

УДК 574.2:574.52.08:561(285.2)(1-924.81)

## **Magneto-Mineralogical and Biological Properties of Sediments of the Lake Bolshoy Kharbey**

**Larisa B. Nazarova<sup>a,b\*</sup>,**

**Larisa A. Frolova<sup>a</sup>, Lina R. Kosareva<sup>a</sup>,**

**Natalia A. Rudaya<sup>c</sup>, Ludmila S. Strykh<sup>d</sup>,**

**Lilia I. Gafiatullina<sup>a</sup>, Dilyara M. Kuzina<sup>a</sup>,**

**Olga V. Palagushkina<sup>a</sup>, Oleg N. Tumanov<sup>a</sup>,**

**Elena B. Fefilova<sup>e</sup> and Olga A. Loskutova<sup>e</sup>**

<sup>a</sup>*Kazan Federal University*

*18 Kremlyovskaya Str., Kazan, 420008, Russia*

<sup>b</sup>*Institute for Polar and Marine research*

*A43 Telegrafenberg, Potsdam, 14473, Germany*

<sup>c</sup>*Institute of Archaeology & Ethnography SB RAS*

*17 Lavrentieva Ave., Novosibirsk, 630090, Russia*

<sup>d</sup>*Russian State Pedagogical Herzen University*

*48 Moika, St. Petersburg, 191186, Russia*

<sup>e</sup>*Institute of Biology, Komi Scientific Centre, UB RAS, UB RAS*

*28 Kommunisticheskaya str., Syktyvkar, GSP-2, 167982, Russia*

Received 08.10.2014, received in revised form 28.10.2014, accepted 18.11.2014

*Investigation of sediment cores from the lake Bolshoy Kharbey (Bolshezemelskaya tundra) was performed using magnetic-mineralogical and palaeobiological methods, including palynological, Cladocera and chironomid analysis. It was shown that noticeable changes took place in the state of sediments and communities of hydrobionts.*

*Lower part of the sediments is characterized by lower ferromagnetic component, which is related to lower number of magnetotactic bacteria, producing biologically controlled magnetic minerals. Upper part of the core is characterized by higher values of magnetic susceptibility and its components. Pollen analysis has shown that vegetation of the region during the time of the investigated sedimentation was dominated by conifers and by constant presence of dwarf birch, *Alnus fruticosa*, *Ericaceae*. Herbaceous are represented mainly by sedge, reflecting local near-water vegetation. Larch pollen disappears gradually from the lake sediments, alongside with the increase of the concentrations of birch and *Alnus fruticosa* pollen. Taxa characteristic for big water bodies, mainly from the family *Bosminidae*, dominate Cladoceran communities. The most frequent zooplanktonic taxa in the whole*

core were *Chydorus cf. sphaericus*, *Eubosmina cf. longispina*, small forms of the genera *Alona*. Chironomid communities are represented mainly by acid-tolerant, temperate, littoral-sublittoral taxa. In the upper layers of sediments in cladoceran and chironomid communities share of planktonic taxa increases which indicates rise of the lake level as a result of seasonal ground melting. At the same time gradual succession in the local vegetation starts. Concentrations of the birch and larch pollen decrease, and *Pinus s/g Diploxylon* increase. This can indicate that climate became warmer and drier. Communities of hydrobionts are getting more diverse, the number of the acidophilic, phytophilic taxa and taxa, characteristic for eutrophication grows. In palynospectra concentration of ferns and sphagnum grows, which can indicate swamping, growth of littoral zone and spreading of near water vegetation and reflects warming of climate.

*Keywords:* Bolshezemelskaya tundra, palaeoclimate, magnito-mineralogical analysis, pollen, cladocera, chironomids.

---

## **Магнито-минералогические и биологические показатели донных отложений оз. Большой Харбей**

**Л.Б. Назарова<sup>а,б\*</sup>, Л.А. Фролова<sup>а</sup>,  
Л.Р. Косарева<sup>а</sup>, Н.А. Рудая<sup>в</sup>, Л.С. Сырых<sup>г</sup>,  
Л.И. Гафиатуллина<sup>а</sup>, Д.М. Кузина<sup>а</sup>, О.В. Палагушкина<sup>а</sup>,  
О.Н. Туманов<sup>а</sup>, Е.Б. Фефилова<sup>д</sup>, О.А. Лоскутова<sup>д</sup>**

<sup>а</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

<sup>б</sup>Институт полярных и морских исследований  
Германия, 14473, Потсдам, Телеграфенберг, А43

<sup>в</sup>Институт археологии и этнографии СО РАН  
Россия, 630090, Новосибирск, ул. Лаврентьева, 17

<sup>г</sup>Российский государственный педагогический университет  
им. А.И. Герцена

Россия, 191186, Санкт-Петербург, ул. Мойка, 48

<sup>д</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
Россия, 167982, Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28

---

*Исследование кернов донных отложений оз. Большой Харбей (Большеземельская тундра), проведенное комплексом магнито-минералогических и палеобиологических методов, включающих в себя спорово-пыльцевой, кладоцерный и хирономидный анализы, показало, что в состоянии донных отложений, составе растительности и сообществах гидробионтов произошли существенные изменения. Нижняя часть керна характеризуется более низкими значениями ферромагнитной составляющей, что связано с растворением биогенных*

магнитных минералов с глубиной. Верхняя часть керна имеет более высокие значения магнитной восприимчивости, что связано с зоной распространения магнитотактических бактерий, производящих биологически контролируемые магнитные минералы. Проведенный анализ продемонстрировал, что в целом растительность региона на протяжении изученного отрезка осадконакопления характеризовалась доминированием хвойных пород (сосна, ель) с постоянным присутствием карликовой березки, ольховника и вересковых, что предполагает наряду с распространением хвойных лесов существование локальных ерниковых и кустарниковых тундровых растительных группировок. Травянистые таксоны в значительной мере представлены осокой, отражающей локальную прибрежно-водную растительность. Со временем в донных отложениях практически исчезает пыльца лиственницы и увеличивается роль пыльцы березы и ольховника. В кладоцерных сообществах озера доминируют таксоны, присущие крупным водоемам, в основном представители семейства *Bosminidae*. По всему керну наиболее частыми зоопланктонами являлись *Chydorus cf. sphaericus*, *Eubosmina cf. longispina*, мелкие формы рода *Alopa*. Ядро сообществ хирономид представлено толерантными к легкому закислению таксонами, индикаторными для умеренных температур, обитателями литорально-сублиторальной зоны. В составе кладоцерных и хирономидных сообществ в верхних слоях происходит смена соотношения планктонных и литорально-бентосных видов в сторону увеличения присутствия планктонных видов, что свидетельствует о повышении уровня озера, видимо, вследствие увеличения глубины сезонного протаивания грунта. В это же время начинается сукцессия локальной растительности, выражающаяся в снижении концентрации пыльцы березы и лиственницы и увеличении роли *Pinus s/g Diploxylon*. Климат, по всей вероятности, стал более сухим и теплым. Состав пыльцы верхних горизонтов донных отложений указывает на снижение обилия хвойных и развитие березняков и открытых кустарниковых сообществ. В сообществах гидробионтов отмечается рост общего числа таксонов, в том числе таксонов, свидетельствующих о повышении трофического статуса озера. Растет численность ацидофильных, теплолюбивых и фитофильных таксонов. В палиноспектрах происходит резкое увеличение содержания спор папоротников и сфагнома, что может свидетельствовать о заболачивании озера, а в комплексе с данными хирономидного и кладоцерного анализов о расширении литоральной зоны, распространении водной и прибрежно-водной растительности и потеплении климата.

*Ключевые слова:* Большеземельская тундра, палеоклимат, магнито-минералогический анализ, пыльца, кладоцеры, хирономиды.

---

## **Введение**

Последнее столетие отмечено значительным увеличением уровня антропогенного загрязнения и связанного с ним изменения климата на планете (IPCC, 2007). Существует большое число свидетельств того, что разные регионы, включая наиболее удаленные области Арктики, задеты

загрязнением, включающим в себя органические соединения, что ведет к повышению уровня эвтрофикации водоемов (Solovieva et al., 2002). Хорошо известно также, что изменение климата наиболее ярко выражено в арктических областях и что арктические экосистемы наиболее нестабильны и особенно чувствительны к внешним эко-

логическим воздействиям (Kienast et al., 2011).

Для реконструкции условий палеосреды озерные донные отложения имеют особую важность. Их изучение позволяет воссоздать детальную картину смены абиотических и биотических условий в озере и его окрестностях. В глубоководных участках водоемов со временем накапливаются осадки, привносимые с водосбора и содержащие остатки животных и растений, обитавших в озере и в водосборном бассейне. Озерные отложения являются уникальными архивами непрерывных данных об изменениях природной среды, происходивших на локальном, региональном и даже глобальном уровнях.

Исследования озер канадской Арктики, Скандинавии и Фенноскандии показали, что изменения в их экосистемах в значительной степени связаны с потеплением климата в последние 150-200 лет (Brooks et al., 2007). Тем не менее на северо-востоке европейской части России до настоящего времени проводили только единичные комплексные исследования на Полярном Урале, характеризующие изменения климата и экосистем последнего времени (Solovieva et al., 2005, 2008). В данной работе мы провели комплексное исследование керны донных отложений оз. Большой Харбей методами магнито-минералогического, палинологического, кладоцерного и хирономидного анализов. Целью работы явилась оценка изменений в экосистеме оз. Большой Харбей по петромагнитным показателям и биологическим индикаторам, а также качественная реконструкция экологических условий среды за исследованный период осадконакопления.

### Материалы и методы

*Сбор материала.* Короткие керны для палеоэкологического исследования были отобраны из оз. Большой Харбей в ходе комплекс-

ной летней экспедиции 2012 г., организованной Институтом биологии Коми НЦ УРО РАН при участии Казанского федерального университета. Керны S (K1) и K3 отобраны в южной части озера, керн N – в северной части (рис. 1). Отбор кернов произведен ударным пробоотборником UWITEC (Австрия). Координаты, глубина отбора кернов, их длина и основные характеристики воды, измеренные в полевых условиях, представлены в табл. 1. Вода озера характеризуется низкой электропроводностью, является нейтральной и имеет высокое насыщение кислородом. Более подробная информация о системе Харбейских озер, оз. Большой Харбей и его гидрохимических характеристиках дана в статьях Е.Б. Федиловой с соавторами (2012) и М.А. Батуриной с соавторами (2013).

*Магнито-минералогический анализ.* Методами магнито-минералогического анализа было исследовано 59 образцов из оз. Большой Харбей (керны S (K1), K3 и N). Магнито-минералогический анализ включал в себя измерения магнитной восприимчивости ( $\alpha$ ), коэрцитивную спектрометрию, а также терромагнитный анализ (ТМА).

Для определения значений  $\alpha$  на двух частотах (LF и HF) использовали измеритель магнитной восприимчивости MS-2B (Bartington Instruments, Англия). Нормировка проводилась по массе при одинаковом объеме проб.

Коэрцитивные спектры образцов из оз. Большой Харбей были получены при помощи уникального прибора, разработанного и сконструированного в Казанском федеральном университете, коэрцитивного спектрометра «J\_meter» (Нургалиев, Ясонов, 2009; Буров и др., 1986). Прибор позволяет в автоматическом режиме измерять кривые нормального остаточного намагничивания образцов объемом около 1 см<sup>3</sup> при непрерывном росте

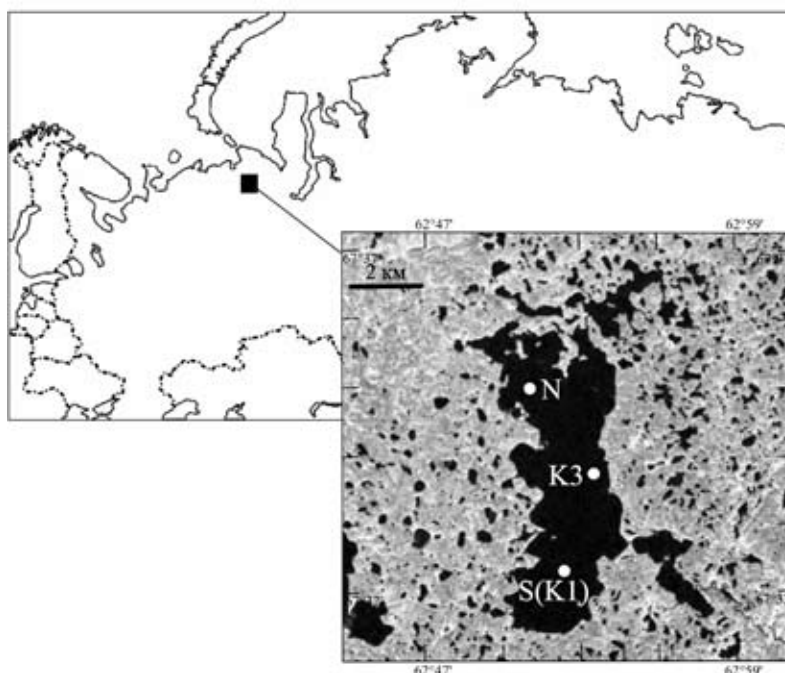


Рис. 1. Карта расположения озера Большой Харбей и точек отбора проб

Таблица 1. Координаты, глубина отбора кернов из оз. Большой Харбей, их длина и основные характеристики воды, измеренные в полевых условиях

	Керн		
	S (K1)	K3	N
Координаты	67° 31.832' N, 062° 52.669' E	67° 33.765' N, 062° 54.578' E	67° 34.929' N 062° 52.938' E
Длина керна, см	26	26	28
Глубина отбора, м	6	9	6,5
Прозрачность воды, м	2,8	2,9	2,7
pH	7,3	7,2	7,1
Т воды, °C	15,7	16,1	16,8
Электропроводность, $\mu\text{S cm}^{-1}$	27	27	27
O <sub>2</sub> мг/л	8,4	8,4	8,3
O <sub>2</sub> %	86,5	88,3	88,0
Т воздуха, °C	14	15	13

внешнего магнитного поля. Важным аспектом измерений является возможность получения высокоразрешенных кривых нормального намагничивания для достаточно слабомагнитных образцов донных осадков. По кривым нормального остаточного намагничивания и

перемагничивания были определены следующие параметры: намагниченность насыщения ( $J_s$ ), поле насыщения ( $B_s$ ), остаточная намагниченность насыщения ( $J_{rs}$ ), коэрцитивная сила ( $B_c$ ), остаточная коэрцитивная сила ( $B_{cr}$ ), положение максимума производной  $dJ_r/dB_a$

(нормальное намагничивание вдоль оси  $a$  диаграммы Прейзаха-Нееля) ( $B_{da}$ ), положение максимума производной  $dJ_r/dB_r$  (нормальное переманчивание вдоль оси  $b$  диаграммы Прейзаха-Нееля) ( $B_{db}$ ), суперпарамагнитная восприимчивость в поле до 8 мТ ( $J_{sp}$ ).

Основным видом диагностики состава ферромагнитной фракции горных пород служит терромагнитный анализ (Буров, Ясонов, 1979; Нургаалиев, Ясонов, 2009). ТМА основан на изучении зависимости индуктивной намагниченности от температуры при скорости нагрева 50-150 °С/мин. При достижении температуры Кюри происходит разрушение магнитного упорядочения и ферромагнетик становится парамагнетиком. Большая скорость нагрева позволяет уменьшить влияние окисления, что является важным для получения более надежной информации о первичных минералах, содержащихся в горной породе. Наиболее информативна и производительна дифференциальная модификация терромагнитного анализа (ДТМА) (Буров, Ясонов, 1979). Был проведен анализ двух образцов керна S (K1) из оз. Большой Харбей (слои 8 см и 18-19 см). ДТМА по индуцированной намагниченности выполняли на авторегистрирующих крутильных магнитных весах, действующих по нулевому методу. Для образцов получены две диаграммы последовательного нагрева до 800 °С в поле 0.5 Тл.

*Спорово-пыльцевой анализ.* На палинологический анализ было отобрано 25 образцов из керна S (K1) донных отложений оз. Большой Харбей. Химическая обработка производилась в палинологической лаборатории отдела геохронологии кайнозоя ИАЭТ СО РАН. Для получения спорово-пыльцевого мацерата применялась стандартная методика (Faegri, Iversen, 1989). Для подсчета концентрации пыльцевых зерен и спор использовали таблетки спор *Lycopodium* (Stockmarr, 1971).

Подсчет проводили с помощью светового микроскопа Zeiss AxioImager D2 с увеличением  $\times 400$ . Для определения таксономической принадлежности пыльцы, спор и непыльцевых палиноморф применяли определители и атласы (Куприянова, Алешина, 1972, 1978; Jankovska, 1991; van Geel et al., 2001). В каждой пробе насчитывалось не менее 300 зерен пыльцы и спор, также учитывались непыльцевые палиноморфы (НПП). Процентное соотношение рассчитывали отдельно для пыльцевых зерен и спор (все пыльцевые зерна и споры принимали за 100 %) и для непыльцевых палиноморф (за 100 % взята вся сумма НПП).

Спорово-пыльцевая диаграмма построена в программе Tilia / TiliaGraph, зонирование проводилось с использованием кластерного анализа в приложении CONISS к программе Tilia (Grimm, 2004).

*Кладоцерный анализ.* На кладоцерный анализ было отобрано 25 образцов из керна S (K1) донных отложений оз. Большой Харбей. В лабораторных условиях навеску влажных осадков растворяли в 10 % KOH, нагревали до 75 °С в течение 30 мин., затем суспензию фильтровали последовательно через сита с ячейей 125 мкм и 63 мкм. Отфильтрованную суспензию перемещали в 30-миллилитровые контейнеры, окрашивали спиртовым раствором сафранина, добавляли несколько капель 96%-го этанола в качестве антикоагулянта и фиксатора. Микроскопирование и определение субфоссильных остатков Cladocera проводили с использованием светового микроскопа AxioStar Plus Carl Zeiss при 100-400-кратном увеличении. Из каждой пробы было установлено от 100 до 186 экземпляров Cladocera. Для идентификации использовали современные специализированные определители (Мануйлова, 1964; Смирнов, 1971; Flößner, 2000; Фролова, 2013). Доминантными вида-

ми и формами Cladocera считались таксоны, составляющие 10 % и более от общего числа Cladocera в пробе, субдоминантами – виды, обуславливающие от 5 до 10 %. Кроме того, оценивалась относительная частота встречаемости таксонов (отношение числа проб, в которых встречен данный вид к общему числу проб, %).

Стратиграфическая диаграмма выполнена в программе Tilia / TiliaGraph, выделение зон выполнено с использованием кластерного анализа CONISS, программа Tilia (Grimm, 2004).

**Хирономидный анализ.** На хирономидный анализ было отобрано 25 образцов из керна S (K1) донных отложений оз. Большой Харбей. Обработку проб донных осадков проводили по стандартной методике (Brooks et al., 2007). Пробы влажных осадков растворяли в 10 % КОН, нагревали до 70 °С в течение 10 мин, затем приливали кипящую воду и оставляли на 20 мин. Суспензию осадков фильтровали последовательно через сита с ячейей 125 и 95 мкм. Отфильтрованную суспензию просматривали в камере Богорова при 25-40-кратном увеличении. Из каждой пробы было отобрано от 47 до 292 головных капсул. Постоянные препараты головных капсул фиксировали в гидроматрикс под покровными стеклами диаметром 6 мм. Хирономид устанавливали по современным специализированным определителям (Wiederholm, 1983; Brooks et al., 2007) и национальной коллекции хирономид Музея естественной истории, Лондон, Великобритания (The NHM). Ввиду известных сложностей с определением головных капсул fossilized хирономид (Brooks et al., 2007) оно проводилось до уровня рода или принятого на сегодня названия морфотипа (напр. *Psectrocladius psilopterus*-type, *P. sordidellus*-type, *P. barbimanus*-type), именуемых в дальнейшем «таксон».

Для исследования общих тенденций изменений видового состава был использован метод главных компонент (Principal component analysis, PCA) (ter Braak, Prentice, 1988). Стратиграфическая диаграмма построена в программе C2 (Juggins, 2007). Биоразнообразие и выровненность хирономидных сообществ были оценены с помощью индексов Шеннона (H) (Shannon, Weaver, 1963) и Пиелу (I) (Pielou, 1966).

## Результаты

### Магнито-минералогический анализ

Анализ 59 образцов показал, что значения магнитной восприимчивости осадков оз. Большой Харбей изменяются в пределах  $11.3-24.5 \cdot 10^{-5}$  СИ. Графики изменения  $\chi$  с глубиной донных отложений оз. Большой Харбей ведут себя схоже (рис. 2). График керна К3 имеет некоторые выпадающие значения, но, учитывая относительно малую глубину отбора осадка, результаты нельзя считать представительными. Значения магнитной восприимчивости осадков оз. Большой Харбей стабильны с глубиной, однако заметен постепенный рост  $\chi$  в верхней части разреза (рис. 2, 3).

Керны, отобранные в разных частях оз. Большой Харбей, отличаются друг от друга поведением гистерезисных параметров (рис. 4-6). Согласно диаграмме Дзю (рис. 4а-ба) ферромагнитная фракция образцов представлена однодоменными частицами. Различие параметров  $V_{da}$  и  $V_{db}$  в среднем равно 14-21 мТл, что свидетельствует о наличии магнитостатического взаимодействия между зёрнами ферромагнитной фракции и о агрегации частиц.

Полученные диаграммы ДТМА (рис. 7) однотипны и характерны для отложений с большим количеством органики. Фаза с температурой Кюри 570 °С на дифференциаль-

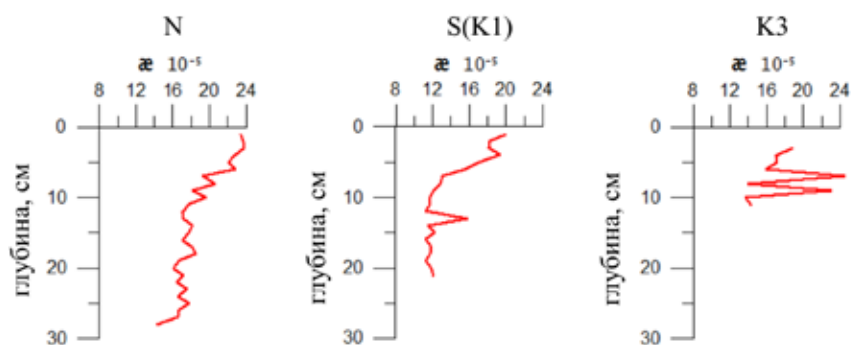


Рис. 2. Значения магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) образцов из кернов донных отложений N, S (K1) и K3, отобранных в оз. Большой Харбей

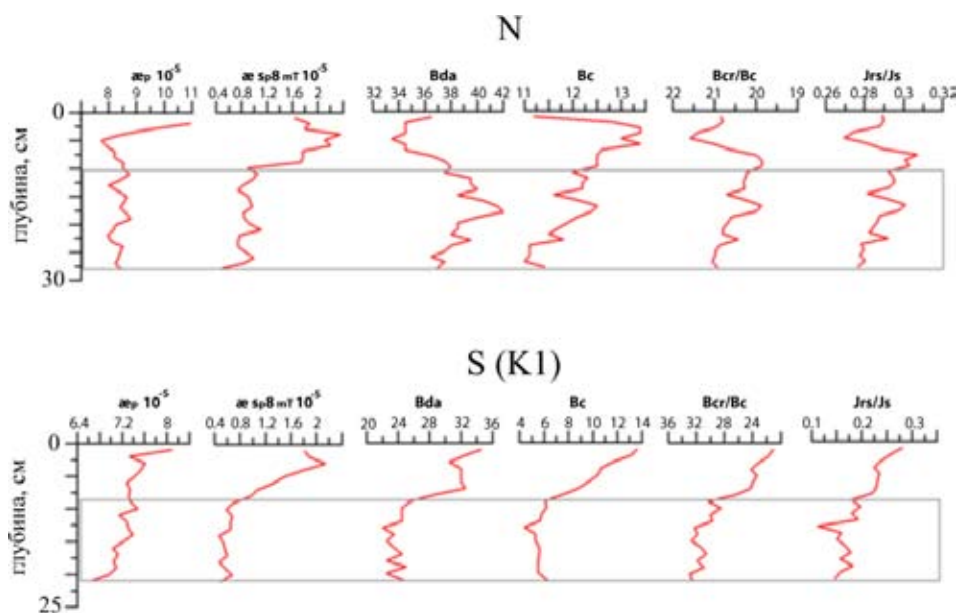


Рис. 3. Вариации магнитных параметров в кернах донных отложений N и S (K1), отобранных в оз. Большой Харбей:  $\chi_p$  – магнитная восприимчивость парамагнитная;  $\chi_{sp\ 8\ mT}$  – магнитная восприимчивость суперпарамагнитная;  $B_{da}$  – положение максимума производной  $dJ_r/dB_a$  (нормальное намагничивание вдоль оси  $a$  диаграммы Преайзаха-Нееля);  $B_c$  – коэрцитивная сила;  $B_{cr}/B_c$  – отношение остаточной коэрцитивной силы к коэрцитивной силе;  $J_{rs}/J_s$  – отношение остаточной намагниченности насыщения к намагниченности насыщения. Серой рамкой выделена граница смены тенденций в изменении показателей

ной кривой первого нагрева свидетельствует о наличии в образцах магнетита.

Изменение поведения магнитной восприимчивости с глубиной зависит от вклада различных компонентов – ферромагнитной ( $\chi_f$ ), парамагнитной, диамагнитной ( $\chi_p$ ) и суперпарамагнитной ( $\chi_{sp}$ ). Природа каждой состав-

ляющей различна. Парамагнетики обычно характеризуют привнос в бассейн осадконакопления терригенного материала. Ферромагнетики, как правило, биогенного происхождения. Суперпарамагнетики могут иметь как биогенное, так и терригенное происхождение. Значительное влияние на общую магнитную



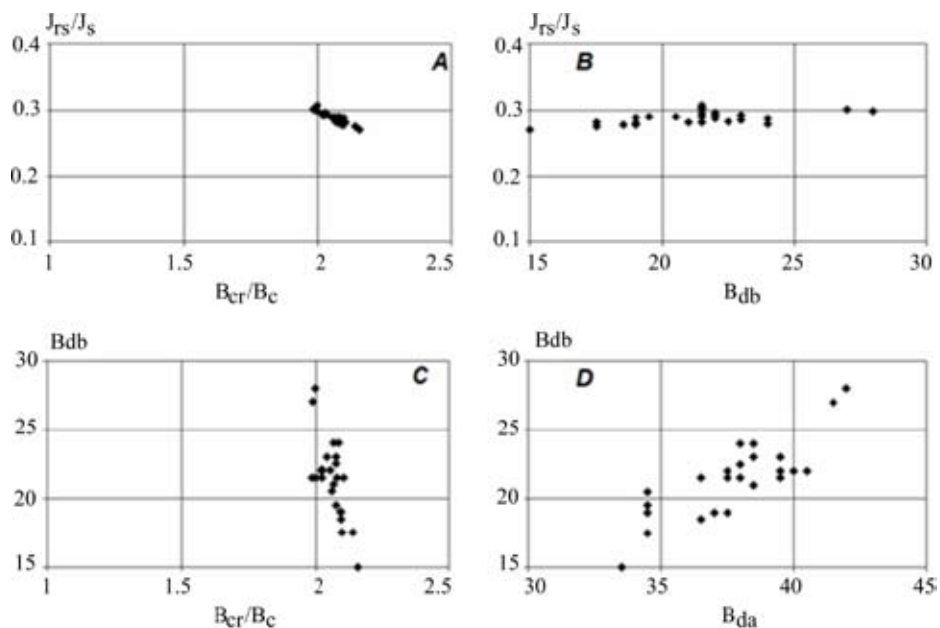


Рис. 4. Соотношение между гистерезисными параметрами образцов донных отложений оз. Большой Харбей (кern N):  $B_{db}$  – положение максимума производной  $dJ_r/dB_b$  (нормальное намагничивание вдоль оси  $b$  диаграммы Прейзаха-Нееля); остальные обозначения – см. рис. 3

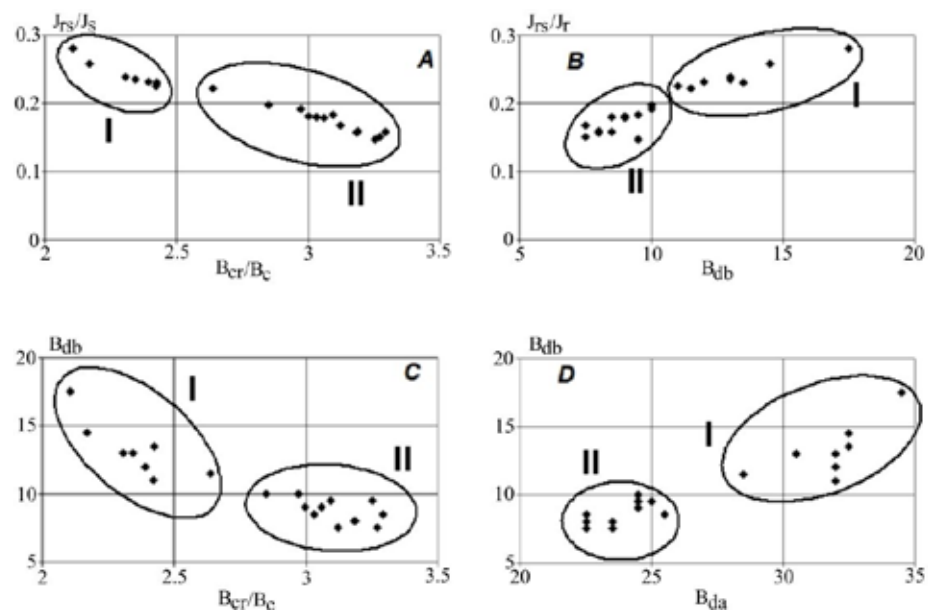


Рис. 5. Соотношение между гистерезисными параметрами образцов донных отложений оз. Большой Харбей (кern S(K1)). I – верхняя часть разреза, II – нижняя часть разреза. Обозначения – см. рис. 3 и 4

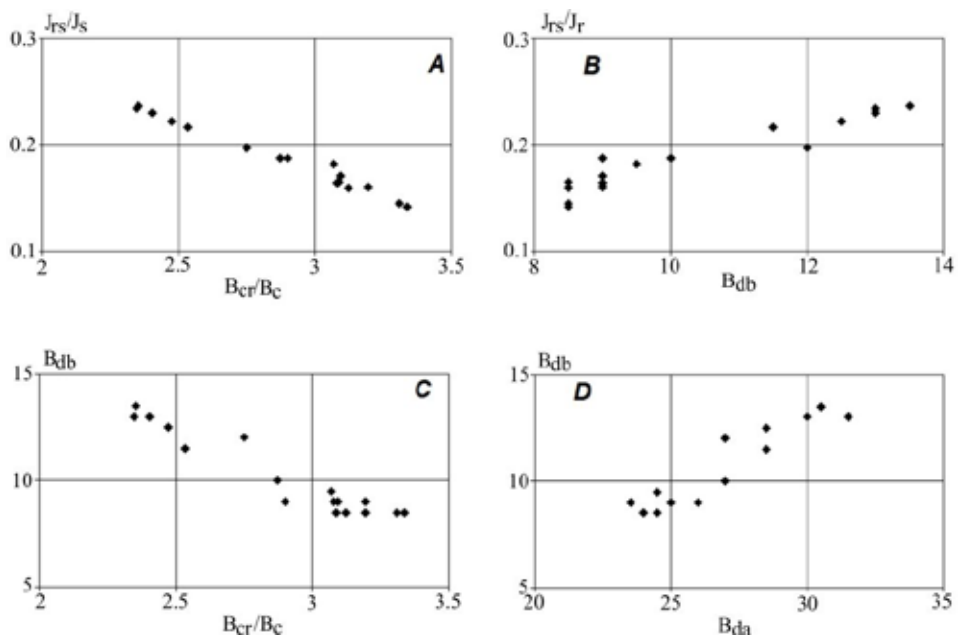


Рис. 6. Соотношение между гистерезисными параметрами образцов донных отложений оз. Большой Харбей (кern К3). Обозначения – см. рис. 3 и 4

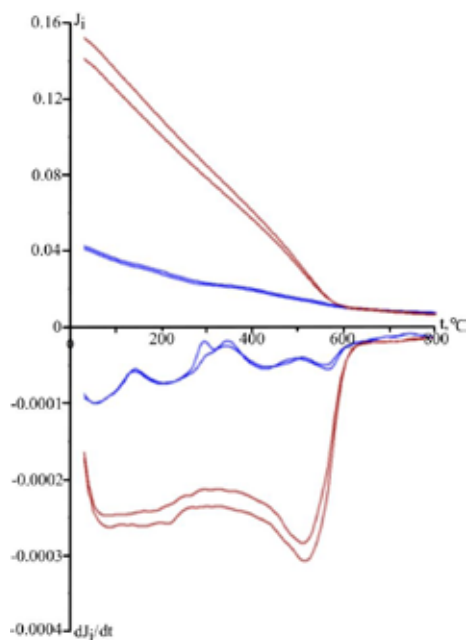


Рис. 7. Интегральные (сверху) и дифференциальные (снизу) кривые первого (синие) и повторного (красные) нагрева. Образцы из слоев 8 и 18-19 см керн S (K1) донных отложений оз. Большой Харбей:  $J_i$  – намагниченность индуктивная;  $dJ_i/dt$  – первая производная индуктивной намагниченности по температуре;  $t$  – температура нагрева

восприимчивость оказывает парамагнитная составляющая ( $\chi_p$ ), что связано с малым содержанием ферромагнитного материала в отложениях большинства современных озер, а также с тем фактом, что большая часть органического материала и вода являются диамагнитными. Следовательно, величина магнитной восприимчивости в основном варьирует за счет изменений количества привнесенного терригенного материала. Значительные изменения величины  $\chi$  могут свидетельствовать о существенных изменениях в режиме озера. Проведенный анализ показал, что  $\chi$  образцов изучаемых озер меняется в небольшом диапазоне за счет изменений ферромагнитной составляющей.

#### Палинологический анализ

Палинологическая диаграмма подразделяется на четыре палинозоны (рис. 8).

Палинозона I (25–17 см) характеризуется доминированием пыльцы *Pinus s/g Diploxylon* и *Picea*, причем почти в равном соотноше-

нии. Среди других хвойных обращает на себя внимание постоянное присутствие пыльцы лиственницы, нахождение которой выше по разрезу заметно снижается. Пыльца березы также имеет повышенное обилие в этой зоне. Состав палинологического комплекса зоны предполагает развитие в регионе хвойных с примесью березы лесов, как светлохвойных с сосной, так и темнохвойных с елью и пихтой. Постоянное присутствие пыльцы лиственницы свидетельствует о развитии лиственничников в регионе и, предположительно, прохладном климате этой зоны.

В палинозоне II (17–12 см) состав доминантов тот же, за исключением заметного снижения концентрации пыльцы березы. Пыльца лиственницы также сохраняет свои позиции. Эта ситуация может указывать как на некоторое потепление климата, так и на сукцессионное изменение локальной растительности.

Палинозона III (12–4 см) характеризуется заметным увеличением роли пыльцы *Pinus s/g Diploxylon* и снижением роли пыльцы

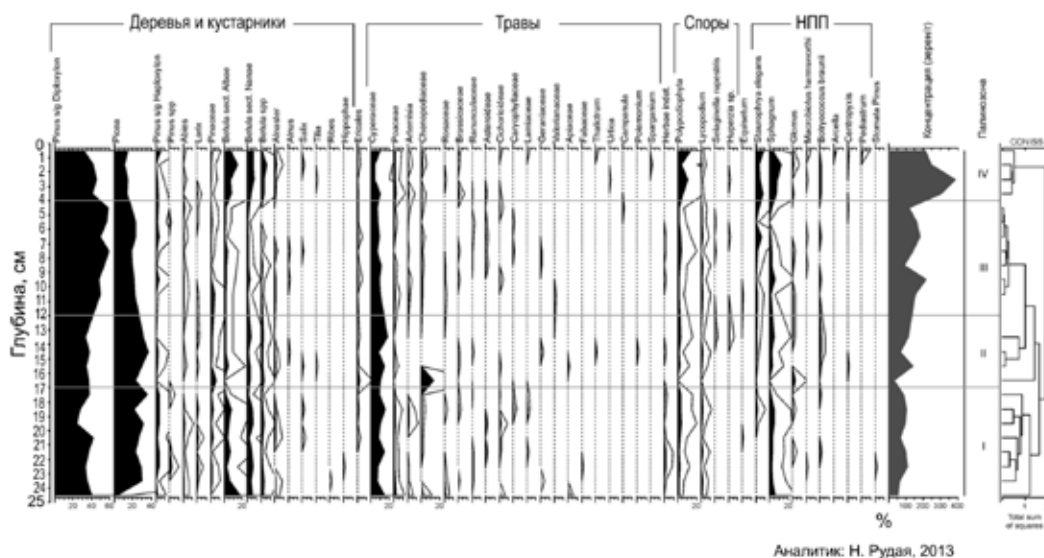


Рис. 8. Палинологическая диаграмма ядра S (K1) донных отложений оз. Большой Харбей

*Picea* в палиноспектрах. Практически исчезает пыльца лиственницы. Во время формирования этой палинозоны можно реконструировать усиление роли светлохвойных лесов с сосной, которые, вероятно, распространились севернее, чем раньше. Климат можно охарактеризовать как более сухой.

Палинозона IV (4–0 см) отличается в целом снижением обилия пыльцы хвойных и увеличением пыльцы березы и ольховника. Это может свидетельствовать о сокращении площади хвойных лесов, развитии березняков и открытых кустарниковых сообществ. Еще одной особенностью зоны является резкое увеличение содержания спор папоротников, а также спор сфагнома. Последнее может являться доказательством заболачивания озера.

#### Кладоцерный анализ

В составе субфоссильных кладоцерных сообществ присутствует 22 таксона. Один из видов (*Camptocercus rectirostris* Schoedler, 1862) отмечен в составе кладоцерных танатоценозов, хотя, по опубликованным данным о современном состоянии зоопланктона Харбейских озер, он в составе зоопланктоценозов не указывается (Фефилова и др., 2012). Также он не приводится в фаунистических списках Харбейских озер, по данным более ранних исследований (1968-1969 гг. (Барановская, 1976), 1998-1999 гг. (Фефилова и др., 2012)). Это теплолюбивый вид, встречающийся в Арктике и Субарктике.

Кластерный анализ CONISS позволил выделить четыре зоны в изученных донных отложениях оз. Большой Харбей по составу субфоссильных кладоцерных сообществ. В целом за весь временной интервал в кладоцерном сообществе доминируют таксоны, характерные для крупных водоемов. Как по частоте встречаемости, так и по относительной численности впереди представители се-

мейства *Bosminidae*, характерные обитатели открытых, пелагических биотопов. Максимальная частота встречаемости отмечена для *Chydorus* cf. *sphaericus*, *Eubosmina* cf. *longispina*, мелких форм рода *Alona*. Указанные таксоны были представлены на всех горизонтах.

Зона I (24–17 см) характеризуется значительным преобладанием планктонных таксонов над литорально-бентосными, косвенно отражая соотношение мелководных и глубоководных, незаросших участков водоема (Korhola et al., 2000; DeSellas et al., 2008) и, соответственно, высокий уровень воды в водоеме. Присутствие в составе кладоцерного сообщества холодноводных таксонов и таксонов умеренного бореального комплекса, начинающих свое развитие при прогреве воды до 6,3-6,5 °C (*Alonopsis elongatus* Sars, 1862, *Acroperus harpae* Baird, 1835, соответственно) (Nevalainen, 2010), позволяет говорить об умеренном или прохладном климате.

Зона II (17–10 см). Доминанты – босмины, *C.* cf. *sphaericus*, *Alona affinis* (Leydig, 1860). Несколько меняется соотношение планктонных и литорально-бентосных таксонов в сторону уменьшения представленности планктонных, свидетельствуя о понижении уровня озера. В составе сообществ отмечен таксон с наиболее северным ареалом распространения (*Eurycercus glacialis* Lilljeborg, 1887), отсутствующий в других зонах отложений. Кроме того, по-прежнему присутствуют толерантные к низким значениям температуры воды *A. elongatus*, *A. harpae*.

Зона III (10–3 см). Доля планктонных таксонов несколько возрастает, что говорит об увеличении площадей открытых водных пространств водоема по отношению к заросшему побережью. Увеличение относительной численности планктонного таксона *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785), чувствитель-



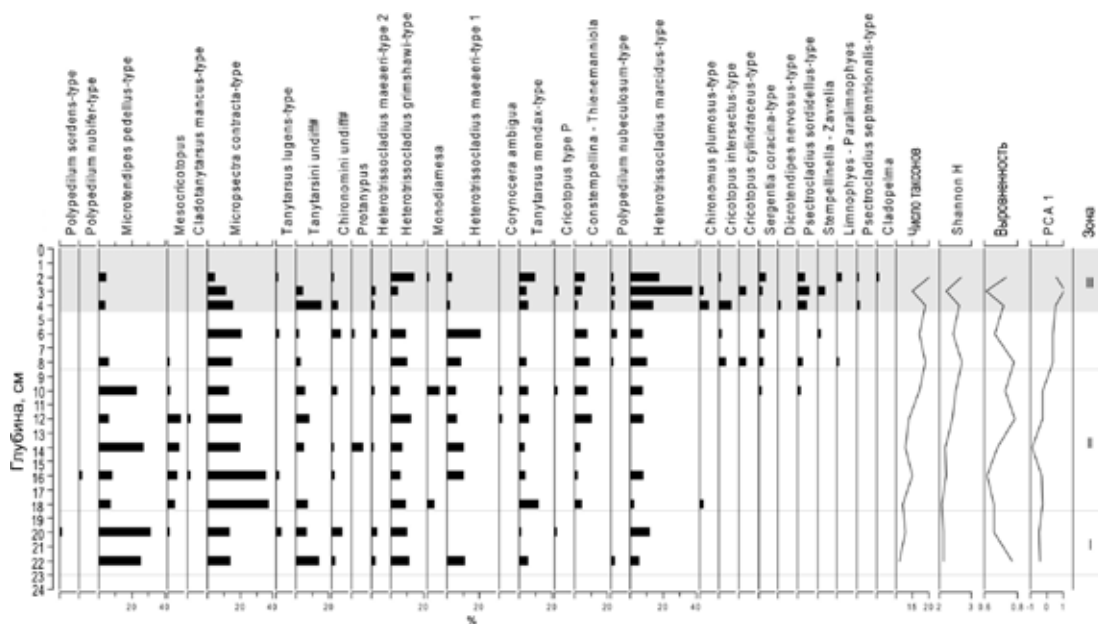


Рис. 10. Хирономидная диаграмма ядра S (K1) донных отложений оз. Большой Харбей

значения индекса I (выровненность, показатель стабильности сообщества) отмечено в нижней части ядра, на горизонтах 13-19 см. С понижением глубины осадков наблюдается постепенный рост числа встреченных таксонов и рост индекса видового разнообразия Шеннона. Тенденции развития этих показателей совпадают с общей тенденцией изменения сообщества хирономид, выраженной осью PCA 1.

В ядре выделено три хирономидные зоны.

Зона I (24-19 см). Среднее число таксонов в пробе 12. Средние значения  $H = 2.14$ ,  $I = 0.71$ . Доминирующим видом – *Microtendipes pedellus*-type. Эндемичным для зоны признан фитофильный *Polypedilum sordens*-type.

Зона II (19–9 см). Среднее число таксонов в пробе 14. Средние значения  $H = 2.27$ ,  $I = 0.69$ , Минимальное значение I отмечено на глубине 15 см при выраженном доминировании *Micropsectra*. Большинство таксонов, входящих в этот род, являются

ацидофобами и в разной степени холодно-водными. Численность таксона постепенно снижается в направлении верхних горизонтов ядра. В данной зоне уменьшается численность видов толерантного к закислению рода *Heterotrissocladius*: *H. macridus*-type, *H. maeeri*-type, *H. grimschawi*-type. С начала второй зоны в пробах постоянно встречается *Constempellina – Thienemanniola*. Видовой состав хирономидного сообщества указывает на снижение кислотности водной среды, на возможное похолодание в нижней части зоны и общую тенденцию потепления в направлении верхних горизонтов ядра.

Зона III (9–0 см). Среднее число таксонов в пробе 18, максимальное число таксонов отмечено в верхнем горизонте – 20. Средние значения  $H = 2.53$ ,  $I = 0.70$ . В верхней части ядра повышается численность ацидофильных *Heterotrissocladius*, в особенности наиболее теплолюбивого из таксонов данного рода *H. macridus*-type. Кроме того, в третьей зоне отмечается появление

целого ряда новых фиитофильных таксонов (*Cricotopus intersectus*-type, *C. cylindraceus*-type, *Limnophyes*, *Psectrocladius*). Смена видового состава может свидетельствовать о потеплении, расширении литоральной зоны и распространении водной и прибрежно-водной растительности.

### Обсуждение

К настоящему времени накоплен обширный материал по палинологии и палеогеографии голоцена различных регионов. Голоцен Печорской низменности исследовали Т.И. Смирнова (1966) и Л.Д. Никифорова (1980). На Полярном и Приполярном Урале работали Г.Н. Сурова и Л.С. Троицкий (1971), на Среднем Тимане – Н.И. Непомилуева и Д.А. Дурягина (1990), в бассейне р. Вычегды – Л.М. Потапенко (1975), Л.Д. Никифорова (1980), Л.А. Коноваленко (Волокитин, Коноваленко, 1988), Д.А. Дурягина (Марченко, Дурягина, 1996), Н.А. Мариева (Мариева, 2000; Марченко-Вагапова, Мариева, 2001), О.К. Борисова (Сидорчук и др., 1999; Sidorchuk et al., 2001), в бассейне р. Большой Роговой – Д.А. Дурягина (Марченко, Дурягина, 1996), в бассейне р. Мезени – Э.И. Девятова (Девятова, Лосева, 1964), Л.М. Потапенко (1975), Л.Д. Никифорова (1980). Исследования природной среды и среды в антропогене на территории Северо-Запада России проводились Л.Н. Андреичевой с соавторами (Андреичева и др. 2003, 2004, 2008).

Несмотря на то что голоценовые отложения на территории Республики Коми исследовались ранее, сведения о развитии растительности и динамике климата остаются неполными (Голубева, 2008). В частности, по данной территории мало палеоэкологических данных позднего субатлантического периода, что затрудняет воссоздание хода событий голоцена (Solovieva et al., 2005).

### *Изменения магнито-минералогических показателей*

Палеомагнитная информативность донных отложений современных озер во многом определяется седиментационными процессами, в ходе которых в осадках накапливаются железосодержащие минералы. В отличие от океанических отложений для озер характерны относительно высокие скорости седиментации, позволяющие получить палеомагнитную запись с более высоким разрешением по сравнению с океаническими осадками. Одним из основных факторов, определяющих осадконакопление в озерах, являются климатические условия, которые определяют гидрологический и гидрохимический режим водоемов, преобладающий характер осадконакопления и тип отложений. Разнообразие типов озер и многочисленные факторы, определяющие процессы осадконакопления в каждом из них, формируют индивидуальный качественный и количественный состав магнитной фракции отложений конкретного озера.

Целью магнито-минералогического анализа кернов донных отложений оз. Большой Харбей явилось определение типа озерных отложений, выявление роли каждого из ферромагнитных минеральных компонентов в магнитных свойствах горной породы. Как правило, магнито-минералогический анализ проводится по большому числу образцов коллекций и включает в себя измерения магнитной восприимчивости ( $\chi$ ), гистерезисные методы, а также терромагнитный анализ (ТМА) по естественной и некоторым видам лабораторных намагниченностей.

Проведенное исследование показало, что керны донных отложений оз. Большой Харбей условно можно разделить на две части. Нижняя часть керна характеризует-

ся низкими значениями магнитной восприимчивости и ее составляющих. В верхний части керна эти показатели повышаются. Пониженные значения ферромагнитной составляющей в нижней части кернов связаны с растворением зерен магнетита биогенного происхождения. Жидкий верхний слой осадка содержит значительное количество органических остатков, с этим связано повышенное значение диамагнитной составляющей. В процессе эволюции магнитотактические бактерии приобрели специфическую способность передвигаться во внешнем магнитном поле с помощью цепочки магнитных частиц – магнитосом, которые содержатся в цитоплазме (Frankel et al., 1983). Все магнитотактические бактерии синтезируют неорганические ферримагнитные кристаллы, такие как магнетит ( $Fe_3O_4$ ) или грейгит ( $Fe_3S_4$ ) (Farina, 1990; Frankel, 1983). Большинство наблюдаемых магнитных частиц бактериального происхождения являются однодоменными, и их размеры варьируют в очень небольшом диапазоне 35–120 нм (Diaz-Ricci, 1992). После смерти бактерий и разрушения защитной клеточной мембраны химическая среда, окружающая магнитосомы, меняется. И их сохранность зависит от фактической окружающей среды. В осадках скорость окисления магнетита такова, что более крупные частицы сохраняются в течение геологического времени, а мелкие подвержены сильному окислению и разрушению. В связи с этим верхняя часть кернов характеризуется более высокими значениями магнитной восприимчивости. Предположение о том, что ферримагнитная фракция осадков изучаемых озер в основном представлена остатками магнитотактических бактерий, подтверждается анализом полученных петромагнитных параметров и ТМА.

### *Именения флоры региона и видового состава гидробионтов*

Реконструкция растительности служит результатом применения палинологического метода. Пыльцевая запись – надежный документ, дающий представление о составе растительного покрова определенной территории в определенное время. В тех случаях, когда основу палинологических спектров составляют таксоны, пыльца которых отлагается локально, есть возможность проводить довольно точные реконструкции растительных сообществ, продуцировавших эту пыльцу.

Проведенный анализ показал, что в целом растительность региона на протяжении изученного отрезка осадконакопления характеризовалась доминированием хвойных пород (сосна, ель) с постоянным присутствием карликовой березки, ольховника и вересковых, что предполагает наряду с распространением хвойных лесов существование локальных ерниковых и кустарниковых тундровых растительных группировок. Травянистые таксоны в значительной мере представлены осоковыми, отражающими локальную и прибрежно-водную растительность. Со временем в донных отложениях практически исчезает пыльца лиственницы и увеличивается роль пыльцы березы и ольховника. Особенностью верхней части донных отложений является увеличение содержания спор папоротников и сфагнома.

Ситуацию в водной экосистеме отражают в значительной мере сообщества зоопланктона и бентоса. Ветвистоусые ракообразные, или кладоцеры (Cladocera Latrelle, 1829, Branchiopoda, Crustacea), одна из самых многочисленных групп зоопланктона, населяющих современные пресноводные водоемы. Высокая скорость развития и смены поколений позволяет им очень быстро реагировать на изменение условий среды, из-за чего кла-



доцеры широко используются в экологических исследованиях в качестве индикаторных организмов (Фролова, 2013).

Часто анализ кладоцерных сообществ с применением палеолимонологических методик дает более полное представление о видовом составе ветвистоусых ракообразных в водоеме, чем регулярные многочисленные отборы проб в течение вегетационного сезона с использованием стандартных гидробиологических методик, т.к. в составе донных отложений имеются виды, обитающие в различные периоды вегетационного сезона. Так, Фрай (Grey, 1960) провел анализ состава кладоцерных сообществ на основе их фоссилизованных остатков в поверхностных донных отложениях пяти озер штата Висконсин, США, где традиционные мониторинговые исследования зоопланктонного сообщества интенсивно осуществляли на протяжении около 30 лет. Он обнаружил, что все виды, кроме одного, выявленные с применением стандартной гидробиологической методики изучения зоопланктона, были отмечены также в поверхностных донных отложениях. Кроме того, в донных отложениях было отмечено еще 6 видов Cladocera, не обнаруженных в ходе интенсивной стандартной программы мониторинга. Такой метод анализа кладоцерного сообщества может быть рекомендован для удаленных, труднодоступных, слабоизученных водоемов или водоемов, имеющих очень короткий безледный период, как, например, для малоизученных арктических и субарктических водоемов (Фролова, 2011).

В составе субфоссильных кладоцерных сообществ оз. Большой Харбей был отмечен новый для зоопланктона Харбейских озер вид *C. rectirostris* Schoedler, 1862. Нашу находку подтверждает устное сообщение Е.Б. Фефиловой об обнаружении трех экземпляров представителей данного вида в

бентосных пробах озера (неопубликованные данные). Вид относительно теплолюбивый, служит индикатором прогрева воды выше 8 °С (Nevalainen, 2010), относительно редко и единично встречается в северных регионах (Flössner, 2000). По экологической характеристике вид является обитателем, прежде всего, крупных стоячих водоемов с низкой продуктивностью, встречается среди растений, но чаще обнаруживается у поверхности грунта, на илистых грунтах, в детрите песчаных грунтов (Flössner, 2000).

В кладоцерных сообществах озера доминируют таксоны, характерные для крупных водоемов, в основном представителями семейства Bosminidae. По всей колонке грунта наиболее частые зоопланктеры – *C. cf. sphaericus*, *E. cf. longispina*, мелких форм рода *Alona*.

Хирономиды (Chironomidae: Diptera) – повсеместно распространенное, богатое видами семейство водных беспозвоночных. Chironomidae являются убиквистами, тысячи видов этого семейства занимают практически все типы водных биотопов. Личинки хирономид имеют множество преимуществ в качестве индикаторных организмов. Высокая скорость развития и смены генераций позволяет им очень быстро реагировать на изменение условий среды, а экстраординарная экологическая представленность и чувствительность к условиям среды делает возможным их использование для оценки и интерпретации экологических изменений с высокой степенью точности (Nazarova et al., 2004, 2011, 2013 a, b). Они – показатели эвтрофикации, закисления, токсического загрязнения и других химических и физических изменений среды. Более того, вследствие ряда присущих им особенностей хирономиды признаны одними из лучших индикаторов климата и обладают значительным потенциалом для оценки и других экологических изменений (Battarbee, 2000).

В целом ядро сообществ хирономид оз. Большой Харбей представлено толерантными к легкому закислению таксонами, индикаторными для умеренных температур, обитателями литорально-сублитеральной зоны.

#### *Реконструкция экологических условий*

Исследование кернов донных отложений оз. Большой Харбей, проведенное комплексом магнито-минералогических и палеобиологических методов, включающих в себя спорово-пыльцевой, кладоцерный и хирономидный анализы, показало, что как в состоянии самих донных отложений, так и в составе растительности и сообществах гидробионтов произошли существенные изменения.

Магнитная восприимчивость осадков отражает изменения привноса материала (скорости осадконакопления, типа осадка, косвенно – изменения климата, окружающей среды и т.д.) и условия его захоронения. Вариации величин магнитной восприимчивости образцов осадков зависят от множества причин, большинство из которых общие для всего бассейна осадконакопления, поэтому эти данные с успехом используются для детальной корреляции осадков, отобранных в различных частях озера (Nourgaliev et al., 2007).

Магнитный гистерезис – очень удобный инструмент для изучения ансамблей магнитных зерен в горных породах. На основе информации, полученной в результате исследований магнитного гистерезиса, устанавливается состав магнитной фракции отложений (Liu et al., 2008), приблизительная концентрация магнитных минералов (Fukuma, Torii, 1998), определяется вклад терригенных и аутигенных магнитных минералов (Fukuma, Torii, 1998; Nourgaliev et al., 2005).

ТМА позволяет определить минеральный состав магнитной фракции образцов.

Величина магнитной восприимчивости в основном варьирует за счет изменений количества привнесенного терригенного материала. Значительные изменения величины магнитной восприимчивости могут свидетельствовать о существенных изменениях в режиме озера.

Проведенный анализ показал, что  $\chi$  образцов изучаемых озер меняется в небольшом диапазоне. Но постепенное увеличение вклада ферромагнитной составляющей ( $\chi_f$ ) в верхней части кернов с глубины 18-15 см говорит об увеличении массы магнитотактических бактерий, что связано скорее с тем, что, возможно, в последнее время происходило обводнение озера, расширение литоральных участков с хорошей прогреваемостью воды.

Нижняя часть керна характеризуется доминированием пыльцы *Pinus s/g Diploxylon* и *Picea*, постоянным присутствием пыльцы лиственницы, что свидетельствует о развитии лиственничников в регионе, значительным преобладанием планктонных таксонов гидробионтов над литорально-бентосными и присутствием в составе кладоцерного сообщества холодноводных таксонов и таксонов умеренного бореального комплекса, что позволяет говорить об умеренном или прохладном климате на территории региона в это время.

Примерно с глубин 17-19 см в составе кладоцерных и хирономидных сообществ происходит смена соотношения планктонных и литорально-бентосных видов в сторону уменьшения представленности планктонных видов, что свидетельствует о понижении уровня озера, видимо, вследствие снижения глубины сезонного протаивания грунта. Снижение ацидофильных таксонов хирономид сопровождается постепенным ростом

общего числа таксонов хирономид, что, как правило, свидетельствует о потеплении. В это же время начинается постепенная сукцессия локальной растительности, характеризующаяся снижением концентрации пыльцы березы и лиственницы и увеличением роли *Pinus s/g Diploxylon*. Климат, по всей вероятности, стал более сухим и теплым.

Состав пыльцы самых верхних горизонтов донных отложений (0-4 см) указывает на снижение обилия хвойных и развитие березняков и открытых кустарниковых сообществ. В сообществах гидробионтов отмечается рост общего числа таксонов, в том числе таксонов, свидетельствующих о повышении трофического статуса озера. Растет численность ацидофильных и теплолюбивых и фитофильных таксонов. В палиноспектрах происходит резкое увеличение содержания спор папоротников и сфагнома, что может свидетельствовать о заболачивании озера, а в комплексе с результатами хирономидного и кладоцерного анализов – о расширении литоральной зоны, распространении водной и прибрежно-водной растительности при общем потеплении климата

### Список литературы

1. Андричева Л.Н., Марченко-Вагапова Т.И. (2003) Развитие природной среды и климата в антропогене на северо-востоке Европы. Сыктывкар: Геопринт, 24 с.
2. Андричева Л.Н., Марченко-Вагапова Т.И. (2004) Развитие природной среды и климата в плейстоцене на северо-западе России. Сыктывкар: Геопринт, 42 с.
3. Андричева Л.Н. (2008) Палеогеографические обстановки формирования отложений квартера на европейском севере России. Литосфера 4: 62-75.
4. Андронникова И.Н. (1996) Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 190 с.
5. Барановская В.К. (1976) Зоопланктон Харбейских озер Большеземельской тундры В: Винберг Г.Г., Власова Т.А. (ред.) Продуктивность озер восточной части Большеземельской тундры. Л.: Наука, с. 90–101.
6. Батурина М.А., Лоскутова О.А., Фефилова Е.Б., Хохлова Л.Г. (2012) Зообентос озера Большой Харбей (Большеземельская тундра): современное состояние и анализ ретроспективных данных. Известия Коми научного центра УрО РАН 4 (12): 21-29.

В целом изменения величин магнитной восприимчивости, сукцессия растительных сообществ, отраженная в палинологических спектрах, и смена таксономического состава гидробионтов свидетельствуют об увеличении обводненности водоема, что может быть связано с потеплением. Наши данные подтверждаются фактическими наблюдениями – в период наблюдений с 1996 по 2006 гг. отмечается увеличение глубины сезонного протаивания грунта (Мажитова и др., 2007).

### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров и Российско-германской лаборатории полярных и морских исследований им. О.Ю. Шмидта (проект OSL-13-10), а также грантов в рамках совместного проекта Уральского и Сибирского отделений РАН (12С4-1011) и РФФИ (11-05-00246-а).

7. Буров Б.В., Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. (1986) Палеомагнитный анализ. Казань: изд-во КГУ, 167 с.
8. Буров Б.В., Ясонов П.Г. (1979) Введение в дифференциальный термомагнитный анализ горных пород. Казань: Изд-во КГУ, 159 с.
9. Волокитин А.В., Коноваленко Л.А. (1988) Новый мезолитический памятник Парч 3. В: Памятники эпохи камня и металла Северного Приуралья. Сыктывкар, с. 19-31.
10. Девятова Э.И., Лосева Э.И. (1964) Стратиграфия и палеогеография четвертичного периода в бассейне р. Мезени. Л.: Наука, с. 85-88.
11. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1978) Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. Lamiaceae≈Zygophyllaceae. Л.: Наука, 183 с.
12. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1972) Пыльца и споры растений флоры СССР. Т. 1. Л.: Наука, 171 с.
13. Мажитова Г.Г., Каверин Д.А. (2007) Динамика глубины сезонного протаивания и осадки поверхности почвы на площадке циркумполярного мониторинга деятельного слоя (CALM) в европейской части России. Криосфера Земли 11 (4): 20–30.
14. Мануйлова Е.Ф. (1964) Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. М.-Л.: Наука, 328 с.
15. Мариева Н.А. (2000) Палинокомплексы голоцена в разрезе «Парч» (р. Вычегда). В: Сыктывкарский палеонтологический сборник, №4. Сыктывкар, 69-71.
16. Марченко Т.И., Дурягина Д.А. (1996) Условия формирования голоценовых отложений в бассейнах рек Вычегды и Большой Роговой (по данным споропыльцевого и диатомового анализов). Сыктывкар, 42 с.
17. Марченко-Вагапова Т.И., Мариева Н.А. (2001) Палинологическая и диатомовая характеристики природной среды в голоцене района средней Вычегды. Вест. Ин-та геологии НЦ УрО Коми РАН 10: 6-9.
18. Непомилуева Н.И., Дурягина Д.А. (1990) К истории лиственничников среднего Тимана в голоцене (Коми АССР). Ботанический журнал 75: 326-335.
19. Никифорова Л.Д. (1980) Изменение природной среды в голоцене на северо-востоке европейской части СССР: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 25 с.
20. Нургалиев Д.К., Утемов Э.В., Ясонов П.Г., Нургалиева Н.Г., Косарева Л.Р. (2009) Остатки магнитотактических бактерий в отложениях современных озер – новый инструмент палеогеофизики. Ученые записки Казанского университета, серия Естественные науки, Т.151, книга 4.
21. Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. (2009) Патент на полезную модель «Коэрцитивный спектрометр» № 81805. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 марта 2009 года.
22. Потапенко Л.М. (1975) Четвертичные отложения и развитие рельефа бассейнов рек Вычегды и средней Мезени: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 24 с.
23. Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н., Панин А.В., Чернов А.В. (1999) Палеогидрология нижней Вычегды в позднеледниковье и голоцене. Вестник МГУ, Сер. 5. География 5: 35-42.
24. Смирнов Н.Н. (1971) Chydoridae фауны мира. Фауна СССР. Ракообразные. Т.1. Вып. 2. Л.: Наука, 531 с.

25. Смирнова Т.И. (1966) Развитие растительности юго-восточной части Большеземельской тундры в верхнем плейстоцене и голоцене. В: Геология кайнозоя севера европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, с. 153-156.
26. Сурова Т.Г., Троицкий Л.С. (1971) О динамике растительного покрова, климата и оледенения на Полярном Урале в голоцене (по данным палинологических исследований). В: Палинология голоцена. М.: Наука, с. 121-135.
27. Фефилова Е.Б., Кононова О.Н., Дубовская О.П., Хохлова Л.Г. (2012) Современное состояние зоопланктона системы озер Большеземельской тундры. Биология внутренних вод 4: 44-52.
28. Фролова Л.А. (2011) Ветвистоусые ракообразные (Cladocera LATREILLE, 1829, Branchiopoda, Crustacea) в палеоэкологических исследованиях. В: Назарова Л.Б. (ред.) Методические подходы к использованию биологических индикаторов в палеоэкологии. Казань: Изд-во Казан. ун-та, с. 52-88.
29. Фролова Л.А. (2013) Ветвистоусые ракообразные (Cladocera). В: Назарова Л.Б. (ред.) Биологические индикаторы в палеобиологических исследованиях: атлас. Казань: Изд-во Казан. ун-та, с. 44-64.
30. Battarbee R.W. (2000) Palaeolimnological approaches to climate change with special regard to the biological record. Quaternary Science Reviews 19: 107-124.
31. Brooks S.J., Langdon P.G., Heiri O. (2007) Using and identifying chironomid larvae in palaeoecology. QRA Technical Guide № 10, Quaternary Research Association, London, 276 p.
32. Day R., Fuller M., Schmidt V.A. (1977) Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence. Phys. Earth Planet. Inter. 13: 260-267.
33. DeSellas A.M., Paterson A.M., Sweetman J.N., Smol J.P. (2008) Cladocera assemblages from the surface sediments of south-central Ontario (Canada) lakes and their relationships to measured environmental variables. Hydrobiologia 600: 105-119.
34. Diaz-Ricci J.C., Kirschvink J.L. (1992) Magnetic domain state and coercivity predictions for biogenic greigite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>): A comparison of theory with magnetosome observations. Journal of Geophysical Research 97: 17309-17315.
35. Faegri K., Iversen J. (1989) Textbook of Pollen Analysis. 4th ed. by K. Faegri, P.E. Kaland & K. Krzywinski, John Wiley & Sons, Chichester, 328 p.
36. Farina M., Esquivel D.M.S., Lins de Barros H.G.P. (1990) Magnetic iron-sulphur crystals from a magnetotactic microorganism. Nature 343 (6255): 256-258.
37. Flössner D. (2000) Die Haplopoda und Cladocera (ohne Bosminidae) Mitteleuropas. Leiden: Backhuys Publishers, 428 p.
38. Frankel R.B., Papaefthymiou G.C., Blakemore R.P., Brien W.O. (1983) Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> precipitation in magnetotactic bacteria. Biochim. Biophys. Acta 763: 147 .
39. Frey D. G. (1960) The ecological significance of cladoceran remains in lake sediments. Ecology 41: 684-699.
40. Fukuma K., Torii M. (1998) Variable shape of magnetic hysteresis loops in the Chinese loess-paleosol sequence. Earth Planets Space 50: 9-14 .
41. Grimm E.C. (2004) TG View 2.0.2 (Software). Illinois State Museum. Springfield, Illinois.

42. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001) Climate Change 2001. The Scientific Basis. In : Houghton J.T., Ding Y., Griggs M.C., Noguera M., Linden P.J., Dai X., Maskell K. and Johnson C.A. (eds). A Special Report of IPCC Working Group I.
43. Jankovska V. (1991) Unbekannte Objekte in Pollenpräparaten – Tardigrada. Proc. of the Pan-European Palaeobot. Conf. Vienna, Austria, p. 19-23.
44. Juggins S. (2007) C2 Version 1.5 User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK.
45. Kienast F., Wetterich S., Kuzmina S., Schirrmeister L., Andreev A., Tarasov P., Nazarova L., Kossler A., Frolova L., Kunitsky V. (2011) Paleontological records prove boreal woodland under dry inland climate at today's Arctic coast in Beringia during the last interglacial Quaternary Science Reviews 30.17/18: 2134-2159.
46. Korhola A., Olander H., Blom T. (2000) Cladoceran and chironomid assemblages as quantitative indicators of water depth in subarctic Fennoscandian lakes. Journal of Paleolimnology 24: 43–53.
47. Liu X.M., Liu T.S., Hesse P., Xia D.S., Chlachula J., Wang G. (2008) Two pedogenic models for paleoclimatic records of magnetic susceptibility from Chinese and Siberian loess. Science in China Series D: Earth Sciences 51(2): 284-293 .
48. Nazarova L.B., Semenov V.F., Sabirov R.M., Efimov I.Y. (2004) The state of benthic communities and water quality evaluation in the Cheboksary reservoir. Water Resources 31: 316-322.
49. Nazarova L., Herzsuh U., Wetterich S., Kumke Th., Pestrjakova L. (2011) Chironomid-based inference models for estimating mean July air temperature and water depth from lakes in Yakutia, northeastern Russia. Journal of Palaeolimnology 45: 57–71.
50. Nazarova L., Verena de Hoog, Hoff U., Diekmann B. (2013a) Late Holocene climate and environmental changes in Kamchatka inferred from subfossil chironomid record. Quaternary Science reviews 67: 81-92 .
51. Nazarova L., Lüpfer H., Subetto D., Pestrjakova L., Diekmann B. (2013b) Holocene climate conditions in Central Yakutia (North-Eastern Siberia) inferred from sediment composition and fossil chironomids of Lake Temje. Quaternary International 290-291: 264-274 .
52. Nazarova L. (2012) Chironomids in Quaternary permafrost deposits in the Siberian Arctic. Submitted to Chironomus. Newsletter of Chironomid research 25: 39-42.
53. Nevalainen L., Luoto T.P. (2010) Temperature sensitivity of gamogenesis in littoral cladocerans and its ecological implications. Journal of Limnology 69: 120-125.
54. Nevalainen L., Luoto T.P., Kultti. S., Sarmaja-Korjonen K. (2013) Spatio-temporal distribution of sedimentary cladocera (crustacea: Branchiopoda) in relation to climate. Journal of Biogeography 40 (8): 1548-1559. doi:10.1111/jbi.12101.
55. Nourgaliev D.K., Yasonov P.G., Kosareva L.R., Kazanskii A.Yu. and Fedotov A.P. (2005) The origin of magnetic minerals in the Lake Khubsugul sediments (Mongolia). Russian J. of Earth Sciences 7 (3): 1-6.
56. Nourgaliev D.K., Yasonov P.G., Borisov A.S., Chernova Yu., Akdasov E.I., Burov B.V., Oberhaensli H., Heller F. (2007) Paleomagnetic correlation of sedimentary sequences: the use of secular geomagnetic variations for the differentiation and correlation of holocene Aral sea deposits. Izvestiya. Physics of the Solid Earth 43 (10): 836-843.

57. Pielou E.C. (1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. *J Theor Biol* 13:131–144.
58. Shannon C., Weaver W. (1963) *The mathematical theory of communication*. Illinois: Univ. Illinois Press, 117 p.
59. Sidorchuk A., Panon A., Borisova O., Kovalukh N. (2001) Lateglacial and Holocene palaeohydrology of the lower Vychegda River, Western Russia. *River Basin Sediments Systems: Archives of Environmental Change*, p. 265-295.
60. Solovieva N., Jones V.J., Appleby P.G., Kondratenok B.M. (2002) Extent, environmental impact and long-term trends in atmospheric contamination in the Usa basin of east-European Russian arctic. *Water, Air and Soil Pollution* 139: 237-260.
61. Solovieva N., Jones V.J., Nazarova L., Brooks S.J., Birks H.J.B., Grytnes J.A., Appleby P.G., Kauppila T., Kondratenok B., Renberg I., Ponomarev V. (2005) Palaeolimnological evidence for recent change in lakes from the northern Urals, arctic Russia. *Journal of Paleolimnology* 33: 463-482.
62. Solovieva N., Jones V., Birks J.H.B., Appleby P., Nazarova L. (2008) Diatom responses to 20<sup>th</sup> century climate warming in lakes from the northern Urals, Russia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 259 :96-106.
63. Stockmarr J. (1971) Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* 13: 615-621.
64. ter Braak C.J.F., Prentice I.C. (1988) A theory of gradient analysis. *Advan in Ecolog Research* 18: 271-317.
65. ter Braak C.J.F., Šmilauer P (2002) *CANOCO reference manual and CanoDraw for Window's User's guide: software for canonical community ordination (Version 4.5)*. Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA.
66. van Geel, B. (2001) Non-pollen palynomorphs. In: Smol, J.P., Birks, H.J.B., Last, W.M. (eds.) *Terrestrial algal and siliceous indicators, tracking environmental changes using lake sediments*, vol. 3. Dordrecht: Kluwer Academic Press, p. 99–119.
67. Wiederholm T (1983) Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part 1. Larvae. *Entomologica Scandinavica, Suppl.* 19, 457 p.