

ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РОССИИ:
ОТ КАЛИНИНГРАДА ДО КАМЧАТКИ

УДК 551.89:556.55→551.312.4→(234.853)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ОЗЕРА БОЛЬШОЕ МИАССОВО
(ЮЖНЫЙ УРАЛ) В ПЕРИОД ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЯ И ГОЛОЦЕНА
НА ОСНОВЕ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ[#]

© 2023 г. Э. А. Валиева^{1,*}, Л. А. Фролова¹, О. В. Палагушкина¹, Н. М. Нигматуллин¹,
Г. Р. Нигаматзянова¹, Д. К. Нургалиев¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

*E-mail: Zinnatova.1994@mail.ru

Поступила в редакцию 19.04.2023 г.

После доработки 04.08.2023 г.

Принята к публикации 08.09.2023 г.

Донные отложения представляют собой важнейший “архив”, содержащий сведения о развитии озерных экосистем. Одним из наиболее надежных и широко используемых методов изучения водных экосистем является диатомовый анализ (Жузе и др., 1949). В настоящее время диатомовый анализ входит в группу руководящих методов, применяемых для реконструкции исторической динамики окружающей среды и климата (Rudaya et al., 2012; Palagushkina et al., 2018). В статье представлены результаты исследования колонки донных отложений длиной 526 см и возрастом 13 500 кал. л. озера Большое Миассово (Южный Урал). Диатомовый анализ донных отложений исследуемого озера позволил выявить 123 таксона водорослей 47 родов и выделить основные этапы эволюции водоема в периоды позднеледниковья и голоцена. В позднеледниковье (~13 200–11 700 кал. л. н.) в условиях прохладного климата озеро представляло собой глубокий водоем с постоянным уровнем воды и обширной зоной мелководий, заросшей макрофитами; в начале голоцена (~11 700–8500 кал. л. н.) на фоне похолодания отмечалось понижение уровня воды; в период с ~8500 по 4600 кал. л. н. в условиях более теплого и влажного климата зафиксировано повышение уровня воды; в период с ~4600 по 2500 кал. л. н. отмечалось повышение продуктивности водорослевых сообществ; с ~2500 по 800 кал. л. н. на фоне понижения температуры окончательно оформилось глубоководное озеро с маломинерализованной водой, наличием заболоченных мелководий с процессами закисления.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, озеро Большое Миассово, Южный Урал, донные отложения, позднеледниковье, голоцен

DOI: 10.31857/S2949178923040151, **EDN:** YCGMKY

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных компонентов озерной экосистемы, являющимся носителем наиболее полной информации об истории развития водоемов, служат донные отложения озер. Они содержат в себе подлинную летопись важнейших процессов — физико-химических и продукционно-биологических, происходящих на протяжении всей истории озера (Субетто, 2009; Nigamatzyanova et al., 2016; Frolova et al., 2017). Существенный вклад в оценку экологических обстановок озера на протяжении всего периода его развития и в изучение строения озерных отложений вносит диатомовый анализ

(Жузе и др., 1949; Хурсевич, 1976; Давыдова, 1985; Пестрякова и др., 2016; Зиннатова и др., 2019; Ludikova et al., 2020). Диатомовые водоросли — одноклеточные микроскопические организмы, которые обладают хорошей сохранностью в донных отложениях, благодаря наличию кремнеземного панциря (Забелина и др., 1951; Valieva, 2022). Использование данного метода позволяет реконструировать историю эволюции озерных экосистем, характер изменения уровня озер в прошлом, уровень трофности, выделять периоды существования пресноводных и солоноватоводных фаз в развитии водных бассейнов (Давыдова, 1988; Frolova et al., 2013; Khaliullina et al., 2016). Диатомовые водоросли образуют характерные экологические комплексы, которые приурочены к разным биотопам водоемов и адаптированы к различным факторам водной среды. По количеству и составу диатомей, соотношению их основных групп (центрические и пеннатные, планктонные и бентосные), наличию

[#] Ссылка для цитирования: Валиева Э.А., Фролова Л.А., Палагушкина О.В. и др. (2023). Реконструкция истории развития озера Большое Миассово (Южный Урал) 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>

видов-индикаторов можно реконструировать природные условия в предшествующие временные отрезки, а именно температурный режим, выделить периоды засушливости или повышенной увлажненности, оценить колебания уровня воды в водоеме, а также показатели pH водоема (Wolin, Stone, 2010; Palagushkina et al., 2019; Nazarova et al., 2021). Южный Урал характеризуется хорошо развитой гидрографической сетью. Неоднородность ландшафтообразующих факторов, связанная с зонально-географическим делением и сложным рельефом, является причиной многообразия типов озер на данной территории (Вейсберг, 2014).

Пограничное расположение Урала, как климатораздела, а также тот факт, что изучаемые нами озера находятся на территории Ильменского государственного заповедника, придают исследованиям палеоклимата на данной территории особую значимость. Высокая концентрация горно-промышленных предприятий на Южном Урале определяет необходимость исследования развития озерных экосистем под воздействием естественных и антропогенных факторов (Солотчина, 2009). Целью данной работы является изучение таксономического состава ископаемых диатомовых водорослей в донных отложениях озера Большое Миассово с последующей реконструкцией истории развития озера. До недавнего времени исследований ископаемых диатомовых водорослей в донных отложениях озер Южного Урала проведено немало (Масленникова, Дерягин, 2008; Масленникова, Ершов, 2010; Дерягин и др., 2011; Масленникова и др., 2018). В работе Л.В. Снитко (2004) описаны фитопланктонные сообщества разнотипных озер Ильменского заповедника. Проведены исследования водной флоры данных озер и в работе Е.И. Вейсберг (2014), а исследования по перифитонным сообществам диатомовых водорослей выполнены Н.А. Исаковой (2016). Однако диатомовые водоросли как палеоиндикаторы ранее не были изучены в донных отложениях озера Большое Миассово. Результаты наших исследований предоставят дополнительную информацию для региональных баз данных и помогут повысить точность палеоэкологических реконструкций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Колонка донных отложений с оз. Б. Миассово (55°9'59.89" с.ш.; 60°20'51.82" в.д.) длиной 526 см была отобрана с использованием гидравлического пробоотборника в июле 2018 г. Пробоотборник длиной 6 м с вакуумным якорем спроектирован и изготовлен в Казанском (Приволжском) федеральном университете по устройству аналогичного отборника (Mackereth, 1958). Используемый пробоотборник отличается от аналога гидравлическим принципом действия для более аккурат-

ного отбора проб донных осадков и для повышения безопасности. Пробоотборник позволяет получать керны донных отложений диаметром 70 мм в водоемах глубиной до 100 м (Борисов, 2004). Колонка донных отложений диаметром 70 мм отобрана в центральной части озера с глубины 25 м. Значительная часть колонки представлена илистыми отложениями (Нигаматзянова и др., 2023). Распределение грунтов по дну оз. Б. Миассово находится в тесной связи с глубинами. Донные отложения в глубоководной части озера состоят из темно-серого, темно-зеленого до коричневых оттенков студенисто-творожистого ила/сапропеля (Рогозин, Ткачев, 2000). В полевых условиях отобранная колонка донных отложений была нарезана послойно с шагом в 2 см. В лабораторных условиях образцы были высушены методом сублимационной сушки. Абсолютное датирование отложений было проведено методом радиоуглеродного AMS датирования в Лаборатории NTUAMS (Национальный Тайваньский университет). Максимальный возраст вскрытых отложений составил 13500 кал. л. н. Для калибровки возраста образцов использовались программа OxCal v4.2.4 и калибровочная кривая IntCal 13 (Ramsey, 2001). Детальное описание возрастной модели с полученными радиоуглеродными датировками опубликованы (Нигаматзянова и др., 2023).

Подготовка 51 образца донных отложений для диатомового анализа проводилась с использованием стандартного метода с некоторыми изменениями (Battarbee, 1986). В навеску, составляющую не менее 0.2 г сухого осадка, добавлялось по 7 мл 30% перекиси водорода (H_2O_2), после этого пробирка помещалась в водяную баню при температуре +80°C на 4–5 ч. Затем к осадку добавлялось 5 капель 37% соляной кислоты (HCl) и пробирки помещались на 5 мин в центрифугу, для центрифугирования со скоростью 1500 об./мин, с последующим промыванием образцов дистиллированной водой с 5 повторами. Для изготовления постоянных препаратов (слайдов) использовалась высокопреломляющая смола Naphrax (коэффициент преломления 1.73). Подготовленная, тщательно перемешанная взвесь диатомовых створок наносилась на покровные стекла и высушивалась. Подсчет и определение створок проводились по параллельным трансектам до 300–500 створок в образце с использованием светового микроскопа Zeiss Axio Emager A2 (иммерсионный объектив $\times 100$, п.а. = 1.4) с применением дифференциально-интерференционного контраста (DIC) Номарского. При идентификации использовали отечественные и зарубежные определители, систематические сводки и статьи (Забелина и др., 1951; Krammer, Lange-Bertalot, 1986; 1988; 1991; Lange-Bertalot, Ulrich, 2014; Chudaev, Gololobova, 2016; Куликовский и др., 2016; Lange-Bertalot et al.,

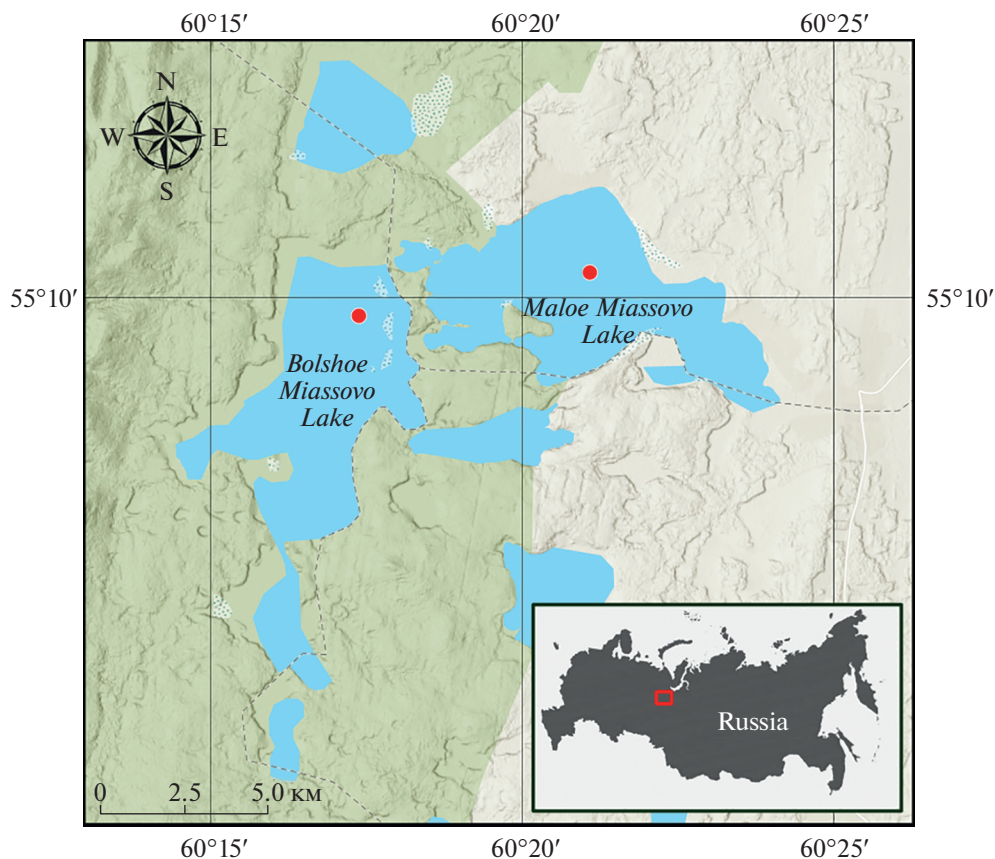


Рис. 1. Карта-схема расположения оз. Б. Миассово (Челябинская область).

Fig. 1. Location map of the lake B. Miassovo (Chelyabinsk region).

2017). Эколого-географическая характеристика диатомовых водорослей была дана по отношению к местообитанию, солености, pH воды, по географическому распространению, температурному фактору и реофильности (Давыдова, 1985; Барина, 2006; Куликовский и др., 2016; Lange-Bertalot et al., 2017).

Микрофотосъемку производили посредством фотокамеры Axio Cam MRc5 и сканирующего электронного микроскопа FEL XL-30ESEM. Диатомовая диаграмма была создана с помощью программы Tilia (версия 2.0.41). Выделение зон было проведено с использованием программы CONISS (Grimm, 2004). Общее число створок бралось за 100%, доминантами считались виды, составляющие в осадках $\geq 10\%$ створок, субдоминантами — от 5 до 10% (Давыдова, 1985). Пробы с глубин 460, 470, 500–520 см, где не было найдено достоверного числа створок (300), из дальнейшего статистического анализа были исключены.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Озеро Б. Миассово ($55^{\circ}08'57''$ с.ш.; $60^{\circ}16'32''$ в.д.) расположено в восточных предгорьях Уральских гор

на территории Ильменского заповедника, являющегося центральным звеном Кисегач-Миассовской гидрологической системы (Кострюкова, 2013). Длина оз. Б. Миассово составляет 8 км, ширина — 1.5 км, общая площадь водного зеркала — 11.4 км^2 . Максимальная глубина составляет 25 м, средняя — 11.2 м. Озеро представляет собой пресный гидрокарбонатно-кальциевый водоем с малой минерализацией, около 200 мг/л (Рогозин, Ткачев, 2000).

Котловина оз. Б. Миассово имеет тектоническое происхождение, как и у большинства озер Южного Урала (рис. 1). Озеро собирает воды всего восточного склона Ильменского хребта, объединяет посредством проток близлежащие озера заповедника — Бараус, Б. Таткуль, Няшевский Прудок, Савелькуль. Можно сказать, что оз. Б. Миассово связывает всю центральную часть Ильменского заповедника и поэтому оно вызывает большой научный интерес.

Берега озера являются тектоническими уступами и имеют преимущественно крутой уклон, за исключением низменного и заболоченного южного, юго-западного берега. Озеро Б. Миассово имеет глубокую центральную часть котловины; для озера характерны сильно изрезанная береговая линия и сложный рельеф дна. Литоральная

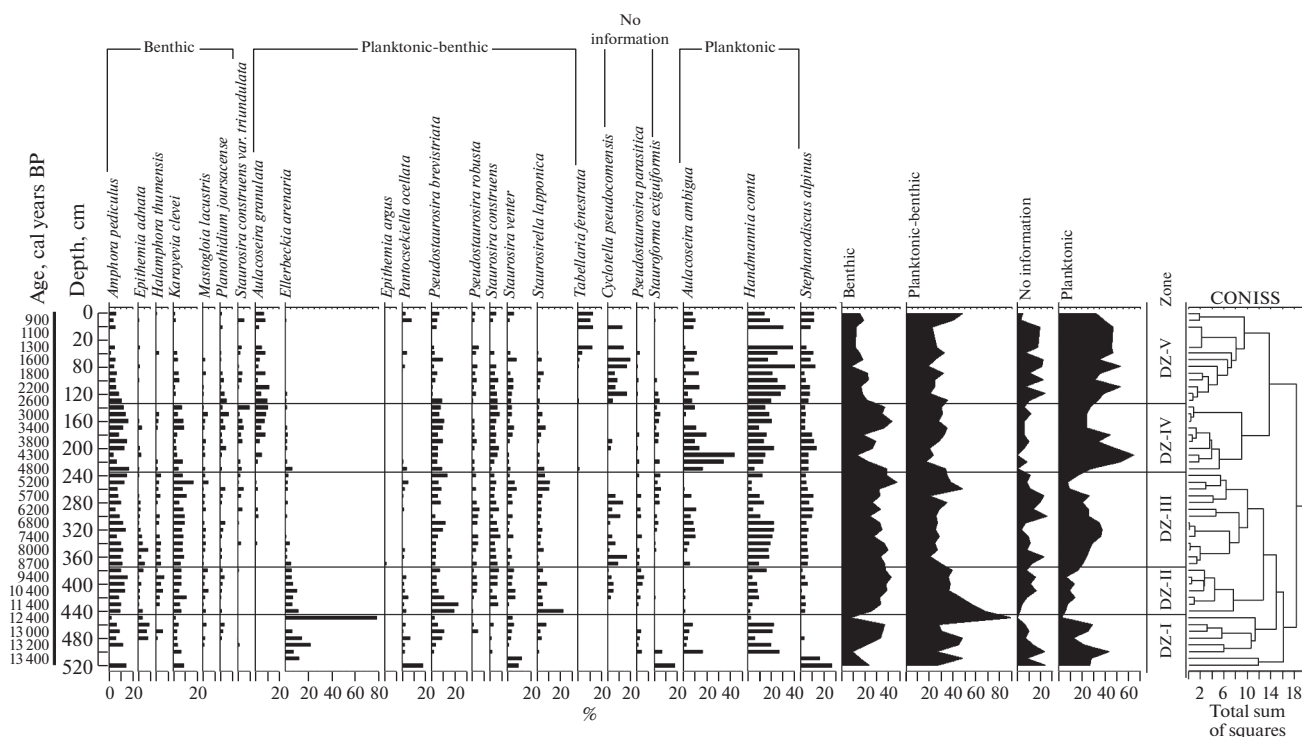


Рис. 2. Диатомовая диаграмма разреза донных отложений оз. Б. Миассово.

Fig. 2. Diatom diagram of bottom sediments of Lake Bolshoe Miassovo.

зона развита слабо из-за крутого уклона, исключая заливы, максимальная глубина которых составляет 4–7 м. Площадь литорали до глубины 5 м, которая является предельной для распространения водных макрофитов, составляет не более 30% акватории (Рогозин, Ткачев, 2000). На значительном протяжении открытых участков берега круты и каменисты. В заливах берега более пологие, часто заболоченные, со сплавами. Грунты литорали разнообразны: торфяно-илистые, илистые, различные варианты каменисто-песчаных отложений (Вейсберг, 2014).

Озеро Б. Миассово приурочено к пересеченному рельефу предгорий, расположено в подзоне сосново-березовых лесов южно-таежной лесной зоны (Вейсберг, 2014). Водная и прибрежная растительность хорошо развита в мелководных заливах, на открытых участках она разрежена, располагается узкой прерывистой полосой вдоль берега, образуя полные профили и имеет мозаичный характер (Вейсберг, 2014).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных исследований в 51 образце донных отложений оз. Б. Миассово идентифицировано 123 таксона диатомовых водорослей, принадлежащих к 47 родам.

В исследуемых диатомовых комплексах ведущее место по количеству таксонов занимает род

Epithemia. Представители данного рода являются преимущественно пресноводными видами, обитающими в разнотипных водоемах, предпочитающими щелочные условия среды. Они распространены повсеместно (Куликовский и др., 2016).

Диатомовый анализ разреза донных отложений оз. Б. Миассово позволил выявить этапы в его развитии, в связи с экологическими и климатическими изменениями. С помощью кластерного анализа колонка донных отложений была разделена на 5 диатомовых зон, в зависимости от наличия диатомовых таксонов и их относительной численности (рис. 2). Образцы донных отложений с глубин 460, 470 и 500–520 см были исключены из дальнейших статистических обработок, ввиду недостаточного в них количества створок диатомовых водорослей.

ДЗ I (490–445 см, ~13200–11700 кал. л. н.). Нижняя часть колонки донных отложений объединяет 3 пробы, число видов в которых колебалось от 10 до 32. В пределах зоны по местообитанию преобладают створки планктонно-бентосных видов. Доминирующий планктонно-бентосный вид *Ellerbeckia arenaria* (D. Moore ex Ralfs) Dorofeyuk & Kulikovskiy достигает максимума – 78.4%. В верхней части зоны из доминанта в статус субдоминанта переходят планктонный вид *Handmannia comta* (Ehrenberg) Kociolek & Khursevich (с 19.3 до 5.7%) и бентосный вид *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow (11.4 до 5.7%). Субдоминантами зоны яв-

rosira brevistriata (10.2–4.7%), *Staurosira construens*, бентосный *Amphora pediculus*. В средней части зоны доминируют створки *Stephanodiscus alpinus*.

По температурной приуроченности большая часть створок принадлежит к индифферентным видам, хотя отмечено незначительное присутствие створок холодолюбивых видов *Halamphora oligotraphenta* и *Stephanodiscus alpinus* и эвритермного *Sellaphora pupula*. По отношению к pH по-прежнему отмечается преобладание створок видов, предпочитающих щелочную реакцию среды, но в верхней части зоны происходит значимое увеличение доли створок ацидофильного вида *Stauroforma exiguiformis*.

По географическому распространению преобладают створки космополитных видов, в нижней и верхней частях зоны отмечаются створки бореального *Halamphora thumensis* и аркто-альпийского *Cavinula cocconeiformis*.

По отношению к фактору солености, среди створок преобладают виды индифференты, с небольшой долей створок галофобного *Tabellaria fenestrata* (Lunbye) Kutzing и галофильного *Sellaphora pupula* видов. Зоне свойственна высокая доля створок видов стоячих вод.

ДЗ V (135–2 см, ~2500–800 кал. л. н.). Диатомовая зона включает 12 образцов, число видов по горизонтам зоны меняется от 20 до 35. Доминантами зоны по-прежнему является планктонный вид *Handmannia comta* (39.4%). В средней и верхней частях зоны преобладает *Stephanodiscus alpinus* (11.9%). В верхней части зоны в число доминантов добавляется *Tabellaria fenestrata* (12.8%). На уровень субдоминантов уходит бентосный вид *Amphora pediculus* (5.8%), планктонный *Aulacoseira ambigua* (8.1%), планктонно-бентосные *Aulacoseira granulata* (7.7%), *Pseudostaurosira brevistriata* (6.4%). По температурному фактору по-прежнему преобладают створки индифферентных видов с периодическим появлением эвритермного *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kutzing и холодолюбивых видов *Halamphora oligotraphenta* и *Stephanodiscus alpinus*. По фактору течения преобладают створки индифферентных видов. Этой зоне свойственен самый низкий процент створок видов стоячих вод. По географической приуроченности по-прежнему преобладают створки космополитных видов, но присутствует незначительная доля створок аркто-альпийского вида *Cavinula cocconeiformis* и бореального – *Halamphora thumensis*. По отношению к pH среды преобладают створки видов, предпочитающих щелочную реакцию среды, но в верхней части зоны значительно увеличивается доля створок ацидофильных видов *Stauroforma exiguiformis*, *Tabellaria fenestrata*, *Tabellaria flocculosa*. Подобная тенденция прослеживается и по отношению к фактору солености. На фоне преобладания створок индифферентных видов, в

верхней части зоны значимо возрастает доля створок галофобных видов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам диатомового анализа донных отложений в оз. Б. Миассово отмечено высокое таксономическое богатство – 123 таксона диатомовых водорослей. Согласно полученным ранее данным по перифитонным диатомовым сообществам в озере Б. Миассово был выявлен 91 вид и внутривидовых таксона диатомей, относящихся к 46 родам и 22 семействам (Исакова, 2016). В диссертационной работе Л.В. Снитко (2004) по фитопланктону разнотипных озер наибольшим видовым богатством диатомей характеризовалось оз. Б. Миассово (90 таксонов диатомовых водорослей). Высокое таксономическое богатство диатомовых водорослей отмечено и в работе Е.И. Вейсберг (2014). Видовое богатство оз. Б. Миассово объясняется разнообразием биотопов, его глубоководностью, сложным рельефом дна и сильно изрезанной береговой линией (Рогозин, Ткачев, 2000).

Анализ состава и структуры экологических групп диатомовых комплексов определяет оз. Б. Миассово как пресноводный, олиготрофный водоем с низкой минерализацией. Аналогичные результаты были представлены в работе Н.А. Исаковой (2016) по оценке качества воды в оз. Б. Миассово с использованием перифитонных диатомовых водорослей. Расположение оз. Б. Миассово на территории Ильменского заповедника обеспечивает отсутствие прямого антропогенного воздействия и условную ненарушенность его экосистемы.

Результаты диатомового анализа донных отложений исследуемого озера позволяют выделить основные этапы эволюции водоема, которые охватывают периоды позднего плейстоцена и голоцена. Анализ видового состава в нижней части колонки на глубинах 460, 470, 500 и 520 см показал, что большая часть обнаруженных видов принадлежала к планктонно-бентосным формам, с меньшей представленностью бентосных и планктонных. Следовательно, можно предположить существование мелководного водоема с хорошим притоком и перемешиванием воды.

Позднеледниковые (~13200–11700 кал. л. н.). Большая доля створок планктонного вида *Handmannia comta* в донных отложениях может говорить о существовании глубокого водоема. Высокая доля створок планктонно-бентосного вида *Ellerbeckia arenaria* может свидетельствовать о том, что на мелководьях озера на данном этапе развития был сформирован пояс макрофитов. Доминирование *Ellerbeckia arenaria* в период позднего дриаса отмечалось и в донных отложениях оз. Уфимское (Южный Урал) (Масленнико-

ва и др., 2012). Преобладание космополитов, с небольшой долей створок холодолюбивых видов, может указывать на умеренные климатические условия в этот временной промежуток.

Ранний голоцен (~11 700–8500 кал. л. н.). В конце позднеледникового времени ~11 700 кал. л. н. по данным диатомового анализа происходит смена доминантов — планктонный вид *Handmannia compta* заменяется на *Staurosirella lapponica*, *Karayevia clevei*, а из субдоминантов на уровень доминантов выходит *Stephanodiscus alpinus* — планктонный вид, предпочитающий низкую температуру воды и олиготрофные водоемы. Все это позволяет предположить о наличии глубоководных условий в озере. В составе диатомовых сообществ появляется ацидофильный вид *Stauroforma exiguiformis*, что может косвенно отражать процессы заболачивания мелководий на фоне понижения температуры на водосборном бассейне озера. В данной зоне отмечено присутствие створок и галофобных, и галофильных видов диатомовых водорослей, что может быть обусловлено флуктуацией уровня воды, как в сторону понижения с небольшим увеличением минерализации, так и повышением — с небольшим понижением минерализации и pH среды. Переход позднеледниковье—голоцен (~11 700–11 500 кал. л. н.) зафиксирован и описан во многих палеолетописях Северного полушария, включая Южный Урал (Rasmussen et al., 2005; Масленникова и др., 2014; Maslennikova et al., 2015), что отражается в позднеледниковых климатических колебаниях (Масленникова и др., 2012). Существенные различия в климатической обстановке северных и южных районов Урала также выявляются в конце позднеледниковья и в бореальный период. Северная часть Урала развивалась в условиях значительного увлажнения и смягчения климата, что характерно для сибирского типа климата голоцена. Южная половина Уральских гор, напротив, развивалась в условиях относительно холодного, засушливого и континентального климата, что характерно для атлантико-континентального типа развития климата в голоцене (Хотинский, 1982).

Средний голоцен (~8500–4600 кал. л. н.). В данный период развития оз. Б. Миассово было глубоководным. Рост доли створок планктонных видов *Handmannia compta* и *Aulacoseira ambigua* может свидетельствовать об относительном повышении уровня воды в озере. Увеличение продолжительности и температуры вегетационного периода привело к полному стаиванию ледников на Урале, что нашло отражение в изменении таксономического состава и смене доминантов диатомовых сообществ исследованного нами озера. Аналогичные результаты описаны в работах по реконструкции обстановок озерного седиментогенеза в позднеледниковье и голоцене Среднего Урала (Масленникова и др., 2016).

Поздний голоцен (~4600–800 кал. л. н.). Суббореальный и субатлантический периоды (~4600–800 кал. л. н.) рассматриваются совместно, так как во многих районах Урала они выделяются как более или менее единый этап в развитии природных условий позднеледниковья (Хотинский, 1982).

Суббореальный период (~4600–2500 кал. л. н.). На данном периоде развития в глубоководном озере появляется и достигает доминирования *Aulacoseira granulata*, этот вид отражает повышение продуктивности водорослевого сообщества.

В пробах донных отложений из данного интервала отмечены створки как галофобных, так и галофильных видов, что косвенно отражает процессы флуктуации климатических параметров и уровня воды. Аналогичные тенденции отмечались в работах по Южному и Среднему Уралу, а также для других регионов Северного полушария (Ilyashuk et al., 2013; Nazarova et al., 2013; Масленникова и др., 2015; 2016). Колебания температуры воздуха и уровня воды способствовали формированию обширной зоны мелководий, где могли протекать процессы закисления воды, благодаря которым в видовом составе отмечен рост доли створок ацидофильного таксона *Stauroforma exiguiformis*.

Субатлантический период (~2500–800 кал. л. н.). В пределах зоны отмечается преобладание доли створок планктонных видов, устойчивый рост доли створок галофобных и ацидофильных видов *Stauroforma exiguiformis*, *Tabellaria fenestrata*, *T. flocculosa*. В работе А.В. Масленниковой и соавт. (2012) по донным отложениям оз. Уфимское также отмечается возрастание количества створок и разнообразия ацидофильных таксонов диатомовых водорослей, в частности *Tabellaria flocculosa*. Увеличение ацидофильных таксонов указывает на наличие заболоченных участков в акватории озера, в которых могли протекать процессы закисления. В пределах этой зоны происходит очередная смена доминантов на планктонные виды *Handmannia compta* и *Stephanodiscus alpinus*, что подтверждает снижение уровня продуктивности в глубоком маломинерализованном водоеме в результате похолодания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования, в донных отложениях озера Б. Миассово определено 123 таксона диатомовых водорослей, принадлежащих к 47 родам. Диатомовый анализ колонки донных отложений позволил выявить этапы в развитии озера, условия которых не были постоянными и менялись под воздействием окружающей среды. Исходя из описания изменений диатомовых сообществ, можно сделать вывод о том, что в период позднеледниковья в условиях прохладного

климата озеро представляло собой глубокий водоем с постоянным уровнем воды и мелководьями, заросшими макрофитами. На протяжении истории своего существования озеро всегда оставалось глубоким. Начавшееся в среднем голоцене прогрессирующее повышение уровня воды происходило на фоне увеличения температуры окружающей среды и продолжительности вегетационного периода. В позднем голоцене в суббореальном периоде отмечаются очередная смена доминантов, рост продуктивности водорослевых сообществ. Субатлантический период характеризуется похолоданием, флуктуацией уровня воды в озере, наличием обширной зоны мелководья с тенденциями закисления воды в них.

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы благодарны всем участникам экспедиции за организацию и проведение полевых работ. Диатомовый 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

- Барина С.С., Анисимова О.В., Медведева Л.А. (2006). Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies studio. 498 с.
- Борисов А.С. (2004). Система технологического обеспечения палеомагнитных исследований отложений современных озер. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Казань: КазГУ. 46 с.
- Вейсберг Е.И. (2014). Разнообразие водной растительности системы озер Большое Миассово—Малое Миассово (Южный Урал) // *Turczaninowia*. Т. 17. № 4. С. 84—96.
- Давыдова Н.Н. (1985). Диатомовые водоросли-индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука. 243 с.
- Давыдова Н.Н., Субетто Д.А., Хомутова В.И. (1988). Позднеледниковый этап в развитии малых озер Северо-Запада России // *История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины*. СПб.: Наука. С. 166—193.
- Дерягин В.В., Масленникова А.В., Дерягин А.В. (2011). Режимы осадконакопления в озерах Серебры и Сырыткуль (Южный Урал) // *Вестник ЧГУ*. № 5. С. 24—30.
- Диатомовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. (1951) / Под ред. М.М. Забелиной, И.А. Киселева, А.И. Прошкиной-Лавренко, В.С. Шешуковой. М.: Советская наука. 619 с.
- Жузе С.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. и др. (1949). Диатомовый анализ. М.—Л.: Гос. изд-во геолит. 239 с.
- Зиннатова Э.А., Фролова Л.А., Нигматуллин Н.М. (2019). Диатомовые водоросли в донных отложениях тундровых озер дельты реки Печора // *Озера Евразии: проблемы и пути их решения*. Казань: АН Республики Татарстан. С. 264—268.
- Исакова Н.А. (2016). Оценка качества воды озера Большое Миассово с помощью перифитонных сообществ диатомовых водорослей (Южный Урал) // *Альманах современной науки и образования*. № 7. С. 36—39.
- Кострюкова А.М., Крупнова Т.Г., Машкова И.В. (2013). Биомониторинг озер Ильменского государственного заповедника // *Молодой ученый*. № 4. С. 156—158.
- Куликовский М.С., Глуценко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. (2016). Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филигрань. 804 с.
- Масленникова А.В., Дерягин В.В. (2008). Первые данные о составе колонки донных отложений оз. Иткуль // *Проблемы географии Урала и сопредельных территорий* / Мат-лы III науч.-практ. конф. Челябинск: Наука. С. 75—77.
- Масленникова А.В., Ершов В.В. (2010). Изменение минерального состава донных отложений оз. Уфимское (Южный Урал) в позднеледниковье—голоцене // *Уральский минералогический сборник*. № 17. С. 140—142.
- Масленникова А.В., Дерягин В., Удачин В. (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: УрО РАН. 136 с.
- Масленникова А.В., Удачин В.Н., Дерягин В.В. и др. (2018). Реконструкция этапов развития озера Тургой (Южный Урал) в голоцене // *Литосфера*. № 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.
- Нигматзянова 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>
- Пестрякова Л.А., Николаев А.Н., Субетто Д.А. и др. (2016). Палеоэкология. Методологические основы палеоэкологии. Якутск: ИД Северо-Восточного федерального ун-та. 84 с.
- Рогозин А.Г., Ткачев В.А. (2000). Экология озера Большое Миассово. Миасс: ИГЗ УрО РАН. 318 с.
- Снитко Л.В. (2004). Фитопланктон разнотипных озер Ильменского заповедника (Южный Урал). Дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар: Ильмен. гос. заповедник УрО РАН. 224 с.
- Солотчина Э.П. (2009). Структурный типоморфизм глинистых минералов осадочных разрезов и кор выветривания. Новосибирск: ГЕО. 236 с.

- Субетто Д.А. (2009). Донные отложения озер: палео-лимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена. 348 с.
- Хотинский Н.А., Немкова В.К., Сурова Т.Г. (1982). Главные этапы развития растительности и климата Урала в голоцене // Вопросы археологии Урала. Вып. 16. С. 145–153.
- Хурсевич Г.К. (1976). История развития диатомовой флоры озер Нарочанского бассейна. Минск: Наука и техника. 52 с.
- Чудаев Д.А., Гололобова М.А. (2016). Диатомовые водоросли озера Глубокого (Московская область). М.: Товарищество научных изданий КМК. 447 с.
- Battarbee R.W. (1986). Diatom analysis, in Handbook of Holocene Paleocology and Palaeohydrology. New York: Wiley. P. 527–570.
- Frolova L.A., Ibragimova A.G., Ulrich M., Wetterich S. (2017). Reconstruction of the history of a thermokarst lake in the Mid-Holocene based on an analysis of sub-fossil Cladocera (Siberia, Central Yakutia) // Contemporary Problems of Ecology. Vol. 10. No. 4. P. 423–430.
- Frolova L.A., Nazarova L.B., Pestryakova L.A., Herzsuh U. (2013). Analysis of the effects of climate-dependent factors on the formation of zooplankton communities that inhabit Arctic lakes in the Anabar River basin // Contemporary Problems of Ecology. Vol. 6. No. 1. P. 1–11.
- Grimm E. (2004). Tilia software 2.0.2. Illinois State Museum Research and Collection Center // Springfield.
- Ilyashuk E.A., Ilyashuk B.P., Kolka V.V. et al. (2013). Holocene climate variability on the Kola Peninsula, Russian Subarctic, based on aquatic invertebrate records from lake sediments // Quat. Res. Vol. 79. No. 3. P. 350–361.
- Khaliullina L.Yu., Frolova L.A., Volkova T.S., Pestryakova L.A. (2016). Species Composition of Planktonic Algae of Thermokarst Lakes of Khatanga River Basin (Krasnoyarsk Region, Russia) // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. Vol. 7. No. 5. P. 1329–1340.
http://www.rjpbcs.com/2016_7.5.html
- Krammer K. (1991). Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae: Suesswasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, Jena. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 576 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1986). Bacillariophyceae, Naviculaceae, in Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 876 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1988). Bacillariophyceae, Bacillariaceae, Epitemiaceae, Surirellaceae: Suesswasserflora von Mitteleuropa, Stuttgart, Jena. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 596 p.
- Lange-Bertalot H., Ulrich S. (2014). Contributions to the taxonomy of needle-shaped Fragilaria and Ulnaria species // Lauterbornia. No. 78. P. 1–73.
- Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M. et al. (2017). Freshwater benthic diatoms of Central Europe: over 800 common species used in ecological assessment. Schmitt-Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books. Vol. 942. 908 p.
- Ludikova A.V., Shatalova A.E., Subetto D.A. et al. (2020). Diatom-inferred palaeolimnological changes in a small lake in the context of the Holocene Baltic Sea transgressions: a case study of Lake Goluboye, Karelian Isthmus (NW Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. Vol. 438. No. 1. P. 012014.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/438/1/012014>
- Mackereth F.J. (1958). A portable core sampler for lake deposits // Limnology and oceanography. Vol. 3. No. 2. P. 181–191.
- Maslennikova A.V., Gulakov V.O. (2022). Application of European diatom indices for paleolimnological reconstructions of Lake Tavatui (Middle Urals, Russia) ecosystem changes // Limnology and Freshwater Biology. No. 4. P. 1492–1494.
<https://doi.org/10.31951/2658-3518-2022-A-4-1492>
- Maslennikova A.V., Udachin V.N., Aminov P.G. (2016). Late-glacial and Holocene environmental changes in the Southern Urals reflected in palynological, geochemical and diatom records from the Lake Syrytkul sediments // Quat. Int. Vol. 420. C. 65–75.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.062>
- Nazarova L., Hoog V., Hoff U. et al. (2013). Late Holocene climate and environmental changes in Kamchatka inferred from the subfossil chironomid record // Quat. Sci. Rev. Vol. 67. P. 81–92.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.01.018>
- Nazarova L.B., Frolova L.A., Palagushkina O.V. (2021). Recent shift in biological communities: A case study from the Eastern European Russian Arctic (Bol'shezemelskaya Tundra) // Polar Biology. Vol. 44. No. 6. P. 1107–1125.
<https://doi.org/10.1007/s00300-021-02876-7>
- Nigmatzyanova G.R., Frolova L.A., Abramova E.N. (2016). Zooplankton spatial distribution in thermokarst lake of The Lena River Delta (Republic of Sakha (Yakutia) // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. Vol. 7. No. 5. P. 1288–1297.
http://www.rjpbcs.com/2016_7.5.html
- Palagushkina O., Frolova L., Zinnatova E. et al. (2018). Diatoms of sediments of Plescheevo Lake (Russia) as indicators of environmental changes in Holocene // Ecology, Economics, Education and Legislation. Vol. 18. P. 283–288.
<https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.1/S20.037>
- Palagushkina O., Nazarova L., Frolova L. (2019). Trends in development of diatom flora from sub-recent lake sediments of the Lake Bolshoy Kharbey (Bolshezemelskaya tundra, Russia) // Bio. Comm. Vol. 64. No. 4. P. 244–251.
<https://doi.org/10.21638/spbu03.2019.403>
- Ramsey B.C. (2001). Development of the radiocarbon calibration program OxCal // Radiocarbon. Vol. 43. No. 2A. P. 355–363.
- Rasmussen S.O., Andersen K.K., Svensson A.M. et al. (2006). A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. Vol. 111. Iss. D6. P. 1–16.
<https://doi.org/10.1029/2005JD006079>
- Rudaya N., Nazarova L., Nourgaliev D. et al. (2012). Mid-late Holocene environmental history of Kulunda, southern West Siberia: vegetation, climate and humans // Quat. Sci. Rev. Vol. 48. P. 32–42.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.06.002>
- Valieva E.A., Nigmatzyanova G.R., Nurgaliev D.K. et al. (2022). Preliminary results of diatom analysis of bottom

sediments from Lake Maloe Miassovo (Chelubinsk Region, Russia) // *Limnology and Freshwater Biology*. No. 4. P. 1601–1603.
<https://doi.org/10.31951/2658-3518-2022-A-4-1601>

Wolin J.A., Stone J.R. (2010). Diatoms as indicators of water-level change in freshwater lakes. The diatoms: applications for the environmental and earth Sciences. Cambridge University Press. P. 174–185.

LATE GLACIAL AND HOLOCENE HISTORY OF LAKE BOLSHOE MIASSOVO (SOUTHERN URALS) BASED ON DIATOM ANALYSIS OF BOTTOM SEDIMENTS¹

E. A. Valieva^{a, #}, L. A. Frolova^a, O. V. Palagushkina^a, N. M. Nigmatullin^a,
G. R. Nigamatzyanova^a, and D. K. Nurgaliev^a

^aKazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

[#]Email: Zinnatova.1994@mail.ru

Bottom sediments are the most important “archive” containing information about the development of lake ecosystems. One of the most reliable and widely used methods of studying bottom sediments is diatom analysis (Juze et al., 1949). Currently, it is part of a group of guiding methods used to reconstruct the historical dynamics of the environment and climate (Rudaya et al., 2012; Palagushkina et al., 2018). In this work, the history of development of Lake Bolshoe Miassovo (Southern Urals) reconstructed using the taxonomic composition of diatoms found in the 526 cm long sediment core is presented. The maximum age of the sediments in the column was 13 500 years BP. According to the results of the study, 123 taxa of diatoms belonging to 47 genera were identified in the lake sediments. Diatom analysis of the bottom sediments of the studied lake allowed us to identify the main stages of the evolution of the reservoir during the Late Glacial and Holocene. During ~13 200–11 700 yr BP, in the period of a cool climate, the lake was a deep body of water with a constant water level and an extensive zone of shallow waters overgrown with macrophytes; then ~11 700–8500 cal. years BP against the background of cooling, the water level decreased; from ~8500–4600 cal. years BP was the stage of increasing water level in the lake in a warmer and wetter climate; in the period ~4600–2500 cal. years BP there was an increase in productivity of algal communities; during ~2500–800 cal. years BP against the background of decreasing temperature, a deep lake with low mineralized water, and presence of swampy shallow waters with acidification processes in them is finally formed.

Keywords: Diatom algae, Lake Bolshoye Miassovo, Southern Urals, bottom sediments, Late Pleistocene, Holocene

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to all the participants of the expedition for organizing and conducting field work. The diatom analysis was supported by a grant from the Russian Science Foundation (No. 22-47-08001). The statistical analysis was carried out within the framework of the Strategic Academic Leadership Program of Kazan Federal University (Priorities-2030), and also by the subsidy allocated to Kazan Federal University for the state assignment project No. FZSM-2023-0023 in the sphere of scientific activities.

REFERENCES

- Barinova S.S., Anisimova O.V., Medvedeva L.A. (2006). Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayushchei sredy (Biodiversity of algal environmental indicators). Tel Aviv: Pilies studio (Publ.). 498 p. (in Russ.)
- Battarbee R.W. (1986). Diatom analysis, in *Handbook of Holocene Paleocology and Palaeohydrology*. New York. Wiley. P. 527–570.
- Borisov A.S. (2004). *Sistema tekhnologicheskogo obespecheniya paleomagnetnykh issledovaniy otlozhenii sovremennykh ozer* (System of technological studies of paleomagnetic studies of sediments of modern lakes). PhD thesis. Kazan: KGU (Publ.). 46 p. (in Russ.)
- Chudaev D.A., Golobova M.A. (2016). *Diatomovye vodorosli ozera Glubokogo (Moskovskaya oblast')* (Diatoms of Lake Glubokoe (Moscow region)). Moscow: Association of Scientific Publications of the KMK (Publ.). 447 p. (in Russ.)
- Davydova N.N. (1985). Diatomovye vodorosli-indikatory prirodnykh uslovii vodoemov v golotsene (Diatoms-indicators of natural conditions of reservoirs in the Holocene). Leningrad: Science (Publ.). P. 243. (in Russ.)
- Davydova N.N., Subetto D.A., Homutova V.I. (1988). Pozdnelednikovyi etap v razvitiy malyykh ozer Severo-Zapada Rossii. Istoriya pleistotsenovykh ozer Vostochno-Evropeiskoi ravniny (The late Glacial stage in the development of small lakes in the North-West of Russia. The history of the Pleistocene lakes of the East European Plain). St-Petersburg: Science (Publ.). P. 166–193. (in Russ.)

¹ For citation: 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. (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2949178923040151>. <https://elibrary.ru/YCGMKY>

- Deryagin V.V., Maslennikova A.V., Deryagin A.V. (2011). Sedimentation regimes in Silver and Syrytkul lakes (Southern Urals). *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*. No. 5. P. 24–30. (in Russ.)
- Frolova L.A., Ibragimova A.G., Ulrich M., Wetterich S. (2017). Reconstruction of the history of a thermokarst lake in the Mid-Holocene based on an analysis of sub-fossil Cladocera (Siberia, Central Yakutia). *Contemporary Problems of Ecology*. Vol. 10. No. 4. P. 423–430.
- Frolova L.A., Nazarova L.B., Pestryakova L.A., Herzsich U. (2013). Analysis of the effects of climate-dependent factors on the formation of zooplankton communities that inhabit Arctic lakes in the Anabar River basin. *Contemporary Problems of Ecology*. Vol. 6. No. 1. P. 1–11.
- Grimm E. Tilia software 2.0.2. Illinois State Museum Research and Collection Center. *Springfield*. 2004.
- Hursevich G.K. (1976). Istoriya razvitiya diatomovoi flory ozer Narochanskogo basseina (The history of the development of the diatom flora of the lakes of the Naroch basin). Minsk: Science and technology (Publ.). 52 p. (in Russ.)
- Ilyashuk E.A., Ilyashuk B.P., Kolka V.V., Hammarlund D. (2013). Holocene climate variability on the Kola Peninsula, Russian Subarctic, based on aquatic invertebrate records from lake sediments. *Quat. Res.* Vol. 79. No. 3. P. 350–361.
- Isakova N.A. (2016). Assessment of the water quality of Lake Bolshoe Miassovo with the help of periphyton communities of diatoms (Southern Urals). *Almanac of Modern Science and Education*. No. 7. P. 36–39. (in Russ.)
- Khaliullina L.Yu., Frolova L.A., Volkova T.S., Pestryakova L.A. (2016). Species Composition of Planktonic Algae of Thermokarst Lakes of Khatanga River Basin (Krasnoyarsk Region, Russia). *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. Vol. 7. No. 5. P. 1329–1340. http://www.rjpbcs.com/2016_7.5.html
- Khotinsky 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. *Questions of the archeology of the Urals*. Vol. 16. P. 145–153. (in Russ.)
- Kostryukova A.M., Krupnova T.G., Mashkova I.V. (2013). Biomonitoring of lakes of the Ilmen State Reserve. *Molodoi uchenyi*. No. 4. P. 156–158. (in Russ.)
- Krammer K. (1991). Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae: Suesswasserflora von Mitteleuropa. K. Krammer, H. Lange-Bertalot (Eds.). Stuttgart, Jena. Gustav Fischer Verlag (Publ.). 576 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1986). Bacillariophyceae, Naviculaceae, in Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag (Publ.). 876 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1988). Bacillariophyceae, Bacillariaceae, Epitemiaceae, Surirellaceae: Suesswasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, Jena. Gustav Fischer Verlag (Publ.). P. 596.
- Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. (2016). Opredelitel' diatomovykh vodoroslei Rossii (Identification book of diatoms from Russia). Yaroslavl: Filigran (Publ.). 804 p. (in Russ.)
- Lange-Bertalot H., Ulrich S. (2014). Contributions to the taxonomy of needle-shaped Fragilaria and Ulnaria species. *Lauterbornia*. No. 78. P. 1–73.
- Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M. et al. (2017). Freshwater benthic diatoms of Central Europe: over 800 common species used in ecological assessment. Schmitt-Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books (Publ.). Vol. 942. 908 p.
- Ludikova A.V., Shatalova A.E., Subetto D.A. et al. (2020). Diatom-inferred palaeolimnological changes in a small lake in the context of the Holocene Baltic Sea transgressions: a case study of Lake Goluboye, Karelian Isthmus (NW Russia). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sci.* IOP Publishing. Vol. 438. No. 1. P. 12–14.
- Mackereth F.J. (1958). A portable core sampler for lake deposits. *Limnology and oceanography*. Vol. 3. No. 2. P. 181–191.
- Maslennikova A.V., Udachin V.N., Aminov P.G. (2016). Lateglacial and Holocene environmental changes in the Southern Urals reflected in palynological, geochemical and diatom records from the Lake Syrytkul sediments. *Quat. Int.* Vol. 420. P. 65–75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.0.062>
- Maslennikova A.B., Deryagin V.V. (2008). The first data on the composition of the column of bottom sediments lake Itkul. *Problemy geografii Urala i sopredel'nykh territorii: Mat-ly III nauch. prakt.-konf.* Chelyabinsk: Science (Publ.). P. 75–77. (in Russ.)
- Maslennikova A.B., Ershov V.V. (2010). Change in the mineral composition of bottom sediments oz. Ufimskoe (Southern Urals) in the Late Glacial-Holocene. *Ural'skii mineralogicheskii sbornik*. Miass: IMin UrO RAS (Publ.). No. 17. P. 140–142. (in Russ.)
- Maslennikova A., Deryagin V., Udachin V. (2012). Reconstruction of Holocene lake sedimentation conditions on the eastern slope of the Southern Urals. *Litosfera*. No. 2. P. 21–32. (in Russ.)
- Maslennikova A.V., Gulakov V.O. (2022). Application of European diatom indices for paleolimnological reconstructions of Lake Tavatui (Middle Urals, Russia) ecosystem changes. *Limnology and Freshwater Biology*. No. 4. P. 1492–1494. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2022-A-4-1492>
- Maslennikova A.V., Udachin V.N., Deryagin V.V., Steinberg M.V. (2018). Reconstruction of the stages of development of Lake Turgoyak (Southern Urals) in the Holocene. *Litosfera*. 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., Deryagin V.V. (2014). *Paleoekologiya i geokhimiya ozernoi sedimentatsii golotsena Urala* (Paleoecology and geochemistry of lake sedimentation of the Holocene of the Urals). Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Publ.). 136 p. (in Russ.)
- Maslennikova A.V., Udachin V.N., Pirogov D.V., Khvorov P.V. (2016). Reconstruction of the conditions of lake sedimentogenesis in the Late Glacial and Holocene of the Middle Urals. *Lithosphere*. No. 6. P. 166–176. (in Russ.)
- Nazarova L., Hoog V., Hoff U. et al. (2013). Late Holocene climate and environmental changes in Kamchatka inferred from the subfossil chironomid record. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 67. P. 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.01.018>

- Nazarova L.B., Frolova L.A., Palagushkina O.V. (2021). Recent shift in biological communities: A case study from the Eastern European Russian Arctic (Bol'shezemelskaya Tundra). *Polar Biology*. Vol. 44. No. 6. P. 1107–1125.
<https://doi.org/10.1007/s00300-021-02876-7>
- Nigamatzyanova G.R., Frolova L.A., Abramova E.N. (2016). Zooplankton spatial distribution in thermokarst lake of The Lena River Delta (Republic of Sakha (Yakutia)). *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sci.* Vol. 7. No. 5. P. 1288–1297.
http://www.rjpbcs.com/2016_7.5.html
- 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>
- Palagushkina O., Frolova L., Zinnatova E. et al. (2018). Diatoms of sediments of Plescheevo Lake (Russia) as indicators of environmental changes in Holocene. *Ecology, Economics, Education and Legislation*. Vol. 18. P. 283–288.
<https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.1/S20.037>
- Palagushkina O., Nazarova L., Frolova L. (2019). Trends in development of diatom flora from sub-recent lake sediments of the Lake Bolshoy Kharbey (Bolshezemelskaya tundra, Russia). *Bio. Comm.* Vol. 64. No. 4. P. 244–251. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2019.403>
- Pestryakova L.A., Nikolaev A.N., Subetto D.A. et al. (2016). *Paleoekologiya. Metodologicheskie osnovy paleoekologii* (Paleoecology. Methodological foundations of paleoecology). Yakutsk: House of the North-Eastern Federal University Publ. (Publ.). 84 p. (in Russ.)
- Ramsey B.C. (2001). Development of the radiocarbon calibration program OxCal. *Radiocarbon*. Vol. 43. No. 2A. P. 355–363.
- Rasmussen S.O., Andersen K.K., Svensson A.M. et al. (2006). A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. Vol. 111. No. D6. P. 1–16.
<https://doi.org/10.1029/2005JD006079>
- Rogozin A.G., Tkachev V.A. (Eds.). (2000). *Ekologiya ozera Bol'shoe Miassovo* (Ecology of Lake Bolshoe Miassovo). Miass: IGZ URO RAN (Publ.). 318 p. (in Russ.)
- Rudaya N., Nazarova L., Nourgaliev D. et al. (2012). Mid-late Holocene environmental history of Kulunda, southern West Siberia: vegetation, climate and humans. *Quat. Sci. Rev.* Vol. 48. P. 32–42.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.06.002>
- Snit'ko L.V. (2004). *Fitoplankton raznotipnykh ozer Il'menskogo zapovednika (Yuzhnyi Ural)* (Phytoplankton of different types of lakes of the Ilmen Reserve (Southern Urals)). PhD thesis. Syktyvkar: Ilmen State Reserve of the Ural Branch of the RAS (Publ.). 224 p. (in Russ.)
- Solotchina E.P. (2009). *Strukturnyi tipomorfizm glinistyykh mineralov osadochnyykh razrezov i kor vyvetriviya* (Structural typomorphism of clay minerals of sedimentary sections and weathering crusts). Novosibirsk: Geo (Publ.). 236 p. (in Russ.)
- Subetto D.A. (2009). *Donnye otlozheniya ozer: Paleolimnologicheskie rekonstruktsii* (Bottom sediments of lakes: Paleolimnological reconstructions). St-Pb.: Publishing House of A.I. Herzen RGPU (Publ.). 348 p. (in Russ.)
- Valieva E.A., Nigamatzyanova G.R., Nurgaliev D.K., Frolova L.A. (2022). Preliminary results of diatom analysis of bottom sediments from Lake Maloe Miassovo (Chelabinsk Region, Russia). *Limnology and Freshwater Biology*. No. 4. P. 1601–1603.
<https://doi.org/10.31951/2658-3518.2022-A-4-1601>
- Veisberg E.I. (2014). Diversity of aquatic vegetation of the Bolshoe Miassovo–Maloe Miassovo lake system (Southern Urals). *Turczaninowia*. Vol. 17. No. 4. P. 84–96.
- Wolin J.A., Stone J.R. (2010). Diatoms as indicators of water-level change in freshwater lakes. Stoermer E.F., Smol J.P. (Eds.). *The diatoms: applications for the environmental and earth Sciences*. Cambridge University Press. P. 174–185.
- Zabelina M.M., Kiselev I.A., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova V.S. (1951). *Diatomovye vodorosli. Opredelitel' presnovodnykh vodoroslei SSSR* (The determinant of freshwater algae of the USSR). Moscow: Sovetskaya Nauka (Publ.). 619 p. (in Russ.)
- Zhuse S.A., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova V.S., Proshkina-Lavrenko R.A. (1949). *Diatomovyi analiz* (Diatom analysis). Moscow–Leningrad: State Publishing House of Geological Literature Publishing House (Publ.). 239 p. (in Russ.)
- Zinnatova E.A., Frolova L.A., Nigmatullin N.M. (2019). Diatoms in bottom sediments of tundra lakes of the Pechora River delta. *Ozera Evrazii: problemy i puti ikh resheniya*. Kazan: Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan (Publ.). P. 264–268. (in Russ.)