменения окружающей среды. Наиболее четко в донных отложениях озера прослеживается переход позднеледниковые — голоцен (11700–11500 кал. л. н.), когда степная травянистая растительность сменилась светлыми березовыми лесами. В интервале 8400–6000 кал. л. н. наблюдалось распространение широколиственных пород и ели. Максимальный пик развития широколиственных пород на территории вокруг оз. Б. Миассово, вызванный климатическим оптимумом голоцена, пришелся на интервал 6000–4500 кал. л. н. Постепенное снижение роли широколиственных пород в древостое было следствием, скорее всего, суббореального похолодания. Увеличение площади сосновых лесов, вероятно, вызвано аридизацией и потеплением климата в субатлантический период. С 1800 кал. л. н. преобладали сосново-березовые леса с примесью темнохвойных и широколиственных пород. Растительный покров вокруг оз. Б. Миассово напоминал по составу современный.

Полученные данные об изменениях растительного покрова под воздействием климатических флуктуаций предоставляют более детальную и полную информацию о развитии окружающей среды Южного Урала в конце плейстоцена — голоцене, дополняют ряд ранее полученных палеоклиматических и палеоэкологических реконструкций для данного региона, а также позволяют выявить основные тренды изменений окружающей среды, что дает возможность использовать данные в реконструкциях при построении прогнозов развития климата.

БЛАГОДАРНОСТИ

Палинологический анализ был поддержан грантом Российского научного фонда (№ 22-47-08001). Статистический анализ проведен в рамках Программы стратегического академического лидерства Казанского федерального университета (Приоритеты-2030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева М.А., Вейсберг Е.И., Гаврилкина С.В. и др. (2000). Экология озера Большое Миассово. Миасс: ИГЗ УрО РАН. 318 с.
- Борисов А.С. (2004). Система технологического обеспечения палеомагнитных исследований отложений современных озер. Автореф. дис... докт. геол.-мин. наук. Казань: КГУ. 45 с.
- Валиева Э.А., Фролова Л.А., Палагушкина О.В. и др. (2023). Реконструкция истории развития озера Большое Миассово (Южный Урал) в период позднеледниковья и голоцена на основе диатомового анализа донных отложений // Геоморфология и палеогеография. Т. 54. № 4. С. 195–206. <https://doi.org/10.31857/S2949178923040151>; <https://elibrary.ru/YCGMKY>
- Вейсберг Е.И. (2014). Разнообразие водной растительности системы озер Большое Миассово — Малое Миассово (Южный Урал) // *Turczaninowia*. Т. 17. № 4. С. 84–96. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.17.4.15>
- Гричук В.П., Заклинская Е.Д. (1948). Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии / Под ред. К.К. Маркова. М.: Географгиз. 224 с.
- Ивченко Т.Г. (2013). Растительность болот Ильменского государственного заповедника (Южный Урал) // *Растительность России*. № 22. С. 38–62.
- Кац Н.Я., Кац С.В. (1978). О сменах растительности на восточных предгорьях Южного Урала в послеледниковое время // *Бюлл. МОИП. Нов. сер. Отдел биологический*. Т. 83. Вып. 3. С. 89–97.
- Коротеева Е.В., Вейсберг Е.И., Куянцева Н.Б. (2005). Ильменский государственный заповедник — станция регионального фитомониторинга // *Изв. ЧНЦ УрО РАН*. Вып. 2 (28). С. 119–123.
- Куликов П.В. (2005). Конспект флоры Челябинской области (сосудистые растения). Екатеринбург—Миасс: Геотур. 538 с.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1972). Пыльца и споры растений флоры СССР. Т. 1. Л.: Наука. 171 с.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1978). Пыльца и споры растений флоры СССР. Т. 2. Л.: Наука. 184 с.
- Масленникова А.В., Дерягин В.В., Удачин В.Н. (2012). Реконструкция условий голоценовой озерной седиментации на восточном склоне Южного Урала // *Литосфера*. № 2. С. 21–32.
- Масленникова А.В., Удачин В.Н., Дерягин В.В. (2014). Палеоэкология и геохимия озерной седиментации голоцена Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН. 136 с.
- Масленникова А.В., Удачин В.Н., Дерягин В.В. и др. (2018). Реконструкция этапов развития озера Тургояк (Южный Урал) в голоцене // *Литосфера*. Т. 18. № 6. С. 914–927. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-6-914-927>
- Масленникова А.В., Удачин В.Н., Пирогов Д.В. и др. (2016). Реконструкция обстановок озерного седиментогенеза в позднеледниковье и голоцене Среднего Урала // *Литосфера*. № 6. С. 166–176.
- Мухин В.А., Вейсберг Е.И., Куянцева Н.Б. и др. (2013). Роль водных макрофитов в круговороте органического вещества в предгорном озере Большое Миассово (Южный Урал) // *Изв. ЧНЦ РАН*. Т. 15. № 3 (2). С. 758–761.
- Назарова Л.Б., Фролова Л.А., Косарева Л.Р. и др. (2014). Магнито-минералогические и биологические показатели донных отложений оз. Большой Харбей // *Журн. Сиб. Федер. ун-та. Биология*. Т. 7. № 4. С. 372–394.

- Немкова В.К. (1992). Флора и растительность Предуралья в плиоцене, плейстоцене и голоцене // Флора и фауна кайнозоя Предуралья и некоторые аспекты магнитостратиграфии. Уфа: БНЦ УрО РАН. С. 11–32.
- Нигматуллин Н.М., Нигаматзянова Г.Р., Валиева Э.А. и др. (2021). Рецентные Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) в тафозенозах озер дельты реки Печоры // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. Т. 163. Кн. 3. С. 527–537.
<https://doi.org/10.26907/2542-064X.2021.3.527-537>
- Нигаматзянова Г.Р., Нигматуллин Н.М., Валиева Э.А. и др. (2022). Реконструкция растительного покрова и климатических изменений позднеледниковья и голоцена Южного Урала на основе спорово-пыльцевого анализа донных отложений озера Большое Миассово // GREG 2022: Междунар. науч.-иссл. конф. “Эмиссия парниковых газов сегодня и в геологическом прошлом: источники, влияние на климат и окружающую среду”. Казань: КФУ. С. 33.
- Нигаматзянова Г.Р., Фролова Л.А., Нигматуллин Н.М. и др. (2023). Реконструкция растительности и климатических изменений позднеледниковья – голоцена Южного Урала на основе спорово-пыльцевого анализа донных отложений озера Большое Миассово // Геоморфология и палеогеография. Т. 54. № 4. С. 179–194.
<https://doi.org/10.31857/S2949178923040060>;
<https://elibrary.ru/GPLFNE>
- Нигаматзянова Г.Р., Фролова Л.А., Нургалиев Д.К. (2019). Предварительные результаты спорово-пыльцевого анализа донных отложений озера Большое Миассово (Челябинская область) // Озера Евразии: проблемы и пути их решения. Ч. 1. Казань: Изд-во АН РТ. С. 129–132.
- Новенко Е.Ю. (2020). Ландшафтно-климатические изменения в лесной зоне центральной и восточной Европы в голоцене: ретроспективный анализ и сценарии эволюции природной среды // Экосистема: экология и динамика. Т. 4. № 4. С. 57–80.
- Палагушкина О.В., Назарова Л.Б., Фролова Л.А. (2014). Диатомовые водоросли из голоценовых осадков озера Большой Харбей (Большеземельская тундра, Россия) // Журн. Сиб. Федер. ун-та. Биология. Т. 7. № 4. С. 395–410.
- Палеоклиматы и палеоландшафты внутропического пространства Северного полушария. Атлас-монография. (2009) / Под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС. 120 с.
- Панова Н.К., Антипина Т.Г. (2017). Голоценовая история лесов на восточном склоне Среднего Урала // Леса России и хозяйство в них. № 3 (62). С. 53–64.
- Панова Н.К. (2018). Трансформация растительных сообществ таежной зоны Урала в голоцене // Мат-лы IV междунар. науч. конф. “Экология и география растений и растительных сообществ”. Екатеринбург: Гуманитарный институт Уральского ун-та. С. 648–652.
- Пыльцевой анализ. (1950) / Под ред. К.К. Маркова. М.: Гос. изд-во геолит. 571 с.
- Рогозин А.Г. (2014). Экологические проблемы Кисегач-Миассовской озерной системы (Южный Урал) // Экологическая оценка и картографирование. № 5. С. 20–24.
- Сладков А.Н. (1967). Введение в спорово-пыльцевой анализ. М.: Наука. 271 с.
- Хомутова В.И., Андреева М.А., Давыдова Н.Н. и др. (1995). Южный Урал. Озеро Увильды // История озер Севера Азии (Серия: История озер). СПб.: Наука. С. 22–40.
- Хотинский Н.А. (1977). Голоцен Северной Евразии. Опыт трансконтинентальной корреляции этапов развития растительности климата // К X Конгрессу INQUA (Великобритания). М.: Наука. 198 с.
- Хотинский Н.А., Немкова В.К., Сурова Т.Г. (1982). Главные этапы развития растительности и климата Урала в голоцене // Археологические исследования севера Евразии. Свердловск: УрГ. С. 147–148.
- Bjune A.E., Greve A.I., Brendryen J. et al. (2022). Rapid climate changes during the Lateglacial and the early Holocene as seen from plant community dynamics in the Polar Urals, Russia // Journal of Quaternary Science. Vol. 37. Iss. 5. P. 805–817.
<https://doi.org/10.1002/jqs.3352>
- Demezhko D.Yu., Golovanova I.V. (2007). Climatic changes in the Urals over the past millennium – an analysis of geothermal and meteorological data // Clim. Past. Vol. 3. P. 237–242.
<https://doi.org/10.5194/cp-3-237-2007>
- Frolova L.A. (2016). Subfossil Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) in climatic and palaeoenvironmental investigations in Eastern Siberia (Russia) // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016. Book 4. Vol. 2. P. 601–606.
<https://doi.org/10.5593/SGEM2016/B42/S19.077>
- Frolova L.A., Ibragimova A.G., Ulrich M. et al. (2017). Reconstruction of the history of a thermokarst lake in the Mid-Holocene based on an analysis of subfossil Cladocera (Siberia, Central Yakutia) // Contemporary Problems of Ecology. Vol. 10. No. 4. P. 423–430.
<https://doi.org/10.1134/S1995425517040023>
- Frolova L.A., Frolova A.A. (2017). Implication of ephippium analysis (Cladocera, Branchiopoda, Crustacea) for reconstruction of past environmental changes in Central Yakutia, Russia // 17th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2017. Vol. 17. Iss. 41. P. 481–486.
<https://doi.org/10.5593/sgem2017/41/S19.061>
- Grimm E. (1987). CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the methods of incremental sum of squares // Comput. Geosci. Vol. 13. P. 13–15.
- Grimm E. (1991). Tilia TILIA and TILIAGRAPH. Springfield: Illinois State Museum. 56 p.
- Krivonogov S.K., Zhdanova A.N., Solotchik P.A. et al. (2023). The Holocene environmental changes revealed from the sediments of the Yarkov sub-basin of Lake Chany, south-western Siberia // Geosci. Front. Vol. 14. Iss. 2. No. 1015182023.
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101518>
- Lapteva E.G., Korona O.M. (2012). Holocene vegetation changes and anthropogenic influence in the forest-

- steppe zone of the Southern Trans-Urals based on pollen and plant macrofossil records from the Sukharysh cave // *Vegetation History and Archaeobotany*. Vol. 21. P. 321–336.
<https://doi.org/10.1007/s00334-011-0333-z>
- Lapteva E.G., Korona O.M., Zhilin M.G. (2020). The Early Holocene vegetation changes in the vicinity of the Gorbunovo peat bog in the Middle Urals (Russia) // *The 5th International Conference “Ecosystem dynamics in the Holocene”*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Vol. 438. No. 012013.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/438/1/012013>
- Lapteva E.G., Zaretskaya N.E., Kosintsev P.A. et al. (2017). First Data on the Middle to Late Holocene Dynamics of Vegetation in the Upper Kama Region // *Russ. J. Ecol.* Vol. 48. No. 4. P. 326–334.
<https://doi.org/10.1134/S1067413617040099>
- Maslennikova A. (2022). Holocene environments in the Middle Urals: Palaeolimnological proxies from the Lake Tavatui (Russia) // *Quat. Int.* Vol. 622. P. 51–64.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.02.033>
- Maslennikova A.V., Udachin V.N. (2017). Lakes ecosystem response to Holocene climate changes and human impact in the Southern Urals: Diatom and geochemical proxies // *The Holocene*. Vol. 27. Iss. 6. P. 847–859.
<https://doi.org/10.1177/0959683616675942>
- Maslennikova A.V., Udachin V.N., Aminov P.G. (2016). Late-glacial and Holocene environmental changes in the Southern Urals reflected in palynological, diatom, geochemical records from the Lake Syrytkul sediment // *Quat. Int.* Vol. 420. Iss. 28. P. 65–75.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.062>
- Nazarova L.B., Frolova L.A., Palagushkina O.V. et al. (2021). Recent shift in biological communities: A case study from the Eastern European Russian Arctic (Bol'shezemelskaya Tundra) // *Pol. Biol.* Vol. 44. Iss. 6. P. 1107–1125.
<https://doi.org/10.1007/s00300-021-02876-7>
- Nigmatzyanova G.R., Frolova L.A., Nigmatullin N.M. et al. (2020). Vegetation and climate changes in the northeast European Russia (Nenets Autonomous Okrug, Russia) // *20th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2020*. Vol. 20. Iss. 4.1. P. 547–552.
<https://doi.org/10.5593/sgem2020/4.1/s19.068>
- Nigmatzyanova G., Frolova L., Nurgaliev D. (2019). Preliminary results of palynological investigation of bottom sediments from lake Big Miassovo (Chelyabinsk Oblast, Russia) // *19th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2019*. Vol. 19. Iss. 5.1. P. 567–572.
<https://doi.org/10.5593/sgem2019/5.1>
- Nigmatzyanova G.R., Nigmatullin N.M., Tumanov O.N. et al. (2020). Pollen data from bottom sediments of a tundra lake in the Yerkuta River basin on the Yamal Peninsula // *Data Brief*. Vol. 44. 108539.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108539>
- Nurgaliev D., Kuzina D., Krylov P. et al. (2019). Climate changes over the last 13500 years based on lake sediments studies (Lake Bolshoe Miassovo, South Ural, Russia) // *19th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2019*. Vol. 19. Iss. 4.1. P. 925–930.
<https://doi.org/10.5593/sgem2019/4.1/S19.117>
- Panova N.K., Antipina T.G. (2014). Late glacial and Holocene environmental history on the eastern slope of the Middle Ural Mountains, Russia // *The Quaternary of the Urals: global trends and Pan-European Quaternary records: International conference INQUA-SEQS*. P. 110–112.
- Panova N.K., Antipina T.G. (2016). Late Glacial and Holocene environmental history on the eastern slope of the Middle Ural Mountains, Russia // *Quat. Int.* Vol. 420. P. 76–89.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.035>
- Rasmussen S.O., Andersen K.K., Svensson A.M. et al. (2005). A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination // *J. Geophys. Res.* Vol. III. D06102.
<https://doi.org/10.1029/2005JD006079>
- Reille M. (1992). Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord. Laboratoire de botanique historique et palynologie. Marseille: URA CNRS. 520 p.
- Reille M. (1995). Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord Supplement 1. Laboratoire de botanique historique et palynologie. Marseille: URA CNRS. 520 p.
- Reille M. (1998). Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord Supplement 2. Laboratoire de botanique historique et palynologie. Marseille: URA CNRS. 530 p.
- Rogozin A.G., Gavrilkina S.V. (2015). Long-term Variations of the Thermal Regime of Lake Bol'shoe Miassovo (South Urals) as a Result of the Climate Warming // *Russian Meteorology and Hydrology*. Vol. 40. No. 8. P. 561–564.
<https://doi.org/10.3103/S1068373915080099>
- Shumilovskikh L.S., Schmidt M., Pereskokov M. et al. (2020). Postglacial history of East Europeanboreal forests in the mid-Kama region, pre-Urals, Russia // *Boreas*. Vol. 49. P. 526–543.
<https://doi.org/10.1111/bor.12436>
- Snitko L.V., Snitko V.P. (2014). Phytoplankton as an Indicator in Assessing Long-Term Variations in Water Quality of Lakes Bolshoye Miassovo and Turgoyak, the South Urals // *Water Resour.* Vol. 41. Iss. 2. P. 210–217.
<https://doi.org/10.1134/S0097807814020146>
- Stockmarr J. (1972). Determination of spore concentration with in electronic particle counter. *Geological*. P. 87–89.
- Valieva E., Frolova L., Nigmatzyanova G. et al. (2020). Diatoms in bottom sediments of the arctic lake in the Pechora River delta (Nenets Autonomous Okrug, Russia) // *4th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2004*. Vol. 4. Iss. 1. P. 391–398.
<https://doi.org/10.5593/sgem2020/4.1/s19.049>

VEGETATION AND CLIMATE CHANGES IN THE SOUTHERN URALS IN THE LATE GLACIAL AND HOLOCENE DERIVED FROM POLLEN RECORD OF LAKE BOLSHOE MIASSOVO¹

G. R. Nigamatzyanova^{a, #}, L. A. Frolova^a, N. M. Nigmatullin^a, A. R. Yusupova^a, and D. K. Nurgaliev^a

^aKazan Federal University, Kazan, Russia

[#]E-mail: GuRNigamatzyanova@kpfu.ru

A spore-pollen analysis of a 526 cm sediment core retrieved from Lake Bolshoe Miassovo, Southern Urals, was carried out. The obtained data made it possible to reconstruct the vegetation cover in the lake's catchment area and the climatic situation of the region for 13400 cal yr BP, which significantly expands and complements the paleogeographic chronicle of the Southern Urals. It was found that in the range of 13400–12700 cal yr BP in the conditions of a relatively warm and dry climate of Allerød, periglacial forest-steppe formations were widespread in the studied region. Steppe herb communities and birch-pine sparse woodlands with spruce grew on open landscapes. The pine degradation and replacement of spruce with more cold-resistant larch was most likely caused by a cooling in the period of 12700–11700 cal yr BP, which corresponds to the Younger Dryas. The periglacial forest-steppe formations are replaced by birch forests since 11700 cal yr BP. The significant changes in the vegetation cover of the lake's catchment area indicate warming and humidification of the climate at the beginning of the Holocene. The dominance of birch forests in the interval of 11300–10300 cal yr BP, probably, corresponds to the second half of the Pre-Boreal period. The distribution of pine and spruce in the range of 10300–8300 cal yr BP indicates a warming of climatic conditions in the Boreal period. Since 8400 cal yr BP the proportion of broad-leaved species in the tree stand increases. The broad-leaved species cover reached its peak between 6000–4500 cal yr BP at the end of the Atlantic - the beginning of the Sub-Boreal period (Holocene climatic optimum). Some cooling of the climate was observed in the range of 4500–2000 cal yr BP, which presumably corresponds to the Sub-Boreal and the beginning of the Sub-Atlantic period. The birch forest with spruce and broad-leaved species grew in the lake's catchment area. Some aridization and warming of the climate in the Sub-Atlantic period in the range of 1800–1000 cal. yr BP led to an increase in the role of pine and a reduction of spruce in the area around the lake. Since 1800 cal yr BP the vegetation of the territory adjacent to Lake Bolshoe Miassovo was similar to the modern one: pine-birch forests with an admixture of dark coniferous and broad-leaved species prevailed on the territory.

Keywords: spore-pollen analysis, Holocene, climate reconstruction, paleoecology, Lake Bolshoe Miassovo

ACKNOWLEDGMENTS

The palynological analysis was supported by the grant No. 22-47-08001 from the Russian Science Foundation. The statistical analysis was carried out within the framework of the Strategic Academic Leadership Program of Kazan Federal University (Priorities-2030).

REFERENCES

- Andreeva M.A., Veisberg E.I., Gavrilkina S.V. et al. (2000). *Ekologiya ozera Bol'shoe Miassovo* (Ecology of Lake Bolshoe Miassovo). Miass: IGZ UrO RAN (Publ.). 318 p. (in Russ.)
- Bjune A.E., Greve A.I., Brendryen J. et al. (2022). Rapid climate changes during the Lateglacial and the early Holocene as seen from plant community dynamics in the Polar Urals, Russia. *Journal of Quaternary Science*. Vol. 37. Iss. 5. P. 805–817. <https://doi.org/10.1002/jqs.3352>
- Borisov A.S. (2004). Sistema tekhnologicheskogo obespecheniya paleomagnitnykh issledovaniy otlozhenii sovremennykh ozer (The system of technological support for paleomagnetic studies of sediments of modern lakes). PhD thesis. Kazan: KGU (Publ.). 45 p. (in Russ.)
- Demezhko D.Yu., Golovanova I.V. (2007). Climatic changes in the Urals over the past millennium – an analysis of geothermal and meteorological data. *Clim. Past*. Vol. 3. P. 237–242. <https://doi.org/10.5194/cp-3-237-2007>
- Frolova L.A. (2016). Subfossil Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) in climatic and palaeoenvironmental investigations in Eastern Siberia (Russia). *16th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2016*. Book 4. Vol. 2. P. 601–606. <https://doi.org/10.5593/SGEM2016/B42/S19.077>
- Frolova L.A., Frolova A.A. (2017). Implication of ephippium analysis (Cladocera, Branchiopoda, Crustacea) for reconstruction of past environmental changes in Central Yakutia, Russia. *17th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2017*. Vol. 17. Iss. 41. P. 481–486. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/41/S19.061>
- Frolova L.A., Ibragimova A.G., Ulrich M. et al. (2017). Reconstruction of the history of a thermokarst lake in the Mid-Holocene based on an analysis of subfossil Cladocera (Siberia, Central Yakutia). *Contemporary Prob-*

¹ For citation: Nigamatzyanova G.R., Frolova L.A., Nigmatullin N.M. et al. (2023). Vegetation and climate changes in the Southern Urals in the Late Glacial and Holocene derived from pollen record of Lake Bolshoe Miassovo. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 54. No. 4. P. 179–194. (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2949178923040060>; <https://elibrary.ru/GPLFNE>

- lems of Ecology*. Vol. 10. No. 4. P. 423–430.
<https://doi.org/10.1134/S1995425517040023>
- Grichuk V.P., Zaklinskaya E.D. (1948). Analiz iskopaemykh pyl'tsy i spor i ego primenenie v paleogeografii (Analysis of fossil pollen and spores and its application in paleogeography). Moscow: Geografiz (Publ.). 224 p. (in Russ.)
- Grimm E. (1987). CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the methods of incremental sum of squares. *Comput. Geosci.* Vol. 13. P. 13–15.
- Grimm E. (1991). Tilia TILIA and TILIAGRAPH. Springfield: Illinois State Museum. 56 p.
- Ivchenko T.G. (2013). Mire vegetation of the Il'menski State Nature Reserve, the Southern Urals. *Rastitel'nost' Rossii*. No. 22. P. 38–62. (in Russ.)
- Kats N.Ya., Kats S.V. (1978). About vegetation changes in the eastern foothills of the Southern Urals in the post-glacial period. *Bull. Soc. Imp. Nat. N.s. Mosc. Biol.* Iss. 83. Vol. 3. P. 89–97. (in Russ.)
- Khomutova V.I., Andreeva M.A., Davydova N.N. et al. (1995). Southern Urals. Lake Uvildy. Istoriya ozer Severa Azii (Seriya: Istoriya ozer) (History of the Lakes of the North of Asia (Series: History of Lakes)). Saint Petersburg: Nauka (Publ.). P. 22–40. (in Russ.)
- Khotinskii N.A. (1977). Golotsen Severnoi Evrazii. Opyt transkontinental'noi korrelyatsii etapov razvitiya rastitel'nosti klimata. K X Kongressu INQUA (Velikobritaniya) (Holocene of Northern Eurasia. Experience of transcontinental correlation of stages of vegetation climate development. To the X Congress of INQUA (Great Britain)). Moscow: Nauka (Publ.). 198 p. (in Russ.)
- Khotinskii N.A., Nemkova V.K., Surova T.G. (1982). The main stages of the development of vegetation and climate of the Urals in the Holocene. *Arkheologicheskie issledovaniya severa Evrazii*. Sverdlovsk: UrGU (Publ.). P. 147–148. (in Russ.)
- Koroteeva E.V., Veisberg E.I., Kuyantseva N.B. (2005). Ilmen state nature reserve – regional phytomonitoring station. *Izvestiya ChNC UrO RAN*. 2005. Vol. 2. No. 28. P. 119–123. (in Russ.)
- Krивonogov S.K., Zhdanova A.N., Solotchin P.A. et al. (2023). The Holocene environmental changes revealed from the sediments of the Yarkov sub-basin of Lake Chany, south-western Siberia. *Geosci. Front.* Vol. 14. Iss. 2. No. 1015182023.
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101518>
- Kulikov P.V. (2005). Konspekt flory Chelyabinskoi oblasti (sosudistyie rasteniya) (Abstract of the flora of the Chelyabinsk region (vascular plants)). Ekaterinburg–Miass: Geotur (Publ.). 538 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. Iss. 1.) Leningrad: Nauka (Publ.). 171 p. (in Russ.)
- Kupriyanova L.A., Aleshina L.A. (1978). Pyl'tsa i spory rastenii flory SSSR. T. 2. (Pollen and spores of plants of the flora of the USSR. Iss. 2.) Leningrad: Nauka (Publ.). 184 p. (in Russ.)
- Lapteva E.G., Korona O.M. (2012). Holocene vegetation changes and anthropogenic influence in the forest-steppe zone of the Southern Trans-Urals based on pollen and plant macrofossil records from the Sukharysh cave. *Vegetation History and Archaeobotany*. Vol. 21. P. 321–336.
<https://doi.org/10.1007/s00334-011-0333-z>
- Lapteva E.G., Korona O.M., Zhilin M.G. (2020). The Early Holocene vegetation changes in the vicinity of the Gorbunovo peat bog in the Middle Urals (Russia). *The 5th Int. Conf. "Ecosystem dynamics in the Holocene". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 438. No. 012013.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/438/1/012013>
- Lapteva E.G., Zaretskaya N.E., Kosintsev P.A. et al. (2017). First Data on the Middle to Late Holocene Dynamics of Vegetation in the Upper Kama Region. *Russ. J. Ecol.* Vol. 48. No. 4. P. 326–334.
<https://doi.org/10.1134/S1067413617040099>
- Markov K.K. (Ed.). (1950). Pyl'tsevoi analiz (Pollen analysis). Moscow: Gos. geol. (Publ.). 571 p. (in Russ.)
- Maslennikova A. (2022). Holocene environments in the Middle Urals: Palaeolimnological proxies from the Lake Tavatui (Russia). *Quat. Int.* Vol. 622. P. 51–64.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.02.033>
- Maslennikova A.V., Deryagin V.V., Udachin V.N. (2012). Reconstruction of Holocene lake sedimentation conditions of Southern Urals east slope. *Litosfera*. No. 2. P. 21–32. (in Russ.)
- Maslennikova A.V., Udachin V.N. (2017). Lakes ecosystem response to Holocene climate changes and human impact in the Southern Urals: Diatom and geochemical proxies. *The Holocene*. Vol. 27. Iss. 6. P. 847–859.
<https://doi.org/10.1177/0959683616675942>
- Maslennikova A.V., Udachin V.N., Aminov P.G. (2016). Lateglacial and Holocene environmental changes in the Southern Urals reflected in palynological, diatom, geochemical records from the Lake Syrytkul sediment. *Quat. Int.* Vol. 420. Iss. 28. P. 65–75.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.062>
- Maslennikova A.V., Udachin V.N., Deryagin V.V. (2014). Paleoeкологиya i geokhimiya ozernoi sedimentatsii golotsena Urala (Paleoecology and geochemistry of lake sedimentation of the Ural Holocene). Ekaterinburg: RIO UrO RAN (Publ.), 2014. 136 p. (in Russ.)
- Maslennikova A.V., Udachin V.N., Deryagin V.V. et al. (2018). Reconstruction of Turgoyak lake (the Southern Urals) ecosystem changes in Holocene. *Litosfera*. Iss. 18. No. 6. P. 914–927. (in Russ.).
<https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-6-914-927>
- Maslennikova A.V., Udachin V.N., Pirogov D.V. et al. (2016). Paleolimnological reconstruction of Late Glacial and Holocene environments of Middle Urals. *Litosfera*. No. 6. P. 166–176. (in Russ.)
- Mukhin V.A., Veisberg E.I., Kuyantseva N.B. et al. (2013). The role of aquatic macrophytes in organic substance circulation in the foothill lake Big Miassovo (South Ural). *Izvestiya SNC RAN*. Iss. 15. No. 3 (2). P. 758–761. (in Russ.)
- Nazarova L.B., Frolova L.A., Palagushkina O.V. et al. (2021). Recent shift in biological communities: A case study from the Eastern European Russian Arctic (Bol'shezemel'skaya Tundra). *Pol. Biol.* Vol. 44. Iss. 6.

- P. 1107–1125.
<https://doi.org/10.1007/s00300-021-02876-7>
- Nazarova L.B., Frolova L.B., Kosareva L.R. et al. (2014). Magneto-Mineralogical and Biological Properties of Sediments of the Lake Bolshoy Kharbey. *J. SFU. Biology*. Iss. 7. No. 4. P. 372–394. (in Russ.)
- Nemkova V.K. (1992). Flora and vegetation of the Urals in the Pliocene, Pleistocene and Holocene. *Flora i fauna kainozoya Predural'ya i nekotorye aspekty magnitostratigrafii*. Ufa: BNC UrO RAN (Publ.). P. 11–32. (in Russ.)
- Nigmatzyanova G.R., Frolova L.A., Nigmatullin N.M. et al. (2020). Vegetation and climate changes in the northeast European Russia (Nenets Autonomous Okrug, Russia). *20th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2020*. Vol. 20. Iss. 4.1. P. 547–552.
<https://doi.org/10.5593/sgem2020/4.1/s19.068>
- Nigmatzyanova G.R., Frolova L.A., Nigmatullin N.M. et al. (2023). Vegetation and climate changes in the Southern Urals in the Late Glacial and Holocene derived from pollen record of Lake Bolshoe Miassovo. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 54. No. 4. P. 179–194. (in Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S2949178923040060>;
<https://elibrary.ru/GPLFNE>
- Nigmatzyanova G., Frolova L., Nurgaliev D. (2019). Preliminary results of palynological investigation of bottom sediments from lake Big Miassovo (Chelyabinsk Oblast, Russia). *19th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2019*. Vol. 19. Iss. 5.1. P. 567–572.
<https://doi.org/10.5593/sgem2019/5.1>
- Nigmatzyanova G.R., Frolova L.A., Nurgaliev D.K. (2019). Preliminary results of spore-pollen analysis of the core of bottom sediments of the lake Bol'shoe Miassovo (Chelyabinsk region). *Ozera Evrazii: problemy i puti ikh resheniya. Ch. 1*. Kazan': Izdatel'stvo Akademii nauk RT (Publ.). Vol. 1. P. 129–132. (in Russ.)
- Nigmatzyanova G.R., Nigmatullin N.M., Tumanov O.N. et al. (2020). Pollen data from bottom sediments of a tundra lake in the Yerkuta River basin on the Yamal Peninsula. *Data Brief*. Vol. 44. 108539.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108539>
- Nigmatzyanova G.R., Nigmatullin N.M., Valieva E.A. et al. (2022). Reconstruction of vegetation cover and climatic changes of the Late Glacial and Holocene of the Southern Urals based on spore-pollen analysis of bottom sediments of Lake Bolshoe Miassovo. *GREG 2022: Mezhdunar. nauch.-issl. konf. "Emissiya parnikovyykh gazov segodnya i v geologicheskoy proshlom: istochniki, vliyaniye na klimat i okruzhayushchuyu sredu"*. Kazan: KFU (Publ.). P. 33. (in Russ.)
- Nigmatullin N.M., Nigmatzyanova G.R., Valieva E.A. et al. (2021). Recent Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) in the taphocenoses of lakes of the Pechora River delta (Russia). *Uch. Zap. Kazan. Un-ta. Ser. Estestv. Nauki*. Vol. 3. Iss. 163. P. 527–537.
<https://doi.org/10.26907/2542-064X.2021.3.527-537> (in Russ.)
- Novenko E.Yu. (2020). Landscape and climatic changes in the forest zone of Central and Eastern Europe in the Holocene: a retrospective analysis and scenarios of the evolution of the natural environment. *Ekosistema: ekologiya i dinamika*. Iss. 4. No. 4. P. 57–80. (in Russ.)
- Nurgaliev D., Kuzina D., Krylov P. et al. (2019). Climate changes over the last 13500 years based on lake sediments studies (Lake Bolshoe Miassovo, South Ural, Russia). *19th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2019*. Vol. 19. Iss. 4.1. P. 925–930.
<https://doi.org/10.5593/sgem2019/4.1/S19.117>
- Palagushkina O.V., Nazarova L.B., Frolova L.A. (2014). Diatoms of Holocene Sediments of Lake Bolshoy Kharbei (Bolshezemelskaya Tundra, Russia). *J. SF. Biology*. Iss. 7. No. 4. Iss. 7. P. 395–410. (in Russ.)
- Panova N.K. (2018). Transformation of vegetation communities in the taiga zone of the Urals during the Holocene. *Mat-ly IV mezhdunar. nauch. konf. "Ekologiya i geografiya rastenii i rastitel'nykh soobshchestv"*. Ekaterinburg: UUGI (Publ.). P. 648–652. (in Russ.)
- Panova N.K., Antipina T.G. (2014). Late glacial and Holocene environmental history on the eastern slope of the Middle Ural Mountains, Russia. *The Quaternary of the Urals: global trends and Pan-European Quaternary records: Int. Conf. INQUA-SEQS*. P. 110–112.
- Panova N.K., Antipina T.G. (2016). Late Glacial and Holocene environmental history on the eastern slope of the Middle Ural Mountains, Russia. *Quat. Int.* Vol. 420. P. 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.035>
- Panova N.K., Antipina T.G. (2017). Holocene history of forests on the eastern slope of the Middle Urals. *Lesa Rossii i khozyaistvo v nikh*. Iss.3. No. 62. P. 53–64. (in Russ.)
- Rasmussen S.O., Andersen K.K., Svensson A.M. et al. (2005). A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. *J. Geophys. Res.* Vol. III. D06102. <https://doi.org/10.1029/2005JD006079>.
- Reille M. (1992). Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord. Laboratoire de botanique historique et palynologie. Marseille: URA CNRS (Publ.). 520 p.
- Reille M. (1995). Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord Supplement 1. Laboratoire de botanique historique et palynologie. Marseille: URA CNRS (Publ.). 520 p.
- Reille M. (1998). Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord Supplement 2. Laboratoire de botanique historique et palynologie. Marseille: URA CNRS (Publ.). 530 p.
- Rogozin A.G. (2014). The ecological problems in the Kise-gatch-Miassovo lake system (the Southern Urals, Russia). *Ekologicheskaya otsenka i kartografirovaniye*. No. 5. P. 20–24. (in Russ.)
- Rogozin A.G., Gavrilkina S.V. (2015). Long-term Variations of the Thermal Regime of Lake Bol'shoe Miassovo (South Urals) as a Result of the Climate Warming. *Russian Meteorology and Hydrology*. Vol. 40. No. 8. P. 561–564.
<https://doi.org/10.3103/S1068373915080099>
- Shumilovskikh L.S., Schmidt M., Pereskokov M. et al. (2020). Postglacial history of East Europeanboreal forests in the mid-Kama region, pre-Urals, Russia. *Boreas*. Vol. 49. P. 526–543.
<https://doi.org/10.1111/bor.12436>
- Sladkov A.N. (1967). Vvedenie v sporovo-pyl'tsevoi analiz (Introduction to spore-pollen analysis). Moscow: Nauka (Publ.). 271 c. (in Russ.)

- Snitko L.V., Snitko V.P. (2014). Phytoplankton as an Indicator in Assessing Long-Term Variations in Water Quality of Lakes Bolshoye Miassovo and Turgoyak, the South Urals. *Water Resour.* Vol. 41. Iss. 2. P. 210–217. <https://doi.org/10.1134/S0097807814020146>
- Stockmarr J. (1972). Determination of spore concentration with in electronic particle counter. *Geological.* P. 87–89.
- Valieva E., Frolova L., Nigamatzyanova G. et al. (2020). Diatoms in bottom sediments of the arctic lake in the Pechora River delta (Nenets Autonomous Okrug, Russia). *4th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2004.* Vol. 4. Iss. 1. P. 391–398. <https://doi.org/10.5593/sgem2020/4.1/s19.049>
- Valieva E.A., Frolova L.A., Palagushkina O.V. et al. (2023). Late Glacial and Holocene history of Lake Bolshoe Miassovo (Southern Urals) based on diatom analysis of bottom sediments. *Geomorfologiya i Paleogeografiya.* Vol. 54. No. 4. P. 195–206. <https://doi.org/10.31857/S2949178923040151>; <https://elibrary.ru/YCGMKY>
- Veisberg E.I. (2014). Water vegetation diversity of Big Miassovo – Small Miassovo lake system (South Ural). *Turczaninowia.* 2014. Vol. 17. No. 4. P. 84–96. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.17.4.15>
- Velichko A.A. (Ed.) (2009). *Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polushariya. Atlas-monografiya (Paleoclimates and paleolandscapes of the extratropical space of the Northern Hemisphere. Atlas-monograph).* Moscow: GEOS (Publ.). 120 c. (in Russ.)