

ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЯ

УДК 551.312:556.55

РАЗВИТИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА ТРИДЦАТКА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) В ГОЛОЦЕНЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

А. Л. Косова¹, Д. Б. Денисов¹, С. Б. Николаева²

¹ *Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты Мурманской обл., Россия*

² *Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты Мурманской обл., Россия*

Приводятся новые данные микропалеонтологического (диатомового) и литолого-стратиграфического изучения донных отложений озера Тридцатка, расположенного на Карельском берегу Кандалакшского залива (Мурманская область). По результатам диатомового анализа с учетом литологических и хронометрических данных установлены этапы формирования донных отложений, изучен таксономический состав и структура диатомовых комплексов, реконструирована историческая динамика развития экосистемы водоема в голоцене. Установлено, что на начальном этапе осадконакопление происходило в условиях приледникового пресноводного водоема, которые затем сменились морскими. Время полной изоляции бассейна от моря произошло 7060 ± 160 л. н. (кал.). Полученные данные свидетельствуют о быстром выведении бассейна из условий морской седиментации. Это четко отражается как в литологии осадков, так и в смене диатомовых комплексов. В настоящее время озеро представляет собой типичный субарктический олигогалобный водоем.

Ключевые слова: донные отложения; палеолимнология; диатомовые водоросли; литология; голоцен; Мурманская область.

A. L. Kosova, D. B. Denisov, S. B. Nikolaeva. THE HISTORY OF LAKE TRIDTSATKA (MURMANSK REGION) ECOSYSTEM DEVELOPMENT IN THE HOLOCENE BASED ON DIATOM SEDIMENT RECORDS

New data yielded by diatom and lithologic-stratigraphic study of sediments from Lake Tridtsatka, located on the Karelian Coast of the Gulf of Kandalaksha (Murmansk Region), are presented. Based on the results of diatom analysis, lithological and chronometric data, the stages of sedimentation were reconstructed, and the taxonomic composition and structure of diatom complexes were studied. Diatom-inferred ecosystem history in the Holocene was revealed. The initial stage of the sedimentation process occurred within a periglacial freshwater body, with the following change to marine conditions.

The lake became fully isolated from the sea at 7060 ± 160 years ago (cal.). The data obtained indicate a rapid isolation of the lake basin from the marine conditions of sedimentation. This is clearly reflected both in the sediment lithology, and in the change of diatom assemblages. Currently, the lake is a typical subarctic oligohalobic freshwater body.

Keywords: bottom sediments; paleolimnology; diatoms; lithology; Holocene; Murmansk Region.

Введение

Изучение состава и строения донных отложений (ДО) малых озер Кольского полуострова и Карелии, в том числе и на побережьях Кандакшского залива Белого моря, проводится на протяжении многих лет [Лаврова, 1960; Каган, 1975; Евзеров и др., 2007; Колька и др., 2012, 2013; Субетто и др., 2017]. Результаты палеолимонологических исследований способствуют получению данных для неотектонических и палеогеографических реконструкций и вносят свой вклад в понимание истории развития всего региона, служат основой для построения схем поднятия земной коры в позднеледниковье и голоцене и реконструкций перемещений береговой линии моря. Основные этапы развития водоемов на побережьях Белого моря в позднем плейстоцене и голоцене были отмечены в работах [Романенко, Шилова, 2012; Колька и др., 2015; Шелехова, Лаврова, 2017]. Одно из направлений исследований – изучение стратиграфии ДО озер, в разное время изолировавшихся от моря [Евзеров и др., 2007; Колька и др., 2012]. В этой связи особую актуальность приобретает реконструкция исторической динамики водных экосистем, последовательная смена гидролого-геохимических, батиметрических и температурных условий.

Целью исследования, представленного в настоящей работе, было выявление этапов формирования осадочной последовательности, образующейся в изолированных бассейнах карельского побережья Белого моря на примере малого водоема – озера Тридцатка, расположенного в районе пос. Зеленоборский (рис. 1), и установление палеогеографических и неотектонических особенностей в развитии разных частей беломорского побережья в голоцене. В основе исследований лежит комплексное изучение донных осадков, включающее диатомовый анализ, литологические и хронометрические (радиоуглеродный анализ) данные.

Материалы и методы

Материалом для анализа послужили ДО озера Тридцатка ($66^{\circ}47'129''N$, $32^{\circ}23'043''E$)

с абсолютной отметкой уреза воды 49,6 м, расположенного в 11 км западнее Карельского берега Белого моря (рис. 1). Исходный материал – керн, полученный в летний период в результате бурения донных отложений с катмарана с помощью поршневого бура. Длина трубки 1 м, диаметр 5 см. С глубины 6,5 м были отобраны осадки мощностью 1 м. Керны отобраны с перекрытием в несколько сантиметров. Непосредственно в поле выполнялось литологическое описание. Образцы для диатомового анализа отбирались в зонах керна, отличающихся типом седиментов (рис. 2, 3), процедура отбора и количество проб соответствовали стандартной общепринятой методике [Диатомовый..., 1949]. Наиболее подробно изучены осадки с глубины 712–703 см. Нижняя часть разреза с глубины 750–712 см изучена с интервалом 10 см, верхняя часть с глубины 703–657 см изучена с интервалом 10–20 см. Лабораторная обработка проб с целью извлечения створок диатомей из ДО проведена по схеме, используемой в Институте проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук (ИППЭС КНЦ РАН) [Косова и др., 2011]. Обработка проб включает комплекс последовательных этапов, целью которых является выделение створок диатомей из вмещающего материала (ДО) в максимально чистом виде для последующего заключения в постоянные препараты. Было проведено высушивание и прокалывание материала в муфельной печи при температуре $550^{\circ}C$, с последующим выдерживанием в крепких окислителях ($H_2O_2 + HNO_3$) в тефлоновых «бомбах» при температуре $140^{\circ}C$, что позволяет получить диатомовый материал высокой чистоты, с минимальным содержанием минеральных примесей и полным отсутствием органики.

Приготовление постоянных препаратов для световой микроскопии производилось по общепринятой методике [Диатомовый..., 1949; Давыдова, 1985]. В качестве оптической среды была использована анилин-формальдегидная смола А. А. Эльяшева ($n = 1,67–1,68$). Все обнаруженные в препаратах створки диатомовых водорослей определялись по возможности до внутривидовых таксономических

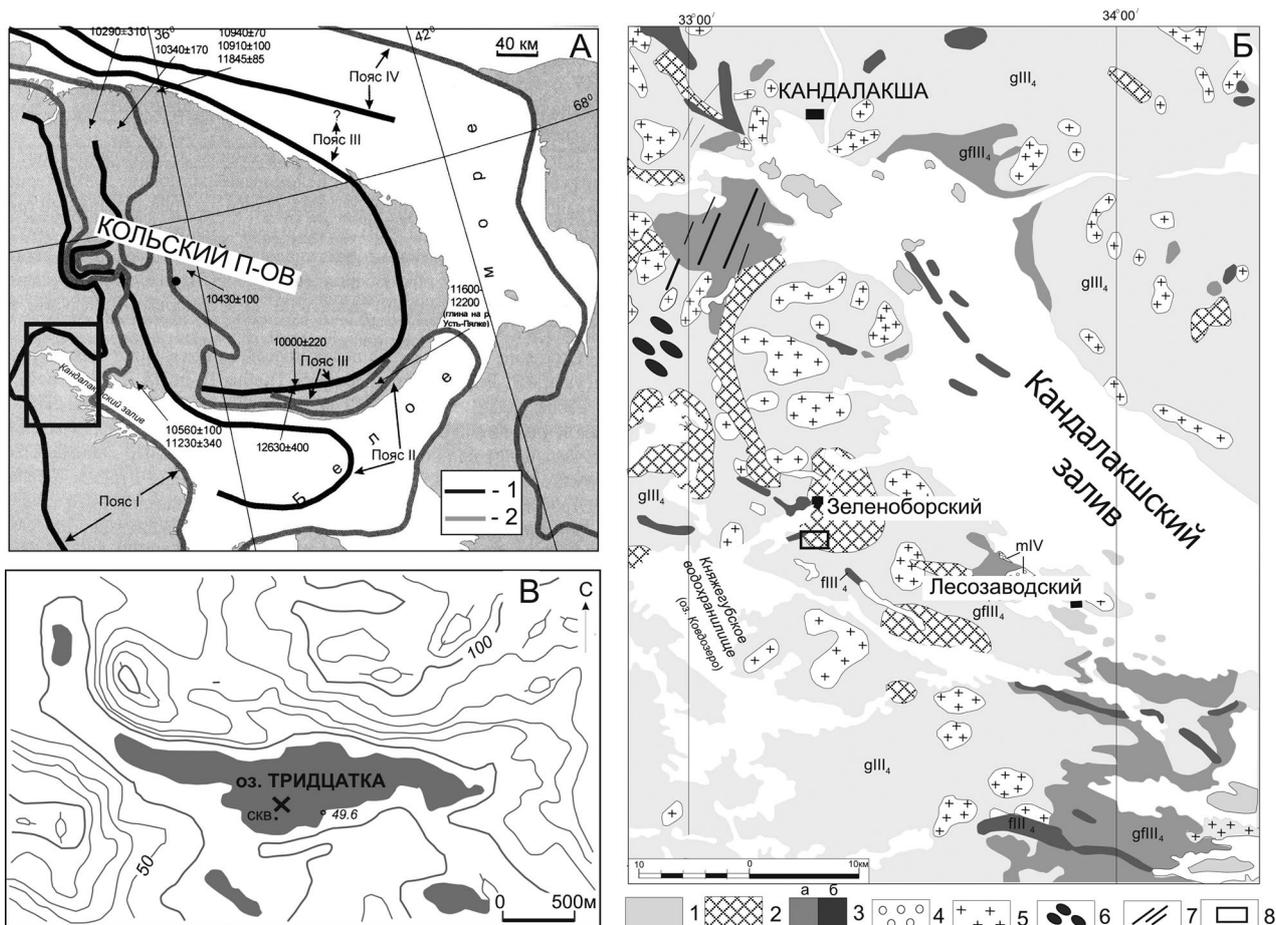


Рис. 1. Схема расположения района исследований в системе поясов поздневалдайского ледника в Беломорской котловине по: [Система..., 2010] (А), карта распространения четвертичных отложений по: [Niemelä, 1993] (Б) и местоположение озера Тридцатка (В).

А: Положение края активного льда (установленное и предполагаемое) во время: 1 – межстадиальных потеплений, 2 – стадияльных похолоданий;

Б: 1 – гравийно-песчаные морены; 2 – холмистые морены, 3 – песчано-гравийные отложения вне озера (а), озера, флювиогляциальные дельты (б), 4 – морские отложения, 5 – выходы дочетвертичных пород, 6 – друмлины, 7 – конечные морены, 8 – участок работ, показанный на рис. В;

В: 1 – горизонтали рельефа (проведены через 10 м), 2 – местоположение изученной озерной котловины

Fig. 1. The scheme of the research area location in the system of belts of the Late Valdai glacier in the White Sea basin according to [Systema..., 2010] (A), the map of the Quaternary deposits distribution according to [Niemelä, 1993] (Б) and (В) the Lake Tridtsatka location.

А: Position of the active ice edge (defined and presumed) in the periods of: 1 – interstadial warming, 2 – stadial cooling;

Б: 1 – gravel-sand moraines, 2 – hilly moraines, 3 – sand-gravel sediments outside the esker (a), eskers, fluvioglacial deltas (b), 4 – marine sediments, 5 – outputs of the pre-Quaternary rocks, 6-drumlins, 7 – terminal moraines, 8 – the research area shown in fig. B;

В: 1 – relief lines (10 m), 2 – the studied lake location

категорий. Экологическая характеристика видов диатомей приведена согласно источникам [Диатомовый..., 1949, 1950; Диатомовые..., 1974; Krammer, Lange-Bertalot, 1988–1991; An Atlas..., 1996; Krammer, 2000, 2002, 2003; Баринава и др., 2006; Каган, 2012; Демидова, 2013]. Номенклатуру приводили согласно международной альгологической базе данных [http://www.algaebase.org]. Подсчет и таксономическая идентификация диатомей осуществлялись с использованием световых микро-

скопов «Wild Leitz GmbH» (Type 020–507.010) и «Olympus CX 41» при увеличении в 1000 раз, с применением иммерсионного объектива. Радиоуглеродное датирование образца гиттии выполнено в лаборатории палеогеографии и геохронологии четвертичного периода факультета географии и геоэкологии СПбГУ в Санкт-Петербурге. Значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы «CalPal2007_HULU» Кельнского университета 2007 года [http://www.calpal.de].

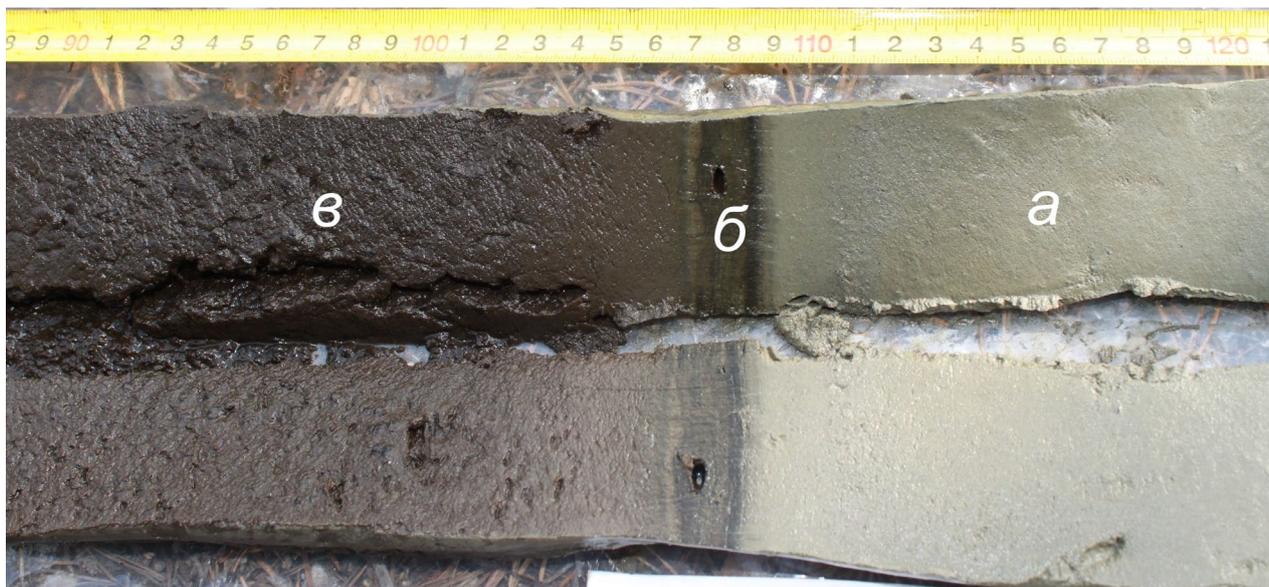


Рис. 3. Керн, разрезанный на две половины и иллюстрирующий резкий переход от морских алевритов и песков (а) к гиттии пресноводного озера (в) с маломощной переходной зоной (б)

Fig. 3. Sediment's core, cut into 2 halves and illustrating the abrupt transition from marine siltsand sands (а) to gyttja of a freshwater lake (в) with a thin transitional zone (б)

Краткая характеристика района исследований

Озеро Тридцатка расположено на карельском побережье Кандалакшского залива, ближе к его кутовой части. В геолого-структурном отношении эта территория находится в Беломорском подвижном поясе Фенноскандинавского щита и принадлежит позднеархейскому (Беломорскому) аллохтону, сложенному архейскими метавулканогенными осадочными образованиями. Породы представлены различными гнейсами беломорского комплекса и комплекса основания, а также интрузивными образованиями [Геологическая..., 2001].

Рыхлые отложения распределены по территории неравномерно и заполняют понижения и впадины. В строении осадков принимают участие в основном морены и флювиогляциальные отложения (рис. 1, Б). Озовые гряды и друмлины вытянуты с северо-запада на юго-восток, определяя направление движения основных лопастей ледникового покрова [Niemiälä, 1993]. Вблизи побережья залива развиты морские галечники, по речкам, впадающим в залив, – аллювиальные отложения.

Основные этапы деградации последнего ледникового покрова и формирование Белого моря в позднеледниковье и голоцене имеют свои особенности и обобщены в [Система..., 2010]. После распада Беломорской ледниковой лопасти глобальное похолодание в позднем плейстоцене вызвало вынужденные подвижки ледниково-

го края, известные как стадии сальпаусселькя I, II, III в Финляндии. На протяжении этого периода выделяются три похолодания климата, приведшие к наступлениям ледникового края и образованию этих стадий. Озеро Тридцатка находится между внутренним и внешним поясами краевых маргинальных образований пояса I, возраст которого оценивается в 11,2–10,5¹⁴C тыс. лет (рис. 1, А) [Евзеров, Николаева, 2000].

Озерная котловина расположена в эрозионно-тектонической депрессии коренного фундамента, в основании крутого субширотного уступа. Озеро вытянуто с запада на восток на 1,3 км при ширине от 50 до 200 м. Глубина озера в месте бурения скважины составляет 6,5 м. Сток озера осуществляется через ручей, а порог стока представлен коренными породами.

Результаты и обсуждение

Литологическое строение разреза донных отложений

Котловина озера выполнена следующими разновидностями донных осадков (номера слоев и их описание указаны сверху вниз от поверхности осадка) (рис. 2, 3).

Слой 1. 650–708 см – гиттия темно-коричневая, слабой консистенции, с шарообразными буровато-коричневыми включениями органического материала размером 0,1–0,15 см. Переход к подстилающему слою резкий, отчетливый.

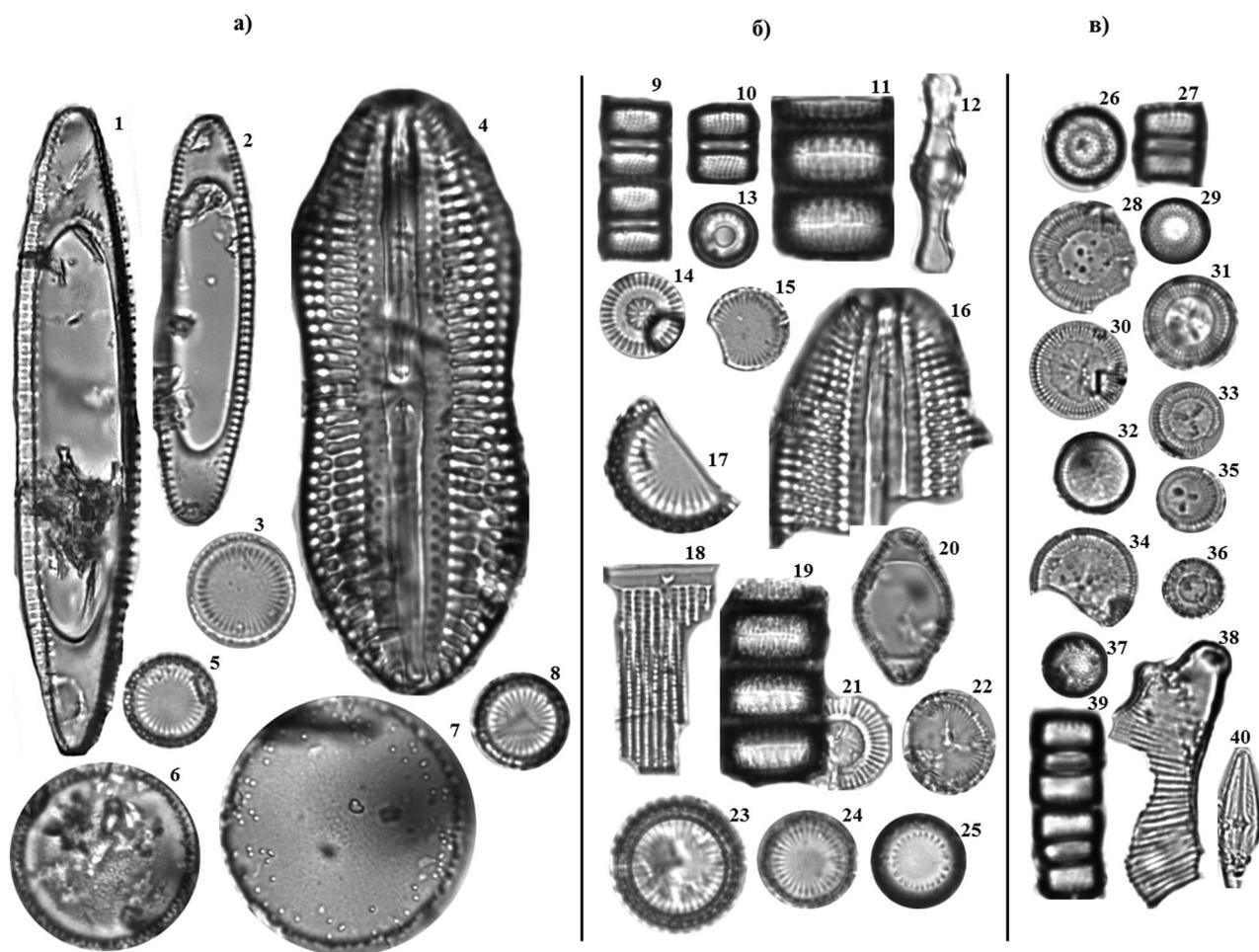


Рис. 4. Некоторые типичные представители диатомовых комплексов различных стадий развития озера Тридцатка: а) – морская, б) – переходная, в) – пресноводная:

1, 2 – *Rhabdonema arcuatum* (Lyngbye) Kützing; 3, 5, 8, 11, 15, 17, 19, 22–25 – *Paralia sulcata*; 4 – *Diploneis didyma* (Ehrb.) Cl.; 6 – *Hyalodiscus* sp.; 7 – *Porosira glacialis* (Grun.) Jørg.; 9, 10, 13, 26, 27, 29, 36, 37, 39 – *Aulacoseira alpigena*; 12 – *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz.; 14 – *Discostella stelligera*; 16 – *Diploneis* sp.; 18 – фрагмент створки; 20 – *Rhabdonema minutum*; 21 – *Cyclotella* sp.; 28, 30–34 – *Pantocsekiella rossii*; 35 – *Cyclotella ocellata* Pantocsek; 38 – *Eunotia serra* var. *diadema* (Ehrenberg) R. M. Patrick; 40 – *Brachysira brebissonii* R. Ross (линейка – 10 мкм)

Fig. 4. Some typical diatom species from different ecosystem stages of Lake Tridtsatka: а) – sea, б) – transitional, в) – freshwater:

1, 2 – *Rhabdonema arcuatum* (Lyngbye) Kützing; 3, 5, 8, 11, 15, 17, 19, 22–25 – *Paralia sulcata*; 4 – *Diploneis didyma* (Ehrb.) Cl.; 6 – *Hyalodiscus* sp.; 7 – *Porosira glacialis* (Grun.) Jørg.; 9, 10, 13, 26, 27, 29, 36, 37, 39 – *Aulacoseira aalpigena*; 12 – *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz.; 14 – *Discostella stelligera*; 16 – *Diploneis* sp.; 18 – diatom valve fragment; 20 – *Rhabdonema minutum*; 21 – *Cyclotella* sp.; 28, 30–34 – *Pantocsekiella rossii*; 35 – *Cyclotella ocellata* Pantocsek; 38 – *Eunotia serra* var. *diadema* (Ehrenberg) R. M. Patrick; 40 – *Brachysira brebissonii* R. Ross (scale – 10 microns)

Слой 2. 708–710 см – гиттия алевритистая, тонкослоистая (толщина слоев 3–9 мм) с чередованием слоев темного и светлого цвета. Переход к подстилающему слою резкий.

Слой 3. 710–738 см – алеврит с песком серый, светло-серый, обогащенный ракушняковым детритом, представленным тонкими пластинками белого цвета.

Слой 4. 738–750 см – алеврит с прослоями и линзами тонкозернистого песка, с зернами гравия и обломками пород (до 3,5 см в поперечном сечении).

Диатомовый анализ

Всего в изученных отложениях было обнаружено 123 вида из 37 родов (рис. 4). Значимые изменения видового состава и структуры диатомовых комплексов по разрезу позволили выделить четыре диатомовые зоны (ДЗ), которые подтверждаются результатами кластерного анализа, выполненного на основе соотношения относительной численности диатомей (рис. 2).

ДЗ1 (интервал 750–738 см). В образце из данного интервала на глубине 750–748 см

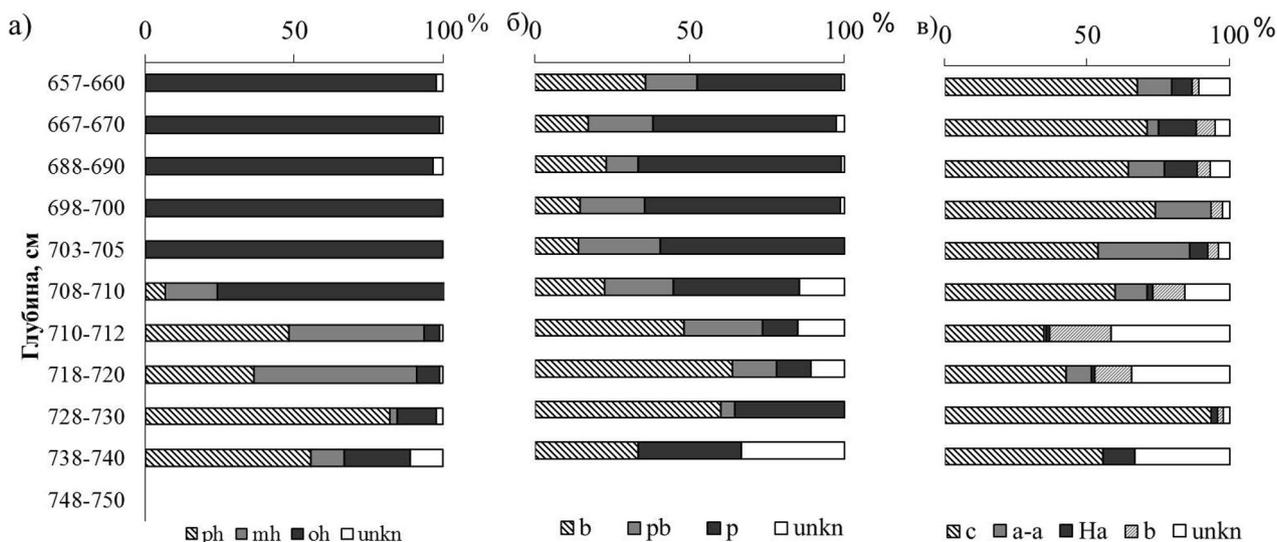


Рис. 5. Экологическая характеристика диатомовых комплексов в донных отложениях озера: а – соотношение видов по отношению к солености (ph – полигалобы, mh – мезогалобы, oh – олигогалобы, unkn – неизвестно); б – по отношению к местообитанию (b – бентосные, pb – планктонно-бентосные, p – планктонные, unkn – неизвестно); в – географическая приуроченность (c – космополиты, a-a – арктоальпийские, Ha – голарктические, b – бореальные, unkn – неизвестно)

Fig. 5. Ecological characteristics of diatom complexes in the lake sediments: а – the proportion of species in relation to salinity (ph – polyhalobous, mh – mesohaline, oh – oligohaline, unkn – unknown); б – in relation to the locality (b – benthic, pb – planktonic-benthic, p – planktonic, unkn – unknown); в – geographical coincidence (c – cosmopolitan, a-a – arctoalpine, Ha – Holarctic, b – boreal, unkn – unknown)

удалось обнаружить только спикулы губок. На глубине 740–738 см содержание диатомей предельно мало; единично были отмечены отдельные обломки створок морских и пресноводных видов, а также спикулы губок. В целом эти образцы можно считать немymi. Выше по разрезу численность диатомей незначительно возросла, выявлено присутствие морского сублиторального вида *Rhabdonema minutum* Kütz., а также пресноводного *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Kramm. Вероятно, этот период соответствует формированию отложений в условиях приледникового водоема, где сказывалось влияние морских вод, о чем свидетельствует плохая сохранность створок диатомей и присутствие в осадках морских видов наряду с пресноводными.

ДЗII (интервал 738–710 см) соответствует преимущественно морскому седиментогенезу. В составе диатомовых комплексов по численности преобладают северобореальные сублиторальные виды: *Paralia sulcata* (Ehrb.) Cleve, *Hyalodiscus scoticus* (Kütz.) Grun, *Rhabdonema minutum*, *Cocconeis scutellum* var. *scutellum* (Ehrb.), виды рода *Diploneis* (особенно характерные для песчаных отложений), *Achnanthes brevipes* var. *brevipes* Agardh и другие широко распространенные в опресненной литорали современных морей виды. В группе олигогалобов представлены *Aulacoseira alpigena*, *Dis-*

costella stelligera (Cleve & Grunow) Houk & Klee, *Pantocsekiella rossii* (H. Håkansson) K. T. Kiss & E. Ács. Единичное присутствие в отложениях этой зоны створок пресноводных диатомей указывает на некоторую гидрологическую связь исследуемого водного объекта с пресными водоемами. В данной зоне сумма солоноватоводных и морских видов составляет более 90%, из них полигалобы – 36–82,2%; мезогалобы – 2,2–55%; олигогалобов – 5–22% (рис. 5, а). Доля морских видов максимальна в интервале ДО 730–728 см (82,2%), выше по разрезу наблюдается сокращение и возрастание солоноватоводных видов, доля которых в интервале 720–718 см соответствует 54,9%. Концентрация створок диатомей увеличивается вверх по разрезу от 13,6 тыс. ств./г до 6,6 млн ств./г (рис. 2). Видовое богатство невелико и увеличивается от нижних слоев к верхним от 8 до 34 видов в образце. Основу диатомовых ассоциаций составляют бентосные виды (33,4–64,0%) и космополиты (43–93%). Увеличение доли бореальных и планктонно-бентосных форм (рис. 4, в) отмечается в интервале ДО 720–718 см за счет значимого роста обилия *Paralia sulcata* (25%). Этот вид является сублиторальным, тихопелагическим, населяет шельфовую зону морей, толерантен к абиотическим факторам среды и служит маркером смены условий в экосистеме. Рост численности *P. sulcata* ука-

зывает на процессы распреснения морских вод [Обрезкова и др., 2014].

ДЗIII (интервал 710–698 см). Интервал донных отложений (ДО) 710–708 см представлен осадками переходной зоны от морских к озерным условиям седиментации. На этом этапе развития водоема происходит резкая смена видового состава и структуры диатомовых комплексов. Исчезают типичные морские планктонные диатомеи – *Hyalodiscus scoticus*, резко уменьшается доля мезогалобных видов (*Paralia sulcata*, *Rhabdonema minutum*) наряду с увеличением численности пресноводных до 80 % (*Aulacoseira alpigena*; *A. pfaffiana* (Reinsch) Kramm; *Discostella stelligera*; *Pantocsekiella rossii*). Значительно увеличивается доля планктонных форм (41 %), что свидетельствует об увеличении водности водоема (рис. 5, б). Основную часть диатомовых ассоциаций составляют виды-космополиты – 65 %, доля бореальных видов уменьшается по сравнению с предыдущим интервалом ДО до 12,3 %, содержание арктоальпийских видов – 2,2 %. Для этой зоны характерны резкое увеличение концентрации диатомей в отложениях до 131,8 млн ств./г, видовое богатство диатомей максимальное для разреза, но в целом невысокое, 55 видов в образце (рис. 2). Отмечено появление цист хризофитовых водорослей, которые являются в основном пресноводными организмами. В ДО с глубины 705–703 см концентрация диатомей выше, чем в предыдущем интервале ДО, – 174,6 млн ств./г, но меньше их видовое богатство, 36 видов в образце. Полностью исчезли из состава диатомовых комплексов морские и мезогалобные формы, началось формирование пресноводных отложений (рис. 5, а). Основу диатомовых ассоциаций составляют планктонные виды (59 %). Доля бентосных форм минимальная для разреза (14 %). В этом интервале ДО отмечается максимальное для разреза содержание галобионтов (42 %). Выше по разрезу (глубина 700–698 см) продолжает увеличиваться доля планктонных диатомей (63,2 %), что указывает на увеличение объема воды и глубины озера в этот период по сравнению с предыдущими этапами. По отношению к солености доминирует группа индифферентов (65,8 %). Отмечено уменьшение доли галобионтов до 21 % и увеличение доли галофилов до 11,8 %. Концентрация диатомей и видовое обилие снижаются по сравнению с нижележащим интервалом ДО и соответствуют 109,1 млн ств./г и 23 видам в образце. Из осадочного разреза с глубины 708–700 см получена радиоуглеродная датировка, показавшая возраст 7060 ± 160 калиброванных лет назад (л. н. (кал.)) или 6140 ± 130 ¹⁴C (ЛУ-7574) (рис. 2).

ДЗIV (интервал 690–657 см). Продолжается развитие пресноводного водоема. Диатомовые комплексы этой зоны составлены преимущественно типичными пресноводными планктонными центрическими таксонами родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*, которые характерны для субарктических озер с низким уровнем минерализации. Вверх по разрезу отмечается уменьшение доли планктонных диатомей до 46,4 %, увеличение бентосных форм до 35,7 %, среди которых преобладают *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni, представители родов *Eunotia* и *Brachysira*. По отношению к pH среды преобладают индифференты (46–53 %), доля алкалофилов изменяется в диапазоне от 19 до 34 %. В интервале ДО 660–657 см возрастает доля ацидофилов (до 26,2 %). Это свидетельствует об уменьшении глубины водоема, зарастании его берегов и некотором заболачивании. По отношению к географической приуроченности преобладают космополиты (71 %) (рис. 5, в). В данной диатомовой зоне отмечается снижение концентрации створок до 62,4 млн ств./г. Видовое богатство низкое, 40 видов в образце (рис. 2).

Реконструкция этапов развития озера Тридцатка

Неоднократные изменения условий осадко-накопления отразились в литологии и диатомовых комплексах донных отложений оз. Тридцатка.

В результате предыдущих исследований было установлено, что стратифицированная толща донных осадков в озерах [Колька и др., 2005; Евзеров и др., 2007] представлена пятью основными типами осадков (фациями): приледникового пресноводного озера (ФI), бассейна, осолоняющегося за счет притока в пресное приледниковое озеро морской воды (ФII), морского водоема (ФIII), переходной зоны от морских к пресноводным (ФIV), пресноводного озера (ФV). Образование всех этих фаций обусловлено восходящими движениями земной коры, регрессией береговой линии моря и общей палеогеографической ситуацией в позднем плейстоцене и голоцене Беломорья. Литостратиграфический анализ донных отложений озера Тридцатка показал, что в разрезе отсутствует фация I и фациальная последовательность имеет вид II–III–IV–V.

В строении осадков обращают на себя внимание резкие границы между фациями III–IV и IV–V, что соответствует быстрой смене обстановок седиментации.

По данным диатомового анализа с учетом литологических и хронометрических (радиоуг-

леродного датирования) данных установлены основные этапы формирования ДО и условия осадконакопления в котловине озера Тридцатка.

На начальном этапе в этом районе существовал приледниковый водоем, в котором происходило накопление алевритов и песков. Диатомовый комплекс отличается содержанием единичных обломков морских видов *Trachyneis*, солоноватоводных *Rhabdonema minutum*, *Diploneis*, а также пресноводных *Aulacoseira alpigena*, *Pantocsekiella rossii*. Такой состав и малочисленность створок отражают слабо осолоненные условия седиментации осадков за счет притока в пресное приледниковое озеро морской воды. На втором этапе развития осадконакопления происходило в условиях мелководного морского залива, отложения в котором, вероятно, формировались в условиях активной гидродинамики, на что указывает наличие в ДО створок пелагического вида *Hyalodiscus scoticus* и мелких фрагментов раковин. Следующий этап характеризуется быстрой сменой морских условий на пресноводные. Об этом свидетельствует и малая мощность переходной зоны (рис. 3), и смена диатомовой флоры (рис. 2). В ДО переходной зоны наблюдается значительное изменение видового состава диатомовых комплексов и резкое снижение содержания поли- и мезогалобов. В составе диатомовых комплексов преобладают планктонные олигогалобы родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*, а представители рода *Fragilaria*, увеличение численности которых отмечается в ходе изоляции от морских бассейнов [Субетто и др., 2012; Корсакова и др., 2016; Шилова, Репкина, 2017], представлены единично. Виды рода *Cyclotella* характерны для крупных олиготрофных озер высоких широт и развиваются при устойчивой стратификации вод.

Следует отметить, такой состав диатомовой флоры в изученной озерной котловине свидетельствует об улучшении климатических условий в этот период [Ruhland et al., 2015]. 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 [Smol et al., 2005]. Концентрации и таксономическое разнообразие возрастают в связи с установлением более спокойных и благоприятных для развития диатомей условий. Лежащая выше толща осадков представлена темно-коричневой гиттией, в которой доминирующая роль полностью принадлежит диатомеям-олигогалобам (*A. alpigena*, *P. rossii*, *A. pfaffiana*). По ре-

зультатам радиоуглеродного датирования время полной изоляции бассейна от моря произошло 7060 ± 160 л. н. (кал.).

При изучении осадочной последовательности было установлено, что формирование переходной зоны (ФIV) происходило в глубоководных условиях, нехарактерных для других изолированных озер беломорского побережья [Колька и др., 2012; Корсакова и др., 2016]. Объяснением резкого изменения водности и быстрой смены седиментационной обстановки может быть быстрое поднятие континента и/или блоковые перемещения. О предполагаемом участии тектонической компоненты свидетельствуют и явные следы подновления уступа, в основании которого расположена озерная котловина, а также неотектоника всего Беломорья, где в последние годы обнаружены многочисленные проявления послеледниковой тектонической активности [Тарасов, Шлыкова, 2006; Рыбалко и др., 2011; Евзеров и др., 2016; Шварев, Никонов, 2017 и др.].

Подобный характер изменения диатомовой флоры был отмечен еще в одном водоеме Кольского региона, расположенном на западном побережье озера Бабинская Имандра [Николаева и др., 2015, 2016]. Резкую смену диатомовой флоры в ответ на увеличение водности в этом водоеме авторы связывают с катастрофическим событием, которое произошло приблизительно в то же время, что и в озере Тридцатка.

Полученные результаты были сопоставлены с данными исследований ДО озер, проводимых на карельском побережье Кандалакшского залива ранее [Колька и др., 2005, 2012; Корсакова и др., 2016]. Сопоставление этих данных на разных участках побережья позволило более полно реконструировать палеогеографические условия в период голоцена, а также уточнить характер миграции береговой линии на южном побережье Кандалакшского залива. Во всех разрезах отмечается несколько этапов формирования осадков, отражающих трансгрессивно-регрессивные циклы этого региона. При общих региональных построениях палеогеографические обстановки каждого конкретного участка обладают своими специфическими особенностями.

Для проведения более детального сопоставления был выбран один из близко расположенных к изучаемому объекту участков в районе поселка Лесозаводский (рис. 1). Предыдущими исследованиями в пределах этого участка было пробурено и изучено (в основном литологически, без данных спорово-пыльцевых анализов и приведения результатов диатомового анали-

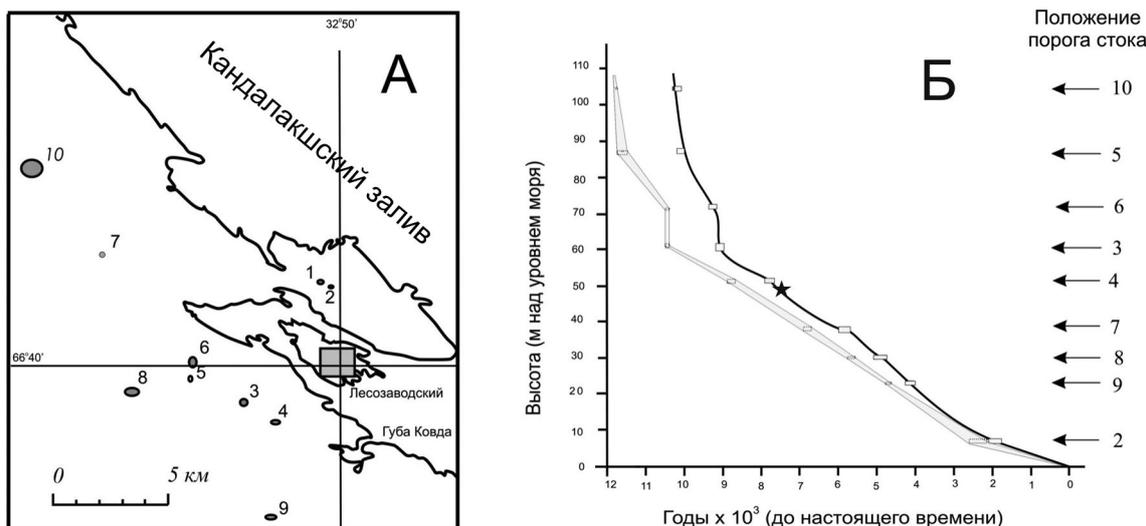


Рис. 6. Расположение изученных озерных котловин (А) и график относительного перемещения береговой линии моря на южном берегу Кандалакшского залива (район пос. Лесозаводский). Сплошная линия – для радиоуглеродного возраста, контур – для калиброванного возраста по: [Колька и др., 2005]. Звездочкой на графике показано расположение озера Тридцатка

Fig. 6. The location of the studied lakes (A) and the graph of the relative coastline movement on the southern coast of the Gulf of Kandalaksha (Lesozavodsky settlement area). Continuous line shows radiocarbon age, contour line – calibrated calendar age according to [Kolka et al., 2005]. The location of Lake Tridtsatka is shown by the asterisk

за) десять озер, расположенных на высотах от 3 до 104 м над уровнем моря (рис. 6, А) [Колька и др., 2005]. Эти озера находятся в депрессиях коренного фундамента, эродированных ледником, но значительно ближе к береговой линии Кандалакшского залива, чем изученная озерная котловина. Пороги стока представлены коренными породами, покрытыми слоем торфа различной мощности.

При изучении ДО была установлена как полная последовательность фаций I–II–III–IV–V, так и редуцированная. Для ДО пяти озерных котловин характерна регрессивная последовательность фаций III–IV–V [Колька и др., 2005]. Примечательным фактом является то, что в осадках четырех озер, так же как и в ДО озера Тридцатка, наблюдались резкие границы между отдельными фациями. Эти границы явно свидетельствуют о стратиграфическом несогласии, предположительно возникшем или в результате волновой деятельности, или вследствие тектонических процессов.

В ряде озер (2–9 на рис. 6, А) проведено радиоуглеродное датирование перехода от морских осадков к современным озерным и построен график относительного перемещения береговой линии (рис. 6, Б).

Согласно графику резкий подъем территории со скоростью 4–5 см/год происходил в интервале 10 000–9 000 л. н. В последующем,

начиная от 9 000 л. н., темпы поднятия замедляются (~1 см/год). Между 8 000 и 6 000 л. н. имело место незначительное замедление подъема территории, о чем свидетельствует выполаживание графика. В этом же временном интервале происходит и изоляция от моря озерной котловины Тридцатки и озер, расположенных на аналогичных высотных отметках. После 3 000 л. н. скорость поднятия снижается до 0,5 см/год.

Для сопоставления было выбрано озеро 4, литологическое изучение которого свидетельствует о близких условиях формирования осадков (рис. 6, А). Изоляция озера 4 от моря произошла 8 822 л. н. (кал.) (рис. 6, Б). Порог стока из озера 4 находится на отметке около 51,3 м, а из озера Тридцатка – 49,6 м. Переходная зона от морских осадков к пресноводным в колонке озера Тридцатка устанавливается по данным диатомового анализа и четко выраженной переходной зоне (рис. 2). Время изоляции озера от моря по этой зоне – 7 060 л. н. (кал.). То есть в озерной депрессии Тридцатки смена морских условий седиментации на озерные произошла примерно на 1 762 года раньше, чем в озерной депрессии 4, расположенной ближе к береговой линии залива. Эта разница во времени при изоляции озер, расположенных на близких высотных отметках, но на разных блоках [Атлас..., 1971; Земная..., 1978], предположительно,

могла быть связана с вертикальными блоковыми движениями, аналогично данным, полученным из района Чупы в Карелии [Колька и др., 2017]. Однако для подтверждения этого необходимы специальные исследования.

Заключение

Проведенные исследования в совокупности с данными предыдущих работ показывают, что осадочные последовательности в котловинах малых изолированных бассейнов Беломорья формируются в несколько этапов и в целом отражают региональные трансгрессивно-регрессивные циклы. В соответствии с ними на примере изученной озерной депрессии установлено четыре основных этапа формирования песчано-алевритистых кластогенных и органогенных осадков, отличающихся условиями формирования качества вод и процессами седиментогенеза. Это этапы приледникового водоема, морского водоема, изоляции котловины от основного бассейна, пресноводного современного озера.

На начальном этапе осадконакопление происходило в условиях приледникового пресноводного водоема, с неблагоприятными для диатомовой флоры условиями. Далее в пределы озерной котловины стали проникать морские воды, и в ней сформировался морской бассейн, на что указывает доминирование морских и солоноватоводных диатомей в донных отложениях озера Тридцатки. В осадках фации переходной зоны от морских отложений к пресноводным преобладают планктонные олигогалобы, характеризуя резкую смену условий осадконакопления в котловине и отражая изменение климатических условий в сторону потепления. Время полной изоляции бассейна от моря произошло примерно к середине атлантического периода. В нем установились благоприятные условия для развития разнообразной в видовом отношении диатомовой флоры, что выражено в значительном увеличении численности типичных пресноводных диатомей.

Результаты исследований позволили также определить некоторую тектоническую компоненту в общей палеогеографической обстановке изучаемой территории не только на рубеже позднего плейстоцена и начала голоцена, но и в среднем голоцене, и выявить ряд особенностей в формировании водоема. Одна из таких особенностей – формирование переходной зоны FIV в глубоководных условиях, нехарактерных для других изолированных озер беломорского побережья [Колька и др., 2012; Корсакова и др., 2016].

Авторы выражают искреннюю благодарность Л. Я. Каган за полезные консультации по диатомовому анализу, Х. А. Арсланову за радиоуглеродную датировку, Д. С. Толстоброву за помощь при полевых работах.

Литература

Атлас Мурманской области / Главное упр-е геодезии и картографии при Совете Министров СССР. НИГЭИ ЛГУ им. А. А. Жданова. М., 1971. 33 с.

Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Piles Studio, 2006. 498 с.

Геологическая карта Кольского региона. Масштаб 1:1 000 000 / Под ред. Ф. П. Митрофанова. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. 1 л.

Диатомовый анализ. Л.: Госгеолиздат, 1949. Кн. 1. 240 с.; кн. 2. 238 с.

Диатомовый анализ: Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Л.: Госгеолиздат, 1950. Кн. 3. 398 с.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1. Л.: Наука, 1974. 404 с.

Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.

Демидова С. В. Диатомовая флора муравинского межледниковья Беларуси. Минск: Экономпресс, 2013. 199 с.

Евзеров В. Я., Николаева С. Б. Пояса краевых ледниковых образований Кольского региона // Геоморфология. 2000. № 1. С. 61–73.

Евзеров В. Я., Колька В. В., Корсакова О. П. История развития морских бассейнов в Беломорской депрессии за последние 130 тысяч лет (состояние вопроса и перспективы исследований) // Бюл. Комиссии по изучению четвертич. периода. 2007. № 67. С. 54–66.

Евзеров В. Я., Виноградов А. Н., Николаева С. Б. Новейший этап развития Беломорской котловины // ДАН. 2016. Т. 471, № 4. С. 450–454.

Земная кора восточной части Балтийского щита / Ред. К. О. Кратц. Л.: Наука, 1978. 231 с.

Каган Л. Я. Комплексы диатомей морского плейстоцена Кольского полуострова (палеоэкология, стратиграфическое и палеогеографическое значение): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.; Апатиты, 1975. 30 с.

Каган Л. Я. Диатомовые водоросли Евро-Арктического региона: аннотированная коллекция (древние и современные морские и пресноводные). Апатиты: КНЦ РАН, 2012. 209 с.

Колька В. В., Евзеров В. Я., Мёллер Я. Й., Корнер Г. Д. Послеледниковые гляциоизостатические движения на северо-востоке Балтийского щита // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова: сборник статей / Ред. акад. Ф. П. Митрофанов. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 15–25.

Колька В. В., Корсакова О. П., Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б., Арсланов Х. А. Перемещение бере-

говой линии Белого моря и гляциоизостатическое поднятие суши в голоцене (район поселка Кузема, Северная Карелия) // ДАН. 2012. Т. 442, № 2. С. 263–267.

Колька В. В., Евзеров В. Я., Мёллер Я. Й., Корнер Д. Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене – голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Изв. РАН. 2013. № 1. С. 73–88.

Колька В. В., Корсакова О. П., Шелехова Т. С., Толстоброва А. Н. Восстановление относительного положения уровня Белого моря в позднеледниковье и голоцене по данным литологического, диатомового анализов и радиоуглеродного датирования донных отложений малых озер в районе пос. Чупа (Северная Карелия) // Вестн. МГТУ. 2015. Т. 18, № 2. С. 255–268.

Колька В. В., Корсакова О. П., Толстоброва А. Н., Толстобров Д. С., Вашков А. А. Дифференцированные движения морфотектонических блоков на побережье Белого моря (район пос. Чупа) // Геология морей и океанов: Мат-лы XXII Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии. Москва, 20–24 ноября 2017 г. Т. III. 2017. С. 194–197.

Корсакова О. П., Колька В. В., Толстоброва А. Н., Лаврова Н. Б., Толстобров Д. С., Шелехова Т. С. Литология и поздне-постледниковая стратиграфия донных отложений из котловин изолированных бассейнов побережья Белого моря (на примере малого озера из района поселка Чупа, Северная Карелия) // Стратиграфия, геологическая корреляция. 2016. Т. 24, № 3. С. 81–101.

Косова А. Л., Малышева М. Б., Денисов Д. Б. К методике камеральной обработки проб для диатомового анализа донных отложений // Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Мат-лы VII Всерос. совещания по изучению четвертичного периода (г. Апатиты, 12–17 сентября 2011 г.). В 2-х т. / РАН, Отд. наук о Земле, Комиссия по изуч. четвертич. периода, Геологический ин-т КНЦ РАН. Апатиты; СПб., 2011. Т. 1. (А – К). С. 294–295.

Лаврова М. А. Четвертичная геология Кольского полуострова. М.; Л.: АН СССР, 1960. 234 с.

Николаева С. Б., Лаврова Н. Б., Толстобров Д. С., Денисов Д. Б. Реконструкция палеогеографических обстановок голоцена в районе озера Имандра (Кольский регион): результаты палеолимнологических исследований // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 5. С. 34–47. doi: 10.17076/lim49

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.

Обрезкова М. С., Колесник А. Н., Семилетов И. П. Особенности распределения диатомей в поверхностных осадках морей Восточной Арктики России (на основе кластерного анализа) // Биология моря. 2014. Т. 40, № 5. С. 473–480.

Романенко Ф. А., Шилова О. С. Последнее поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анали-

зов озерно-болотных отложений п-ова Киндо // ДАН. 2012. Т. 442, № 4. С. 544–548.

Рыбалко А. Е., Токарев М. Ю., Федорова Н. К., Никитин М. А. Новые данные о геологии и геоморфологии Кандалакшского залива по материалам высокочастотного сейсмоакустического профилирования и геологического пробоотбора // Геология морей и океанов: Мат-лы XIX Междунар. конф. (школы) по морской геологии. М., 2011. Т. 5. С. 174–177.

Система Белого моря. Т. I. Природная среда водосбора Белого моря. М.: Научный мир, 2010. 480 с.

Субетто Д. А., Шевченко В. П., Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д., Сапелко Т. В., Лисицын А. П., Евзеров В. Я., ван Беек П. (P. van Beek), Суо М. (M. Souhaut), Субетто Г. Д. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. 2012. Т. 446, № 2. С. 183–190.

Субетто Д. А., Назарова Л. Б., Пестрякова Л. А., Сырых Л. С., Андроников А. В., Бискаборн Б., Дикманн Б., Кузнецов Д. Д., Сапелко Т. В., Греков И. М. Палеолимнологические исследования в российской части Северной Евразии: обзор // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24, № 4. С. 369–380.

Тарасов Г. А., Шлыкова В. В. Распределение мощностей четвертичных отложений и основные черты довалдайской поверхности бассейна Белого моря // ДАН. 2006. Т. 411, № 2. С. 226–230.

Шварев С. В., Никонов А. А. Морфоструктура Беломорского бассейна и эпицентры поздне- и послеледниковых и голоценовых землетрясений // Геология морей и океанов: Мат-лы XXII междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ИО РАН, 2017. С. 289–293.

Шилова О. С., Репкина Т. Ю. Диатомовые водоросли в донных осадках отделяющихся от моря водоемов побережья Кандалакшского залива Белого моря // Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря / ЗИН РАН. СПб., 2017. С. 260–262.

Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б. Динамика природной среды на Карельском берегу Белого моря (по микропалеонтологическим данным) // Изучение, рациональное использование и охрана ресурсов Белого моря / ЗИН РАН. СПб., 2017. С. 256–259.

An Atlas of British Diatoms / Ed. P. A. Sims. Bristol, 1996. 602 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Subwasserflora von Mitteleuropa. Vol. 2(1–4). Stuttgart/Jena: Gustav Fisher Verlag, 1988–1991.

Krammer K. The genus Pinnularia // In: H. Lange-Bertalot (ed.), Diatoms of Europe. 1. Vaduz: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2000. 703 p. Krammer K. Cymbella // In: H. Lange-Bertalot (ed.), Diatoms of Europe. 3. Ruggell: A. R. G. GantnerVerlag K. G., 2002. 584 p.

Krammer K. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocymbella // In: H. Lange-Bertalot (ed.), Diatoms of Europe, 4. Ruggell: A. R. G. GantnerVerlag K. G., 2003. 530 p.

Niemelä J., Ekman I., Lukascov A. Quaternary deposits of Finland and Northwestern part of Russian Federation and their resources. Scale 1:1 000 000. Espoo: Geological Survey of Finland, 1993.

Ruhland K. M., Paterson A. M., Smol J. P. Lake-diatom responses to warming: reviewing the evidence // *J. Paleolimnol.* 2015. Vol. 54(1). P. 1–35. doi: 10.1007/s10933-015-9837-3

Smol J. P., Wolfe A. P., Birks H. J. B., Douglas M. S. V., Jones V. J., Korhola A., Pienitz R., Rühland K., Sorvari S., Antoniades D., Brooks S. J., Falu M.-A., Hughes M., Keatley B. E., Laing T. E., Mi-

chelutti N., Nazarova L., Nyman M., Paterson A. M., Perren B., Quinlan R., Rautio M., Saulnier-Talbot E., Siitonen S., Solovieva N., Weckström J. Climate-driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes // *PNAS.* 2005. Vol. 102. P. 4397–4402.

Поступила в редакцию 09.04.2018

References

Atlas Murmanskoi oblasti [An Atlas of the Murmansk Region]. Glavnoe upr. geodezii i kartografii pri Sovete Ministrov SSSR. NIGEI LGU im. A. A. Zhdanova [Head office of geodesy and cartography, Council of Ministers of the USSR. SRGEI LSU n. a. A. A. Zhdanov]. Moscow, 1971. 33 p.

Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. Bioraznoobrazie vodoroslei – indikatorov okruzhayushchei sredy [Diversity of algal indicators in environmental assessment]. Tel-Aviv: Pilies Studio, 2006. 498 p.

Diatomovyi analiz [Diatom analysis]. Leningrad: Gosgeolizdat, 1949. B. 1. 240 p.; b. 2. 238 p.

Diatomovyi analiz: Opredelitel' iskopaemykh i sovremennykh diatomovykh vodoroslei [Diatom analysis: a Key to fossil and modern diatom algae]. Leningrad: Gosgeolizdat, 1950. B. 3. 398 p.

Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemye i sovremennyye) [Diatoms of the USSR (fossil and modern)]. Vol. 1. Leningrad: Nauka, 1974. 404 p.

Davydova N. N. Diatomovye vodorosli – indikatory prirodnykh uslovii vodoemov v golotsene [Diatoms – indicators of environmental conditions of water bodies in the Holocene]. Leningrad: Nauka, 1985. 244 p.

Demidova S. V. Diatomovaya flora muravinskogo mezhdnednikov'ya Belarusi [The diatom flora of the Mura-vian Interglacial of Belarus]. Minsk: Ekonompress, 2013. 199 p.

Evzerov V. Ya., Nikolaeva S. B. Poyasa kraevykh led-nikovykh obrazovaniy Kol'skogo regiona [Belts of marginal glacial formations of the Kola region]. *Geomorfologiya* [Geomorphology]. 2000. No. 1. P. 61–73.

Evzerov V. Ya., Kol'ka V. V., Korsakova O. P. Istoriya razvitiya morskikh basseinov v Belomorskoj depressii za poslednie 130 tysyach let (sostoyanie voprosa i perspektivy issledovaniy) [History of sea basins development in the White Sea depression over the last 130 000 years (current state of knowledge and research perspectives)]. *Byul. Komissii po izuch. chetvertich. perioda* [Bull. Commission for the Quaternary period study]. 2007. No. 67. P. 54–66.

Evzerov V. Ya., Vinogradov A. N., Nikolaeva S. B. Noveishii etap razvitiya Belomorskoj kotloviny [The latest stage in the development of the White Sea basin]. *DAN [Dokl. Earth Sciences]*. 2016. Vol. 471, no. 4. P. 450–454.

Geologicheskaya karta Kol'skogo regiona. Masshtab 1:1 000 000 [A geological map of the Kola region. Scale 1:1 000 000]. Apatity: KNC RAN, 2001. 1 l.

Kagan L. Ya. Kompleksy diatomei morskogo pleistotsena Kol'skogo poluostrova (paleoekologiya, stratigraficheskoe i paleogeograficheskoe znachenie) [Complexes of diatoms of marine Pleistocene

of the Kola Peninsula (paleoecology, stratigraphic and paleogeographic significance)]: Summary of PhD (Cand. of Geol.-Mineral.) thesis. Moscow; Apatity, 1975. 30 p.

Kagan L. Ya. Diatomovye vodorosli Evro-Arkticheskogo regiona: Annotirovannaya kolleksiya (drevnie i sovremennyye morskyye i presnovodnyye) [Diatoms of the Euro-Arctic region: An annotated collection (ancient and modern marine and freshwater)]. Apatity: KNC RAN, 2012. 209 p.

Kol'ka V. V., Evzerov V. Ya., Moller Ya. I., Korner G. D. Poslednikovyye glyatsioizostatische dvizheniya na severo-vostoke Baltiiskogo shchita [Post-glacial glacioisostatic movements in the North-East of the Baltic Shield]. *Novyye dannyye po geol. i poleznym iskopaemykh Kol'skogo poluostrova: sbornik statei* [New data on geology and mineral resources of the Kola Peninsula: a coll. of sci. papers]. Apatity: KNC RAN, 2005. P. 15–25.

Kol'ka V. V., Korsakova O. P., Shelekhova T. S., Lavrova N. B., Arslanov Kh. A. Peremeshchenie beregovoi linii Belogo morya i glyatsioizostatische podnyatie sushi v golotsene (raion poselka Kuzema, Severnaya Kareliya) [Translocation of the White Sea shoreline and glacioisostatic land uplift in the Holocene (Kuzema area, North Karelia)]. *DAN [Dokl. Earth Sciences]*. 2012. Vol. 442, no. 2. P. 263–267.

Kol'ka V. V., Evzerov V. Ya., Moller Ya. Y., Korner D. D. Peremeshchenie urovnya morya v pozdnem pleistotsene – golotsene i stratigrafiya donnykh osadkov izolirovannykh ozer na yuzhnom beregu Kol'skogo poluostrova, v raione poselka Umba [The late Weichselian and Holocene relative sea-level change and isolation basin stratigraphy at the Umba settlement, southern coast of the Kola Peninsula]. *Izv. RAN [Proceed. RAS. Geographical ser.]*. 2013. No. 1. P. 73–88.

Kol'ka V. V., Korsakova O. P., Shelekhova T. S., Tolstobrova A. N. Vosstanovlenie otnositel'nogo polozheniya urovnya Belogo morya v pozdnelednikov'e i golotsene po dannym litologicheskogo, diatomovogo analizov i radiouglerodnogo datirovaniya donnykh otlozheniy malykh ozer v raione pos. Chupa (Severnaya Kareliya) [Reconstruction of the relative level of the White Sea during the Late glacial – Holocene according to lithological, diatom analyses and radiocarbon dating of small lakes bottom sediments in the area of the Chupa settlement (North Karelia, Russia)]. *Vestn. MGTU.* 2015. Vol. 18, no. 2. P. 255–268.

Kol'ka V. V., Korsakova O. P., Tolstobrova A. N., Tolstobrov D. S., Vashkov A. A. Differentsirovannyye dvizheniya morfotektonicheskikh blokov na poberezh'e

Belogo morya (raion pos. Chupa) [Differentiated movements of morphotectonic blocks on the White Sea coast (Chupa area)]. *Geol. morei i okeanov*: Mat-ly XXII Mezhdunar. nauch. konf. (Shkoly) po morskoi geol. [Geol. of the seas and oceans: Proceed. XXII Int. Sci. Conf. (School) on marine geol.]. Moscow, November 20–24, 2017. Vol. III. 2017. P. 194–197.

Korsakova O. P., Kol'ka V. V., Tolstobrova A. N., Lavrova N. B., Tolstobrov D. S., Shelekhova T. S. Litologiya i pozdne-postlednikovaya stratigrafiya donnykh otlozhenii iz kotlovin izolirovannykh basseinov poberezh'ya Belogo morya (na primere malogo ozera iz raiona poselka Chupa, Severnaya Kareliya) [Lithology and late postglacial stratigraphy of bottom sediments in isolated basins of the White Sea coast exemplified by a small lake in the Chupa settlement area (Northern Karelia)]. *Stratigrafiya, geol. korrelyatsiya* [Stratigraphy and geol. correlation]. 2016. Vol. 24, no. 3. P. 81–101.

Kosova A. L., Malysheva M. B., Denisov D. B. K metodike kameral'noi obrabotki prob dlya diatomovogo analiza donnykh otlozhenii [On the methods of cameral treatment of samples for the diatom analysis of bottom sediments]. Kvarter vo vsem ego mnogoobrazii. Fundamental'nye probl., itogi izuch. i osnovnye napravleniya dal'neishikh issled.: Mat-ly VII Vseros. soveshch. po izuch. chetvertich. perioda (g. Apatity, 12–17 sentyabrya, 2011 g.). V 2-kh t. / RAN, Otd. nauk o Zemle, Komissiya po izuch. chetvertich. perioda, Geol. in-t KNTs RAN [The Quaternary in all its variety. Basic issues, results and major trends of further research. Proceed. VII All-Russ. Quaternary conf. (Apatity, Sept. 12–17, 2011). In 2 vol. RAS, Earth. Sci. Dep., Commission for the Quaternary study, Geol. Inst. KRS RAS]. Apatity; St. Petersburg, 2011. Vol. 1. (A–K). P. 294–295.

Lavrova M. A. Chetvertichnaya geologiya Kol'skogo poluostrova [Quaternary geology of the Kola Peninsula]. Leningrad: AN SSSR, 1960. 234 p.

Nikolaeva S. B., Lavrova N. B., Tolstobrov D. S., Denisov D. B. Rekonstruktsiya paleogeograficheskikh obstanovok golotsena v raione ozera Imandra (Kol'skii region): rezul'taty paleolimnologicheskikh issledovaniy [Reconstructions of Holocene paleogeographic conditions in the Lake Imandra area (Kola region): results of paleolimnological research]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2015. No. 5. P. 34–47. doi: 10.17076/lim49

Nikolaeva S. B., Lavrova N. B., Denisov D. B., Tolstobrov D. S. Sledy katastroficheskikh protsessov v donnykh osadkakh ozer zapadnogo poberezh'ya ozera Babinskaya Imandra (Kol'skii region) [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.

Obrezkova M. S., Kolesnik A. N., Semiletov I. P. Osobennosti raspredeleniya diatomei v poverkhnostnykh osadkakh morei Vostochnoi Arktiki Rossii (na osnove klasternogo analiza) [Peculiarities of diatoms distribution in surface sediments in the seas of the Eastern Arctic region of Russia]. *Biol. morya* [Marine Biol.]. 2014. Vol. 40, no. 5. P. 473–480.

Romanenko F. A., Shilova O. S. Poslednikovoe podnyatie Karel'skogo berega Belogo morya po dan-

nym radiouglerodnogo i diatomovogo analizov ozernobolotnykh otlozhenii p-ova Kindo [The postglacial uplift of the Karelian Coast of the White Sea according to radiocarbon and diatom analyses of lacustrine-boggy deposits of Kindo Peninsula]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2012. Vol. 442, no. 4. P. 544–548.

Rybalko A. E., Tokarev M. Yu., Fedorova N. K., Nikitin M. A. Novye dannye o geologii i geomorfologii Kandalakshskogo zaliva po materialam vysokochastotnogo seismoakusticheskogo profilirovaniya i geologicheskogo probotobora [New data on geology and geomorphology of Kandalaksha Bay based on high-frequency seismic-acoustic profiling and geological sampling]. *Geol. morei i okeanov*: Mat-ly XIX Mezhdunar. konf. (shkoly) po morskoi geol. [Geol. of seas and oceans: Proceed. XIX Int. conf. (school) on sea geol.]. Moscow, 2011. Vol. 5. P. 174–177.

Shelekhova T. S., Lavrova N. B. Dinamika prirodnoi sredy na Karel'skom beregu Belogo morya (po mikropaleontologicheskim dannym) [Dynamics of the natural environment on the Karelian coast of the White Sea (according to micropaleontological data)]. *Izuch., ratsional'noe ispol'z. i okhr. resursov Belogo morya* [Study, rational use and protection of the White Sea resources]. ZIN RAN. St. Petersburg, 2017. P. 256–259.

Shilova O. S., Repkina T. Yu. Diatomovye vodorosli v donnykh osadkakh otdelyayushchikhsya ot morya vodoemov poberezh'ya Kandalakshskogo zaliva Belogo morya [Diatoms in bottom sediments of water bodies separating from the sea water of the Kandalaksha Gulf of the White Sea]. *Izuch., ratsional'noe ispol'z. i okhr. resursov Belogo morya* [Study, rational use and protection of the White Sea resources]. ZIN RAN. St. Petersburg, 2017. P. 260–262.

Sistema Belogo morya. Prirodnaya sreda vodosbora Belogo morya [The system of the White Sea. Natural environment of the White Sea catchment]. Vol. 1. Moscow: Nauchnyi mir, 2010. 480 p.

Subetto D. A., Shevchenko V. P., Ludikova A. V., Kuznetsov D. D., Sapelko T. V., Lisitsyn A. P., Evzerov V. Ya., van Beek P., Suo M., Subetto G. D. Khronologiya izolyatsii ozer Solovetskogo arhipelaga i skorosti sovremennogo ozernogo osadkonakopleniya [The chronology of isolation of the Solovetsky Archipelago lakes and current rates of lake sedimentation]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2012. Vol. 446, no. 2. P. 183–190.

Subetto D. A., Nazarova L. B., Pestryakova L. A., Strykh L. S., Andronikov A. V., Biskaborn B., Dikmann B., Kuznetsov D. D., Sapelko T. V., Grekov I. M. Paleolimnologicheskie issledovaniya v rossiiskoi chasti Severnoi Evrazii: obzor [Paleolimnological studies in the Russian part of Northern Eurasia: a review]. *Sibirskii ekol. zhurn.* [Siberian Ecol. J.]. 2017. Vol. 24, no. 4. P. 369–380.

Shvarev S. V., Nikonov A. A. Morfostruktura Belomorskogo basseina i epitsentry pozdne- i poslelednikovykh i golotsenovykh zemletryasenii [The morphological structure of the White Sea basin and epicenters of late- and post-glacial and Holocene earthquakes]. *Geol. morei i okeanov*: Mat-ly XXII mezhdunar. nauch. konf. (shkoly) po morskoi geol. [Geol. of seas and oceans: Proceed. XXII Int. sci. conf. (school) on sea geol.]. Moscow: IORAN, 2017. Vol. III. P. 289–293.

Tarasov G. A., Shlykova V. V. Raspredelenie moshchnostei chetvertichnykh otlozhenii i osnovnye cherty dovaldaiskoi poverkhnosti basseina Belogo morya [Distribution of Quaternary sediments and main features to the Valdai surface of the White Sea basin]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2006. Vol. 411, no. 2. P. 226–230.

Zemnaya kora vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita [The Earth's crust of the eastern part of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1978. 231 p.

An Atlas of British Diatoms. Bristol, 1996. 602 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Subwasserflora von Mitteleuropa, Vol. 2(1–4). Stuttgart/Jena: Gustav Fisher Verlag, 1988–1991.

Krammer K. The genus *Pinnularia*. In: *H. Lange-Bertalot* (ed.). *Diatoms of Europe*. 1. Vaduz: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2000. 703 p.

Krammer K. *Cymbella*. In: *H. Lange-Bertalot* (ed.). *Diatoms of Europe*. 3. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2002. 584 p.

Krammer K. *Cymboplectra*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. In: *H. Lange-*

Bertalot (ed.). *Diatoms of Europe*, 4. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2003. 530 p.

Niemelä J., Ekman I., Lukascov A. Quaternary deposits of Finland and Northwestern part of Russian Federation and their resources. Scale 1:1 000 000. Espoo: Geological Survey of Finland, 1993.

Ruhland K. M., Paterson A. M., Smol J. P. Lake-diatom responses to warming: reviewing the evidence. *J. Paleolimnol.* 2015. P. 1–35. doi: 10.1007/s10933-015-9837-3.

Smol J. P., Wolfe A. P., Birks H. J. B., Douglas M. S. V., Jones V. J., Korhola A., Pienitz R., Rühland K., Sorvari S., Antoniades D., Brooks S. J., Falu 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., Weckström J. Climate-driven regime shifts in the biological communities of arctic lake. *PNAS*. 2005. Vol. 102. P. 4397–4402.

Received April 09, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Косова Анна Львовна

ведущий инженер

Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209

эл. почта: kosova@inep.ksc.ru

тел.: (81555) 79776

Денисов Дмитрий Борисович

старший научный сотрудник, к. б. н.

Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209

эл. почта: denisow@inep.ksc.ru

тел.: (81555) 79776

Николаева Светлана Борисовна

старший научный сотрудник, к. г.-м. н.

Геологический институт – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» Академгородок, 10а, Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209

эл. почта: nikolaeva@geoksc.apatity.ru

тел.: (81555) 79575

CONTRIBUTORS:

Kosova, Anna

Institute of North Industrial Ecology Problems – Subdivision of the Federal Research Center «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», 14a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia

e-mail: kosova@inep.ksc.ru

tel.: (81555) 79776

Denisov, Dmitry

Institute of North Industrial Ecology Problems – Subdivision of the Federal Research Center «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», 14a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia,

e-mail: denisow@inep.ksc.ru

tel.: (81555) 79776

Nikolaeva, Svetlana

Geological Institute – Subdivision of the Federal Research Center «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»

10a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia

e-mail: nikolaeva@geoksc.apatity.ru

tel.: (81555) 79575