

УДК 551.4;911.2→551.89(470.21)

© 2019 г. О.С. ШИЛОВА^{1,*}, Ф.А. РОМАНЕНКО^{1,**}, В.В. КОЛЬКА^{2,***},
Д.Б. ДЕНИСОВ^{3,****}

ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В СЕВЕРНЫХ ХИБИНАХ (КОЛЬСКИЙ П-ОВ) В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

¹ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет, Москва, Россия*

² *Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

³ *Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

**E-mail: o.olyunina@mail.ru, **E-mail: faromanenko@mail.ru,*

****E-mail: kolka@geoksc.apatity.ru, ****E-mail: denisov@iner.ksc.ru*

Поступила в редакцию 01.03.2017

После доработки 12.12.2017

Принята к печати 09.10.2018

В статье представлены результаты диатомового анализа донных отложений оз. Щучьего, расположенного на Кольском п-ове в северной части Хибинского горного массива. Данные радиоуглеродного датирования и сопоставление с опубликованными ранее разрезами озерных отложений Кольского п-ова позволяют сделать вывод, что накопление донных отложений оз. Щучьего началось на заключительных этапах дегляциации в начале голоцена и продолжалось непрерывно до настоящего времени. По изменениям концентрации, видового разнообразия и видового состава диатомовых ассоциаций выделено 8 диатомовых зон. Изменения в составе диатомовых ассоциаций донных отложений отражают изменения гидродинамического режима озера, связанные с изоляцией от оз. Гольцового и влиянием стока р. Кунийок, а также сукцессионные процессы на его водосборе: заболачивание и вариации интенсивности эрозионного и селевого сноса, связанные с изменением характера растительности. Климатические изменения в голоцене запечатлелись как непосредственно в изменении процентного содержания индикаторных видов, так и опосредованно через колебания рН и т. д. Раннеголоценовое потепление в Хибинах началось позднее, чем в прибрежных районах. Это может быть связано с особенностями дегляциации: более поздним таянием ледников в пределах горных массивов. Наряду с эволюционными изменениями природной среды в донных отложениях оз. Щучьего отражены некоторые события катастрофического характера, в том числе, вероятно, селевые процессы, обусловившие формирование четко выраженного прослоя терригенного материала в органогенных отложениях в верхней части разреза. Так, на ранних этапах существования озера отмечается привнос большого количества терригенного материала, очевидно, в результате эрозионного и селевого сноса с незакрепленных склонов в условиях разреженной растительности.

Ключевые слова: голоцен, изменения климата, озерные отложения, диатомовый анализ, Кольский п-ов, Хибины.

<https://doi.org/10.31857/S0435-42812019391-101>

HOLOCENE ENVIRONMENTAL CHANGES IN THE NORTHERN Khibiny MOUNTAINS (KOLA PENINSULA) INFERRED BY DIATOM ANALYSIS OF LAKE SEDIMENTS

O.S. SHILOVA^{1,*}, F.A. ROMANENKO^{1,**}, V.V. KOLKA^{2,***}, D.B. DENISOV^{3,****}

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

² Geological Institute Kola SC RAS, Apatity, Russia

³ North industrial ecology problems Institute Kola SC RAS, Apatity, Russia

*E-mail: o.olyunina@mail.ru, **E-mail: faromanenko@mail.ru,

E-mail: kolka@geoksc.apatity.ru, *E-mail: denisov@iner.ksc.ru

Received 01.03.2017

Revised 12.12.2017

Accepted 09.10.2018

Summary

The article presents the results of diatom analysis of bottom sediment cores of Lake Shchuchye located in the northern part of the Khibiny Mountains. Data of radiocarbon dating of lacustrine sediments and comparison with previously published sections of lake sediments in the Kola Peninsula suggest that the accumulation of sediments in Shchuchye Lake began during the final stages of deglaciation in the early Holocene and continued uninterruptedly until the present time. Changes in the composition of diatom associations in sediments reflect alterations in the hydrodynamic regime of the lake associated with the isolation from the Goltsovoye Lake, influence of Kunyok River runoff, evolution of vegetation and weathering processes in the catchment area. We used concentration, variety and composition of species and distinguished 8 separate zones of diatoms. Climate changes in the Holocene are reflected directly in the change of the percentage of indicator species, and indirectly through changes in pH, etc. The early Holocene rise of temperature began in this region later than in the sea coastal area. It may reflect the peculiarities of deglaciation, namely — late melting of alpine glaciers. Along with the evolutionary environmental changes some catastrophic events are reflected in the sediments of the Shchuchye Lake. For example, in early stages, there the yield of big quantity of terrigenous deposits into the lake was revealed produced by mud flows and erosion from slopes covered by scarce vegetation at that time. Mudflow processes probably led to the formation of a clear interlayer of terrigenous material in the biogenic sediments in the upper part of the section.

Keywords: Holocene, lake sediments, diatom analysis, Kola Peninsula, Khibiny Mountains.

Введение

Несмотря на большой объем информации о палеогеографии Кольского п-ова в голоцене, полученной разными методами, многие вопросы остаются дискуссионными или слабо освещенными. В их числе — соотношение эволюционных и катастрофических процессов в изменении природных обстановок. Наложение механизмов гляциоизостатической компенсации на общее тектоническое поднятие Балтийского щита привело к активизации древних разломов и ослабленных зон, изменению рельефа и системы напряжений и обусловило высокую сейсмичность региона. В связи с этим, большое значение имеют катастрофические процессы (землетрясения, сели и др.), которые формировали рельеф в послеледниковое время, приводили к перестройкам гидрографической сети [1] и формированию нарушенных горизонтов в донных отложениях озер [2].

В 2008–2009 гг. исследованы морфология озерной котловины и строение донных отложений оз. Гольцового (урез воды 208.2 м), крупного водоема на севере Хибинского горного массива, и соединенного с ним протокой оз. Щучьего (208.3 м). Котловина оз. Гольцового (макс. глубина, по нашим данным, 23.6 м) имеет тектоно-экзарационное происхождение и подпружена с севера моренными валами. Оз. Щучье отделено от оз. Гольцового перешейком высотой 1–2 м, сформированным дельтовыми отложе-

ниями р. Кунийок. Глубина озера превышает 3 м в его центральной части. В прошлом, по всей видимости, оз. Щучье представляло собой залив оз. Гольцового и обособилось от него в результате прогрессивного наращивания дельты Кунийока. Проведено бурение донных отложений оз. Щучье со льда, получен керн длиной 7.5 м (скважина 1, 67°50.339' с.ш.; 33°40.283' в.д.), выполнены диатомовый анализ и радиоуглеродное датирование отложений. Скважина 2 (67°50.294' с.ш., 33°40.166' в.д.) пробурена в 2013 г. также в центральной части озера и позволила провести более детальное датирование.

Методы

Бурение осуществлялось поршневым буром системы Геологического института КНЦ РАН в центральной части озера с максимальными глубинами. Начиная с поверхности донных осадков, последовательно отбирались метровые керновые секции диаметром 54 мм. Керны документировались и опробовались непосредственно в поле.

Обработка проб на диатомовый анализ проводилась по стандартной методике [3], рассчитывалось количество створок диатомей на 1 г воздушно-сухого осадка [4]. Диатомовый анализ выполнен для 45 образцов, отобранных с интервалом 5–20 см. В каждом образце определено 500–800 створок, за исключением интервала 9.5–9.4 м (3 образца), где из-за невысокого содержания и плохой сохранности диатомей определено 300 створок в образце. Диатомовая диаграмма построена в программе C2 [5]. Для выделения диатомовых зон использовался кластерный анализ CONISS [6], выполненный в программе PSIMPOLL 4.25 [7]. Количественные реконструкции pH среды и содержания общего фосфора выполнены с помощью программы ERNIE Version 1.2 (<http://craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp/>) методом взвешенного осреднения ($WA_{inverse}$).

Радиоуглеродное датирование образцов проведено в лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии Института географии РАН, г. Москва, и лаборатории палеогеографии и геохронологии четвертичного периода факультета географии и геоэкологии СПбГУ.

Результаты

Строение и возраст отложений. Донные отложения оз. Щучьего представляют собой семиметровую органогенную толщу, образованную переслаиванием сапропелей, торфа, оторфованных супесей, алевролитов в верхней части и диатомовыми илами в нижней части разреза (рис. 1). Они перекрывают цоколь из плотных серых супесей, практически лишенных органического материала. Низкое содержание органического вещества в минеральных отложениях и диатомовых илах в нижней части разреза не позволило датировать их сцинтилляционным методом. Перекрывающие их сапропели имеют возраст 5.5 тыс. ^{14}C л. н. (табл. 1).

Диатомовый анализ. По изменениям концентрации, видового разнообразия и видового состава диатомовых ассоциаций выделено 8 диатомовых зон (DZ) (рис. 2).

DZ-1 выделена в серых супесях и опесчаненном алевролите, слагающих подошву вскрытых отложений на глубине 9.50–9.45 м. Содержание диатомей минимальное по разрезу, 40–80 тыс. створок на 1 г воздушно-сухого осадка (далее ств./г). Таксономическое разнообразие невелико (55–60 видов). Доминируют виды родов *Aulacoseira* (*A. nivaloides*, *A. subarctica*, *A. valida*) и *Pseudostaurosira* (*P. pseudoconstruens*, *P. microstriata*, *P. neoelliptica*). Только в верхней части этой зоны отмечены переотложенные диатомеи: створки *Paralia sulcata* и фрагменты толстостенных панцирей других видов морских центральных диатомей.

DZ-2 соотносится с тонким слоем серого алевролитистого сапропеля на глубине 9.45–9.40 м. Характерными чертами являются относительно низкая концентрация диатомей в отложениях (около 550 тыс. ств./г) и минимальное видовое разнообра-

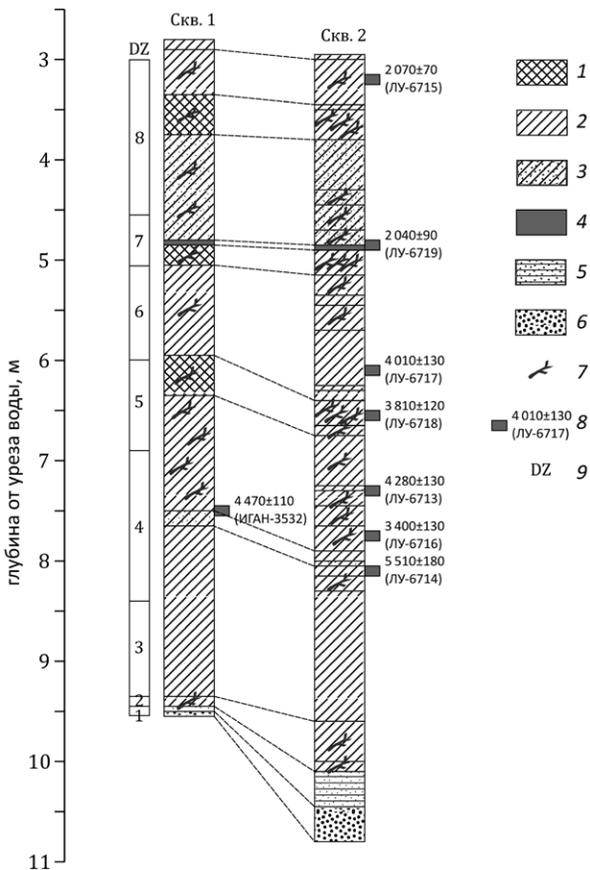


Рис. 1. Строение и корреляция разрезов донных отложений оз. Щучьего, Хибинь, Кольский п-ов

1 — сапропель оторфованный, торф, 2 — сапропель, 3 — сапропель опесчаненный, 4 — алеврит, глина, 5 — алеврит опесчаненный, 6 — супесь, песок, 7 — макроостатки растений, 8 — радиоуглеродные датировки, 9 — диатомовые зоны

в среднем 100 видов на образец. Среди планктонных диатомей доминируют *Aulacoseira nivaloides*, *A. subarctica* и *A. valida*. Реконструируемые значения pH среды максимальны по разрезу.

DZ-4 охватывает несколько слоев сапропеля, различающихся цветом, характером слоистости и включений: 8.30–7.70 м — диатомовый ил палевоый неслоистый; 7.70–7.57 м — сапропель серый, слоистость по цвету, слабо наклонная; 7.57–~6.90 м — сапропель светло-бурый с большим количеством растительных волокон, слоистость субгоризонтальная и слабо наклонная. Содержание диатомей в отложениях высокое, 250–400 млн ств./г, видовое разнообразие также высокое — 100–150 таксонов на образец. Также как и в DZ-3, доминируют виды рода *Pseudostaurosira*. Среди субдоминантов отмечены *Psammothidium levanderi*, *P. curtissimum*, *Rossithidium pusillum* и *Achnanthidium minutissimum* agg. В составе планктонной группы диатомей, составляющей от 6 до 16.5%, появляется и становится доминантом *Aulacoseira alpigena*.

DZ-5, также как и DZ-4, охватывает несколько слоев: ~6.90–6.35 м — сапропель светло-бурый с большим количеством растительных волокон; 6.35–5.97 м — торф. Концентра-

ция — 42 вида, преимущественно с грубым панцирем. Сохранность диатомей плохая, много обломков створок. Состав диатомей в наибольшей степени отличен от состава диатомовых ассоциаций других зон, что, возможно, связано с выборочным сохранением диатомей в отложениях. Доминируют виды-образатели: *Gomphonema* spp., *Staurosirella ovata*, *Pseudostaurosira* spp., *Didymosphenia geminata*. Планктонные виды составляют только 6% всех створок и представлены преимущественно *Aulacoseira subarctica*. Реконструируется уменьшение значений pH и увеличение содержания общего фосфора.

DZ-3 соответствует светло-серому диатомовому илу с тонкой горизонтальной слоистостью в диапазоне глубин 9.4–8.3 м. Для нижней части зоны характерно резкое увеличение концентрации диатомей в отложениях (с 70 млн до 2.4 млрд ств./г) за счет массового развития мелких форм класса *Fragilariophyceae*, прежде всего *Pseudostaurosira* spp., составляющих 48–64% диатомовых ассоциаций, а также *Stauroforma exiguiformis* и *Staurosirella pinnata* agg. Таксономическое разнообразие также существенно увеличивается, составляя в

Данные радиоуглеродного датирования и калиброванный возраст донных отложений оз. Щучье

№ и координаты скважины	Глубина отбора, м от уреза воды	Материал	Лабораторный номер	Радиоуглеродный (^{14}C) возраст, лет	Календарный возраст, лет (Cal. BP)
Скважина 1 67°50.339' с. ш. 33°40.283' в. д.	745–755	сапропель	ИГАН-3532	4470±110	5026–5292*
Скважина 2 67°50.294' с. ш. 33°40.166' в. д.	315–322	сапропель	ЛУ-6715	2070±70	2050±90**
	480–489	сапропель опесчаненный	ЛУ-6719	2040±90	2020±110**
	605–612	сапропель	ЛУ-6717	4010±130	4510±210**
	650–657	сапропель оторфованный	ЛУ-6718	3810±120	4210±170**
	725–732	сапропель	ЛУ-6713	4280±130	4860±210**
	770–777		ЛУ-6716	3400±130	3670±160**
	807–815		ЛУ-6714	5510±180	6290±210**

* значения получены с помощью калибровочной программы CALIB, <http://calib.org/calib/>

** значения получены с помощью калибровочной программы CalPal, www.calpal.de

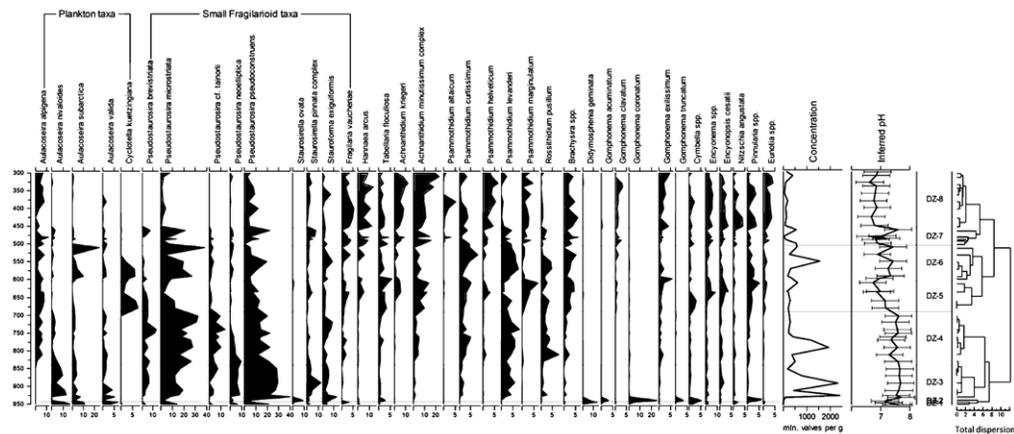


Рис. 2. Диатомовая диаграмма разреза донных отложений оз. Щучье, Хибины, Кольский п-ов

ция диатомей составляет 200–300 млн ств./г., таксономическое разнообразие максимально по разрезу. Основа диатомовых ассоциаций — *Pseudostaurosira* spp., *Psammothidium* spp., *Achnanthisidium minutissimum* agg., *Auloseira alpigena* и *Cyclotella kuetzingiana*. В составе субдоминантов появляются характерные для дистрофных озер виды *Brachysira* spp., *Tabellaria flocculosa*, *Pinnularia* spp. Это отражается в постепенном, но существенном снижении реконструируемых значений pH среды и содержания общего фосфора.

DZ-6 соотносится со слоем слоистого темно-оливкового оторфованного сапропеля в интервале глубин 5.97–~5.10 м. Концентрация створок диатомей в отложениях 300–500 млн ств./г, таксономическое разнообразие очень высокое, как и в предыдущей DZ-5. Видовой состав сходен с предыдущей зоной, однако состав планктонной группы диатомей более разнообразный: наряду с *Auloseira alpigena* и *Cyclotella kuetzingiana* при-

сутствуют *A. subarctica*, *A. valida* и *A. nivaloides*. Реконструируемые значения pH среды и содержания общего фосфора вновь возрастают, однако не достигают значений DZ-3 и DZ-4.

DZ-7 выделена в интервале глубин 5.10–4.55 м в слоистой толще оторфованных сапропелей и супесей, крупность отложений в целом увеличивается кверху. Видовое разнообразие по-прежнему высокое, 150 таксонов/образец, концентрация створок диатомей в отложениях несколько снижается и в среднем составляет 270 млн ств./г. Доминируют *Pseudostaurosira* spp, *Achnanthydium* spp., *Psammothidium* spp., *Hannaea arcus*, в составе планктона — *A. alpigena* и *A. valida*. На глубине от 4.46 до 4.80 м (в разных скважинах) прослеживается четко выраженный прослой серого алевроита мощностью 6 см, в котором отмечен локальный минимум содержания и таксономического разнообразия диатомей (соответственно 16 млн ств./г и 89 таксонов/образец). При этом существенного изменения видового состава диатомей не происходит.

DZ-8 включает верхнюю часть донных отложений оз. Шучьего с глубины 4.55 м до 3.0 м, представленных чередованием прослоев и линз сапропеля, торфа и оторфованной супеси. Характерно снижение значений концентрации и таксономического разнообразия диатомей в отложениях до 140 млн ств./г и 135 таксонов/образец соответственно. Видовой состав достаточно однороден, несмотря на сложное фациальное строение верхней части разреза. Доминируют *Achnanthydium minutissimum* agg., *A. kriegei*, *Hannaea arcus*, значительно содержание видов, характерных для закисленных озер и болот: *Eunotia* spp., *Brachysira* spp., *Pinnularia* spp., *Gomphonema exilissimum* и др. По сравнению с нижележащими отложениями сильно обеднен состав планктонной группы диатомей, которая представлена почти исключительно *Aulacoseira alpigena*. Реконструируются минимальные по разрезу значения pH среды и содержание общего фосфора.

Обсуждение результатов

Состав диатомей DZ-1 свидетельствует о формировании отложений в водоеме со спокойным гидродинамическим режимом, слабощелочной реакцией среды и низкой продуктивностью — по всей видимости, в заливе оз. Гольцового. Близкие по составу и содержанию диатомей сизые глины описаны нами на западном побережье Умбозера, в основании разреза высокой озерной террасы (10–25 м над его уровнем) под 3.5-метровой толщей торфа и диатомового ила возрастом более 9 тыс. радиоуглеродных лет [8].

Уменьшение значений pH и увеличение содержания общего фосфора в DZ-2 может быть связано с большим притоком биогенных элементов с водосбора озера. Это, так же как низкие концентрация и видовое разнообразие диатомей, их плохая сохранность, преобладание грубопанцирных перифитонных видов, наличие переотложенных диатомей на границе DZ-1 и DZ-2 говорит о резкой смене условий осадко-накопления, интенсификации сноса с приозерных склонов и, вероятно, понижении уровня оз. Гольцового. О том, что он в начале голоцена был выше современного, свидетельствует и распространение вдоль берега озера террасы высотой до 1 м.

Переотложенные морские диатомей широко распространены в позднеледниковых отложениях Кольского п-ова, в частности отмечены в позднеледниковых озерных песках на восточном берегу оз. Имандра (ст. Хибинь, абс. высота около 125 м) и в алевроитах водно-ледникового генезиса в долине р. Вуоннемийок на абсолютной высоте около 270 м [9]. Морские отложения в центральной части Кольского п-ова относятся к микулинскому (эмскому) межледниковью (т. н. бореальной трансгрессии) и описаны у подножий Ловозерских тундр на высоте около 205 м [10]. Более поздние морские интерстадиальные отложения беломорской трансгрессии распространены вдоль побережья Кольского п-ова [11]. В центральной части п-ова отложения этого времени, описанные на перемычке между Ловозером и Сейдозером, имеют континентальный (озерно-ледниковый) генезис [12]. Таким образом, источником переотложенных морских диатомей, по-видимому, являются среднеплейстоценовые образования. Однако кровля достоверно описанных отложений ниже, чем содержащих переотложенные

створки. Вероятно, в результате движения ледников вверх по долинам Хибин, древние морские осадки были переработаны и включены в состав ледниковых и водно-ледниковых отложений, впоследствии размытых.

Доминирование мелких форм *Fragilaria sensu lato* (*Staurosira* spp., *Staurosirella* spp., *Pseudostaurosira* spp. и др.), отмеченное в DZ-3 и DZ-4, типично для озер Арктики и наблюдается в течение всего голоцена в озерах высоких широт с длительным ледоставом, лимитирующим освещение [13 и др.]. Южнее, в частности на Кольском п-ове и в Карелии, массовое развитие *Fragilaria sensu lato* характерно для пионерных послеледниковых озерных диатомовых сообществ [8, 14–16]. Несмотря на то, что эта группа диатомей обычно характеризуется как холодноводные алькалофильные виды, экологические предпочтения отдельных родов и видов несколько различаются [13]. Так, развитие *Staurosirella pinnata* происходило в более холодные периоды голоцена, а *Pseudostaurosira* spp. — в более теплые. Учитывая эти данные, можно предполагать более благоприятные температурные условия во время формирования отложений DZ-4 по сравнению с предыдущим периодом. Это предположение поддерживается общим увеличением таксономического разнообразия диатомей, появлением в составе субдоминантов *Achnanthyidium minutissimum* agg., являющего индикатором современной трансформации озерных экосистем высоких широт в ответ на климатические изменения в Арктике [17], а также изменением состава доминантов планктона. Характерные для DZ-3 *Aulacoseira subarctica* и *A. valida*, развивающиеся при перемешивании водной массы озер весной [18, 19], сменяются *A. alpigena*, которая начинает массово вегетировать позже других видов и имеет летне-осенний максимум численности [20].

Данные палинологического анализа [21, 22] и изучения палеокомплексов хирономид [23, 24] показывают, что ранний голоцен отличался теплыми и влажными условиями, средний — теплыми и засушливыми, а поздний — прохладными и влажными. При этом есть региональные особенности: в прибрежных частях Кольского п-ова температуры выше современных реконструируются уже на самых ранних этапах голоцена [22, 23], тогда как в Хибинах начало голоцена было прохладным, а затем происходит быстрый рост реконструируемых значений температуры июля [24]. Это может быть связано с особенностями дегляциации: более поздним таянием ледников в пределах горных массивов Хибин и Ловозер. В северных внутриконтинентальных районах Швеции и Финляндии также отмечается более позднее, чем в прибрежных районах, потепление в начале голоцена [25]. Оно находит отражение и в составе диатомовых ассоциаций отложений оз. Щучьего: изменении видового состава, в том числе планктона, и увеличении таксономического разнообразия от DZ-1 к DZ-4. Кроме того, на ранних этапах существования озера отмечается привнос большого количества терригенного материала, очевидно в результате эрозионного и селевого сноса с незакрепленных склонов в условиях разреженной растительности.

Появление в DZ-5 ацидофильных видов *Brachysira* spp., *Tabellaria flocculosa*, *Pinnularia* spp. и снижение реконструируемых значений pH среды, по-видимому, говорит о заболачивании водосбора озера. Формирование торфяника к юго-западу от оз. Щучьего началось, по нашим данным (5480 ± 80 , ГИН-13516) и данным Т. В. Вацаловой (7010 ± 50 , ГИН-3167 [26]), в атлантическое время. Эти тенденции, очевидно, имели региональный характер. Так, на основе большого количества радиоуглеродных датировок, данных ботанического и диатомового анализов, нами было ранее показано интенсивное зарастание и заболачивание небольших озер у восточного подножия Хибинского горного массива, осушение и облесение торфяников в середине голоцена, 8–5.5 л. н. [27]. В то же время оз. Щучье — по-прежнему залив оз. Гольцового, о чем говорит высокое таксономическое разнообразие и обилие диатомей, существенная доля планктонных видов, в том числе *Cyclotella kuetzingiana*. Виды рода *Cyclotella* характерны для крупных олиготрофных озер высоких широт и развиваются при устойчивой стратификации вод. Сдвиг состава диатомовых ассоциаций в сторону увеличения содержания *Cyclotella* spp. также отмечается в ответ на современное повышение температур в высоких широтах и увеличение продолжительности безледного периода [17, 28].

Палеогеографическая интерпретация данных диатомового анализа донных отложений оз. Щучье

DZ	Примерный календарный возраст, л. н.	Индикаторные виды	Характеристика водоема	Характеристика процессов на водосборе озера
DZ-8	0–2000	<i>Achnanthydium minutissimum</i> agg., <i>A. kriegeri</i> , <i>Hannaea arcus</i> , <i>Eunotia</i> spp., <i>Brachysira</i> spp., <i>Pinnularia</i> spp., <i>Gomphonema exilissimum</i>	Небольшой мелководный водоем со слабокислой реакцией среды	Современные склоновые процессы (солифлюкция, курумы, осыпи). эрозия, заболачивание, редкие и слабые водоснежные потоки
DZ-7	2000–2400	<i>Hannaea arcus</i> , <i>Aulacoseira alpigena</i> , <i>A. valida</i>	Нестабильные гидрологические условия, в результате накопления дельтовых отложений Кунийока формируется перемычка между озерами Гольцовое и Щучье	Активизация эрозионных и селевых процессов
DZ-6	2400–3600	<i>Aulacoseira subarctica</i> , <i>A. valida</i> , <i>A. nivaloides</i>	Увеличение значений pH среды и продуктивности в условиях похолодания	
DZ-5	3600–4700	<i>Aulacoseira alpigena</i> , <i>Cyclotella kuetzingiana</i> , <i>Brachysira</i> spp., <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Pinnularia</i> spp	Снижение значений pH среды	Заболачивание водосбора
DZ-4	4700–7300	<i>Aulacoseira alpigena</i> , <i>Achnanthydium minutissimum</i> agg., <i>Pseudostaurosira</i> spp.	Водоем со спокойным гидродинамическим режимом, слабощелочной реакцией среды и высокой продуктивностью, оптимальные по разрезу условия для развития диатомей	
DZ-3		<i>Pseudostaurosira</i> spp. <i>Staurosirella pinnata</i> agg. <i>Aulacoseira nivaloides</i> , <i>A. subarctica</i> , <i>A. valida</i>	Водоем со спокойным гидродинамическим режимом, слабощелочной реакцией среды и высокой продуктивностью	
DZ-2		<i>Gomphonema</i> spp., <i>Staurosirella ovata</i> , <i>Didymosphenia geminata</i>	Проточный режим, возможно понижение уровня водоема	Активизация эрозионных и селевых процессов
DZ-1		<i>Aulacoseira nivaloides</i> , <i>A. subarctica</i> , <i>A. valida</i> , <i>Pseudostaurosira</i> spp., переотложенные морские диатомеи	Водоем со спокойным гидродинамическим режимом, слабощелочной реакцией среды и низкой продуктивностью	

Комплекс признаков DZ-6 указывает на улучшение условий увлажнения и похолодание: увеличение доли планктонных видов, доли *Fragillaria sensu lato*, появление в составе планктона *A. subarctica* и *A. valida* и исчезновение *Cyclotella kuetzingiana*.

Колебания видового состава и реконструируемых значений pH и общего фосфора в DZ-7 могут быть связаны с нестабильными гидрологическими условиями. По-видимому, именно в этот период формируется перемычка между озерами Гольцовое и Щучье в результате накопления дельтовых отложений Кунийока и происходит постепенная изоляция оз. Щучьего. Четко выраженный прослой алеврита на глубине 4.8 м по составу диатомей не отличается от соседних горизонтов. Результаты кластерного анализа также показывают, что он вместе с ниже- и вышележащими слоями включается в DZ-7. По-видимому, этот прослой — свидетельство какого-то катастрофического события, обусловившего единовременное поступление в озеро большого количества тонкого терригенного материала. Очевидно, это не был склоновый материал, иначе в его составе присутствовал бы щебень.

Условия осадконакопления в DZ-8 в целом были близки к современным, соответствуя небольшому озеру со слабокислой реакцией среды, очевидно вследствие заболоченности его водосбора.

Выводы

Таким образом, анализ строения озерных отложений и сравнение с изученными разрезами голоценовых озерных и болотных отложений Хибин [24, 26, 27, 29 и др.] дают основания предполагать, что осадконакопление в оз. Щучьем началось в самом начале голоцена. Сложное строение донных отложений оз. Щучьего говорит о неоднократной смене условий осадконакопления (табл. 2), связанной с эволюцией природной среды, в том числе изменениями климата, характера растительности и интенсивности эрозионных и, возможно, селевых процессов на водосборе, изоляцией от оз. Гольцового, а также, вероятно, с катастрофическими процессами, обусловившими формирование четко выраженного прослоя терригенного материала в органогенных отложениях в верхней части разреза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романенко Ф. А., Лукашов А. А., Шилова О. С. Катастрофические гравитационные процессы на севере Европейской равнины и опыт их абсолютного датирования // Геоморфология. 2011. № 1. С. 87-94.
2. Николаева С. Б., Лаврова Н. Б., Денисов Д. Б., Толстобров Д. С. Следы катастрофических процессов в донных осадках озер западного побережья озера Бабинская Имандра (Кольский регион) // Изв. РГО. 2016. Т. 148. Вып. 4. С. 38-52.
3. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Л.: Наука, 1974. 403 с.
4. Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли — индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 243 с.
5. Juggins S. C2 Version 1.5 User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. Newcastle upon Tyne: Newcastle University, 2007. 73 p.
6. Grimm E. C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares // Computers & Geosciences. 1987. 13. P. 13-35.
7. Bennett K. D. 2008. psimpoll and pscomb. <http://chrono.qub.ac.uk>
8. Шилова О. С. Голоценовые диатомеи болот Кольского полуострова и Северо-Восточной Карелии. М.: МАКС Пресс, 2011. 177 с.
9. Каган Л. Я. Диатомовые водоросли Евро-Арктического региона. Аннотированная коллекция (древние и современные морские и пресноводные). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. 209 с.
10. Граве М. К., Евзеров В. Я. Основные этапы формирования рельефа и рыхлых отложений Ловозерских тундр // Четвертичные отложения и грунтовые воды Кольского п-ова. М.-Л. 1964. С. 5-15.
11. Корсакова О. П., Молодьков А. Н., Колька В. В. Геолого-стратиграфическая позиция верхнеплейстоценовых морских образований на юге Кольского полуострова (по геохронологическим и геологическим данным) // Докл. АН. 2004. Т. 398. № 2. С. 218-222.

12. *Егорова И. А., Лебедева П. М.* К характеристике межстадиальных отложений центральной части Кольского п-ова по данным спорово-пыльцевого анализа // Четвертичные отложения и грунтовые воды Кольского п-ова. М.-Л. 1964. С. 56-60.
13. *Podriska B. and Gajewski K.* Diatom community response to multiple scales of Holocene climate variability in a small lake on Victoria Island, NWT, Canada // *Quaternary Sci. Rev.* 2007. 26. P. 3179-3196.
14. *Snyder J. A., MacDonald G. M., Forman S. L., Tarasov G. A., and Mode W. N.* Postglacial climate and vegetation history, north-central Kola Peninsula, Russia: pollen and diatom records from Lake Yarnyshnoe-3 // *Boreas*. 2000. Vol. 29. P. 261-271.
15. *Grönlund T. and Kauppila T.* Holocene history of Lake Soldatskoje (Kola Peninsula) inferred from sedimentary diatom assemblages // *Boreas*. 2002. Vol. 31. P. 273-284.
16. *Solovieva N. and Jones V. J.* A multiproxy record of Holocene environmental changes in the central Kola Peninsula, northwest Russia // *J. Quaternary Sci.* 2002. Vol. 17. P. 303-318.
17. *Smol J. P., Wolfe A. P., Birks H. J. B., Douglas M. S., Jones V. J., Korhola A., Pienitz R., Rühland K., Sorvari S., Antoniadou D., Brooks S. J., Fallu M. A., Hughes M., Keatley B. E., Laing T. E., Michelutti N., Nazarova L., Nyman M., Paterson A. M., Perren B., Quinlan R., Rautio M., Saulnier-Talbot E., Siitonen S., Solovieva N., and Weckstrom J.* Climate-driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes // *PNAS*. 2005. Vol. 102. P. 4397-4402.
18. *Gibson C. E., Anderson N. J., and Haworth E. Y.* Aulacoseira subarctica: taxonomy, physiology, ecology and palaeoecology // *European Journal of Phycology*. 2003. 38:2. P. 83-101.
19. *Donk X.* Using diatoms to understand climate-nutrient interactions in Esthwaite Water, England: evidence from observational and palaeolimnological records. PhD Thesis. London, 2010. 228 p.
20. *Simola H., Hanski I., and Liukkonen M.* Stratigraphy, species richness and seasonal dynamics of plankton diatoms during 418 years in Lake Lovojärvi, South Finland // *Ann. Bot. Fennici*. 1990. 27. P. 241-259.
21. *Solovieva N., Tarasov P. E., and MacDonald G.* Quantitative reconstruction of Holocene climate from the Chuna Lake pollen record, Kola Peninsula, northwest Russia // *The Holocene*. 2005. Vol. 15 (1). P. 141-148.
22. *Sjöppa H., MacDonald G. M., Birks H. J. B., Gervais B. R., and Snyder J. A.* Late-Quaternary summer temperature changes in the North-European tree-line region // *Quaternary Res.* 2008. 69. P. 404-412.
23. *Ilyashuk E. A., Ilyashuk B. P., Hammarlund D., and Larocque I.* Holocene climatic and environmental changes inferred from midge records (Diptera: Chironomidae, Chaoboridae, Ceratopogonidae) at Lake Berkut, southern Kola Peninsula, Russia // *The Holocene*. 2005. Vol. 15 (6). P. 897-914.
24. *Ilyashuk E. A., Ilyashuk B. P., Kolka V. V., and Hammarlund D.* Holocene climate variability on the Kola Peninsula, Russian Subarctic, based on aquatic invertebrate records from lake sediments // *Quaternary Res.* 2013. 79. P. 350-361.
25. *Sjöppa H., Björne A. E., Telford R. J., Birks H. J. B., and Veski S.* Last nine-thousand years of temperature variability in northern Europe // *Climate of the Past*. 2009. 5. P. 523-535.
26. *Кременецкий К. В., Ващолова Т. В., Горячкин С. В., Черкинский Е. А., Сулержицкий Л. Д.* Динамика растительности и торфонакопления на западе Кольского полуострова в голоцене // *Бюл. МОИП. Отд. биол.* 1997. Т. 102. Вып. 3. С. 39-45.
27. *Олюнина О. С., Полякова Е. И., Романенко Ф. А.* Диатомовые ассоциации голоценовых отложений Кольского полуострова // Доклады АН. 2008. Т. 423. № 3. С. 370-374.
28. *Rühland K., Paterson A. W., and Smol J. P.* Hemispheric-scale patterns of climate-related shifts in planktonic diatoms from North American and European lakes // *Global Change Biology*. 2008. 14. P. 2740-2754.
29. *Денисов Д. Б.* Изменения комплексов диатомовых водорослей под влиянием природных и антропогенных факторов в озерно-речных системах Хибинского горного массива (Кольский полуостров). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб.: 2005. 27 с.

REFERENCES

1. Romanenko F. A., Lukashov A. A., and Shilova O. S. Catastrophic gravitational processes on the North of the European part of Russia and an attempt of their absolute age-dating. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2011. No 1. P. 87-94. (in Russ.)
2. Nikolaeva S. B., Lavrova N. B., Denisov D. B., and Tolstobrov D. S. Evidence of catastrophic processes in lake-bottom sediments of the Babinskaya Imandra western coast (Kola region). *Izv. RGO*. 2016. Vol. 148. Iss. 4. P. 38-52. (in Russ.)
3. *Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemye i sovremennye)* (Diatoms of the USSR (fossil and modern)). Vol. I. Leningrad: Nauka (Publ.), 1974. 403 p.
4. Davydova N. N. *Diatomovye vodorosli — indikatory prirodnykh usloviy vodoemov v golocene* (Diatoms as indicators of Holocene lake environments). Leningrad: Nauka (Publ.), 1985, 243 p.
5. Juggins S. C2 Version 1.5 User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. *Newcastle upon Tyne: Newcastle University*, 2007. 73 p.

6. Grimm E.C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*. 1987. No. 13. P. 13-35.
7. Bennett K.D. 2008. psimpoll and pscomb. <http://chrono.qub.ac.uk>
8. Shilova O.S. *Golocenoye diatomei bolot Kol'skogo poluostrova i Severo-Vostochnoj Karelii* (Holocene diatoms in peatbogs of Kola Peninsula and Northern Karelia). Moscow: MAKS Press (Publ.), 2011. 177 p.
9. Kagan L.Ja. *Diatomovye vodorosli Evro-Arkicheskogo regiona. Annotirovannaja kollekcija (drevnie i sovremennye morskije i presnovodnye)* (Diatoms of the Euro-Arctic Region. Annotated collection (Ancient and modern marine and freshwater)). Apatity: KSC RAS (Publ.), 2012. 209 p.
10. Grave M.K. and Evzerov V.Ja. Osnovnye etapy formirovanija rel'efa i ryhlyh otlozhenij Lovozerskih tundr, in *Chevertichnyje otlozhenija i gruntovye vody Kol'skogo p-ova* (Quaternary deposits and groundwater of Kola Peninsula). Moscow-Leningrad: 1964. P. 5-15.
11. Korsakova O.P., Molod'kov A.N., and Kol'ka V.V. Geological-stratigraphic position of Upper Pleistocene marine sediments in the Southern Kola Peninsula: evidence from geochronological and geological data. *Dok. Akad. Nauk*. 2004. Vol. 398. No. 7. P. 908-912. (in Russ.)
12. Egorova I.A. and Lebedeva R.M. K karakteristike mezhstadial'nyh otlozhenij central'noj chasti Kol'skogo p-ova po dannym sporovo-pyl'cevogo analiza, in *Chevertichnyje otlozhenija i gruntovye vody Kol'skogo p-ova* (Quaternary deposits and groundwater of Kola Peninsula). Moscow-Leningrad, 1964. P. 56-60.
13. Podritske B. and Gajewski K. Diatom community response to multiple scales of Holocene climate variability in a small lake on Victoria Island, NWT, Canada. *Quaternary Sci. Rev.* 2007. 26. P. 3179-3196.
14. Snyder J.A., MacDonald G.M., Forman S.L., Tarasov G.A., and Mode W.N. Postglacial climate and vegetation history, north-central Kola Peninsula, Russia: pollen and diatom records from Lake Yarnyshnoe-3. *Boreas*. 2000. Vol. 29. P. 261-271.
15. Grönlund T. and Kauppi T. Holocene history of Lake Soldatskoje (Kola Peninsula) inferred from sedimentary diatom assemblages. *Boreas*. 2002. Vol. 31. P. 273-284.
16. Solovieva N. and Jones V.J. A multiproxy record of Holocene environmental changes in the central Kola Peninsula, northwest Russia. *J. Quaternary Sci.* 2002. Vol. 17. P. 303-318.
17. Smol J.P., Wolfe A.P., Birks H.J.B., Douglas M.S., Jones V.J., Korhola A., Pienitz R., Rühland K., Sorvari S., Antoniadou D., Brooks S.J., Fallu M.A., Hughes M., Keatley B.E., Laing T.E., Mielert N., Nazarova L., Nyman M., Paterson A.M., Perren B., Quinlan R., Rautio M., Saulnier-Talbot E., Siitonen S., Solovieva N., and Weckstrom J. Climate-driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes. *PNAS*. 2005. 102. P. 4397-4402.
18. Gibson C.E., Anderson N.J., and Haworth E.Y. *Aulacoseira subarctica*: taxonomy, physiology, ecology and palaeoecology. *European Journal of Phycology*. 2003. 38:2. P. 83-101.
19. Donk X. Using diatoms to understand climate-nutrient interactions in Esthwaite Water, England: evidence from observational and palaeolimnological records. PhD Thesis. London, 2010. 228 p.
20. Simola H., Hanski I., and Liukkonen M. Stratigraphy, species richness and seasonal dynamics of plankton diatoms during 418 years in Lake Lovojärvi, South Finland. *Ann. Bot. Fennici*. 1990. 27. P. 241-259.
21. Solovieva N., Tarasov P.E., and MacDonald G. Quantitative reconstruction of Holocene climate from the Chuna Lake pollen record, Kola Peninsula, northwest Russia. *The Holocene*. 2005. Vol. 15 (1). P. 141-148.
22. Sjöppa H., MacDonald G.M., Birks H.J.B., Gervais B.R., and Snyder J.A. Late-Quaternary summer temperature changes in the North-European tree-line region. *Quaternary Res.* 2008. No. 69. P. 404-412.
23. Ilyashuk E.A., Ilyashuk B.P., Hammarlund D., and Larocque I. Holocene climatic and environmental changes inferred from midge records (Diptera: Chironomidae, Chaoboridae, Ceratopogonidae) at Lake Berkut, southern Kola Peninsula, Russia. *The Holocene*. 2005. Vol. 15 (6). P. 897-914.
24. Ilyashuk E.A., Ilyashuk B.P., Kolka V.V., and Hammarlund D. Holocene climate variability on the Kola Peninsula, Russian Subarctic, based on aquatic invertebrate records from lake sediments. *Quaternary Res.* 2013. 79. P. 350-361.
25. Sjöppa H., Björne A.E., Telford R.J., Birks H.J.B., and Veski S. Last nine-thousand years of temperature variability in northern Europe. *Climate of the Past*. 2009. 5. P. 523-535.
26. Kremeneckij K.V., Vashhalova T.V., Gorjachkin S.V., Cherkinskij E.A., and Sulerzhickij L.D. Dinamika rastitel'nosti i torfonakoplenija na zapade Kol'skogo poluostrova v golocene. *Bull. Mosk. Ob-va Ispyt. Prir. Otd. Biol.* 1997. Vol. 102. Iss. 3. P. 39-45. (in Russ.)
27. Olyunina O.S., Polyakova E.I., and Romanenko F.A. Diatom assemblages from Holocene sediments of the Kola Peninsula. *Dokl. Akad. Nauk*. 2008. Vol. 423A. No. 9. P. 1343-1347. (in Russ.)
28. Rühland K., Paterson A.W., and Smol J.P. Hemispheric-scale patterns of climate-related shifts in planktonic diatoms from North American and European lakes. *Global Change Biology*. 2008. 14. P. 2740-2754.
29. Denisov D.B. Izmnenija kompleksov diatomovyh vodoroslej pod vlijaniem prirodnyh i antropogennyh faktorov v ozerno-rechnyh sistemah Hibinskogo gornogo massiva (Kol'skij poluostrov) (Changes of complexes of diatoms under the influence of natural and anthropogenic factors in the lake — river systems of the Khibiny Mountains (Kola Peninsula)). PhD thesis. S.-Petersburg, 2005. 27 p.