

УДК 574.58

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАЛЫХ ЛЕДНИКОВЫХ СУБАРКТИЧЕСКИХ ОЗЕР (ХИБИНСКИЙ ГОРНЫЙ МАССИВ, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)**

**Д. Б. Денисов, С. А. Валькова, П. М. Терентьев, А. А. Черепанов**

*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты*

Для двух горных субарктических озер (759 и 812 м н. у. м., Хибинский горный массив) впервые проведена оценка современного состояния водосборного бассейна, составлены карты глубин и рельефа дна, получены данные о химическом составе вод и донных отложений, проведен комплекс гидробиологических исследований: фито- и зоопланктона, содержания хлорофиллов, зообентоса, фитоперифитона. Показано, что в водоемах не выражены последствия аэротехногенного загрязнения региона, они характеризуются олиготрофным трофическим статусом, низкой минерализацией, высоким содержанием кислорода и с успехом могут быть использованы как фоновые объекты в области нормирования антропогенной нагрузки и для оценки состояния загрязняемых водоемов Кольской Субарктики.

**Ключевые слова:** высокогорные субарктические озера, Хибины, фитопланктон, зоопланктон, бентос, фитоперифитон.

**D. B. Denisov, S. A. Val'kova, P. M. Terentjev, A. A. Cherepanov.  
ENVIRONMENTAL FEATURES OF SMALL SUBARCTIC GLACIAL LAKES  
(Khibiny Massif, Kola Peninsula)**

Two subarctic alpine glacial lakes, located at 759 and 812 m above sea level in the Khibiny massif, were investigated. An assessment of the current state of the catchment areas, depth and bottom topography, chemical composition of water and sediments, along with a set of hydrobiological studies of ecosystem components (phyto- and zooplankton, chlorophyll content, benthos, phytoperiphyton) has been made. No serious effects of environmental pollution have been detected in the lakes. The typical ecosystem features include oligotrophic status, low salinity and high oxygen content. The information obtained could be successfully used for regulating anthropogenic load and assessing polluted water bodies of the Kola Subarctic.

**Keywords:** subarctic alpine lakes, Khibiny, phytoplankton, zooplankton, benthos, phytoperiphyton.

### **Введение**

Малые горные субарктические водоемы являются уникальным источником экологической информации о состоянии окружающей природной среды, антропогенном загрязнении,

условиях формирования качества вод и широко используются в комплексном экологическом мониторинге и палеоэкологических исследованиях [Моисеенко и др., 1997б; Денисов, Терентьев, 2008; Денисов, 2011а, б]. С малой площадью водосбора, с преобладанием

атмосферного питания и коротким периодом открытой воды (вегетационным периодом), эти озера представляют собой удобные модельные объекты для оценки степени антропогенной трансформации условий развития экосистемы и являются источником данных о закономерностях развития биоты в экстремальных условиях. Преимуществом исследований малых горных водоемов является возможность получить репрезентативные данные даже в ходе однократного отбора проб, проведенного в межлетний период в конце гидробиологического лета.

В настоящей работе рассматриваются впервые полученные результаты изучения состояния экосистем высокогорных субальпийских водоемов на Кольском полуострове на примере озер Академическое и Тахтаръявр (Хибинский горный массив).

### Объекты и методы

Ландшафтные природно-территориальные комплексы Хибин, согласно системе физико-географического районирования, выделяются как особый район Западно-Кольской провинции, входящей в состав лесной зональной области Балтийской кристаллической страны. По своей структуре, компонентам (геологическое строение, рельеф, растительность, гидросеть) район относится к Хибинскому сложному

ландшафту средних гор, межгорных долин и предгорий. В пределах района исследований выражена высотная поясность и выделяются лесной, лесотундровый и тундровый пояса, в свою очередь расчленяемые в зависимости от типа растительных группировок и особенностей микрорельефа (крутизны склонов и теплообеспеченности) [Куплетский, 1928; Природные условия..., 1986; Шварев, 2003].

**Оз. Академическое** (67°44'37.76" с. ш., 33°42'47.96" в. д.) расположено в центре Хибинского горного массива на высоте 759,4 м н. у. м. (рис. 1), площадь озера 0,2 км<sup>2</sup>, водосбора – 2,1 км<sup>2</sup>, средняя глубина 10 м, максимальная – 18,5 м.

Питание водоема осуществляется за счет снежников, присутствующих в цирке в течение всего июля, а также атмосферных осадков. Судя по мощности и площади снежников, в отдельные годы они могут сохраняться в течение всего лета. Не исключается возможность подземного питания. Из озера берет начало один из притоков р. Каскаснюйок, вся система принадлежит бассейну оз. Умбозеро. Почвенный покров на водосборе оз. Академического выражен слабо; растительность характеризуется преобладанием лишайников рода *Certaria*, среди кустарничков встречаются *Betula nana*, представители семейств *Vacciniaceae*, *Superaceae* и другие типичные растения высокогорной тундры. Склоны ледникового цирка

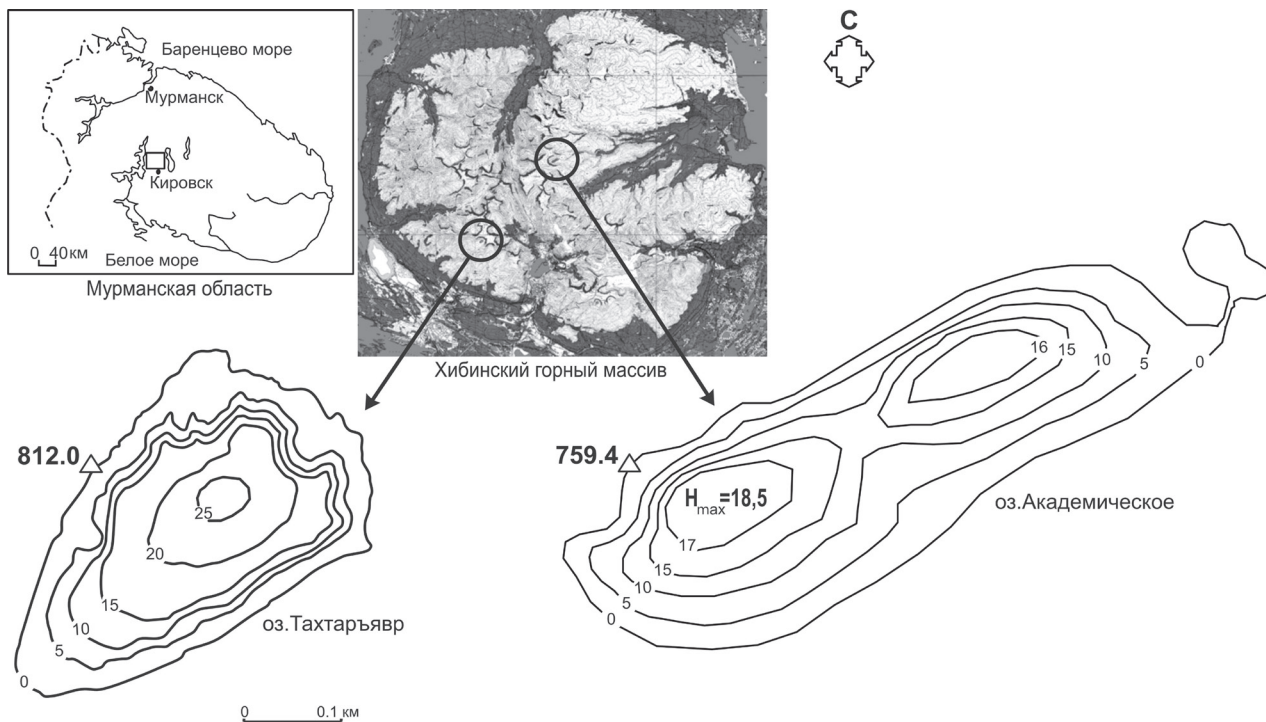


Рис. 1. Карта-схема расположения водоемов и батиметрия оз. Академическое и Тахтаръявр

крутые, с каменистыми осыпями, скальными выступами, трещинами. Дно водоема каменистое, сравнительно мелководная (0,5–2 м) литоральная зона переходит в чашу озера с крутыми склонами (5–8 м) до глубин 10–15 м. Вода характеризуется высокой прозрачностью (до 15 м) и голубым цветом. Летом в озере устанавливается температурная стратификация. Температура у поверхности летом может прогреваться до 16,8 °С, у дна – до 10,6 °С.

Прямое антропогенное воздействие на водоем в настоящее время не оказывается, рекреационная нагрузка также, по-видимому, незначительна. Доминирование атмосферного питания озера определяет зависимость химического состава вод от аэротехногенных загрязнителей.

**Оз. Тахтаръявр** (67°39'37,91" с. ш., 33°30'49,54" в. д.) находится в юго-западной части Хибинского горного массива на высоте 812 м н. у. м. Водоем расположен в ледниковом цирке с крутыми скальными склонами (уклон стен до 45–60°), которыми практически ограничивается водосборный бассейн. Площадь зеркала 0,11 км<sup>2</sup>, водосбора – 1,22 км<sup>2</sup>. Озеро имеет яйцевидную форму, максимальная длина озера – 0,54 км, ширина – 0,31 км.

Питание осуществляется за счет атмосферных осадков и таяния снежников, в северной части в озеро впадают несколько ручьев, которые, очевидно, не всегда пересыхают в меженный период и являются практически постоянными. Водосборный бассейн сложен скальными осыпями, курумниками, валунами и имеет выраженные следы ледниковой деятельности. В юго-западной части расположен еще один маленький водоем, по-видимому, связанный с оз. Тахтаръявр подземным стоком. Сам водоем поверхностного стока не имеет, и сброс бассейна осуществляется непосредственно под грядями курумников в юго-западной части озера, откуда начинается долина реки, впадающей в р. Белую и затем – в оз. Имандра. Почвенный покров и растительность на водосборе выражены крайне слабо; представлены типичные обитатели арктических пустынь и горных плато. Большая часть растительности приурочена к южной и юго-западной части приозерной низменности, здесь представлены некоторые виды сем. Сурегасеае, а также многочисленные лишайники. Древесная и кустарничковая растительность практически полностью отсутствует, за исключением карликовых форм ивы, встречающихся единично.

Озеро характеризуется значительными глубинами – до 25 м, расположенными в северо-западной части (см. рис. 1). Вода в озере

насыщенного голубого цвета, с высокой прозрачностью (до 15 м), температура поверхности в августе около 13, у дна – 9,4 °С. Литораль каменистая, ступенчато переходящая в чашу озера. Обрастания на литорали полностью отсутствуют. Судя по структуре литоральной зоны, озеро характеризуется сильно выраженной динамикой уровня воды (предположительно 1–2 м), что, очевидно, связано с особенностями питания и характером стока.

В ходе проведения работ были исследованы глубины озер посредством эхолота «JJ-Connect fisherman-120», точки отбора проб и измерения глубин фиксировались системой навигации GPS на базе КПК «Fujitsu Siemens pocket LOOX 520». Всего на акватории оз. Академического произведено 35 замеров глубин, оз. Тахтаръявр – 28 замеров; на основании полученных данных составлены батиметрические карты (см. рис. 1).

Гидрохимический анализ проб воды и содержания химических элементов в донных отложениях (ДО) выполнен в аккредитованной химико-аналитической лаборатории ИППЭС КНЦ РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.517 126) в соответствии с международным стандартом [Standard method..., 1975; Руководство..., 1977].

Для определения концентрации хлорофиллов были отобраны пробы в центральной части озера из поверхностных (0–1 м) и глубоких (10–15 м) интервалов водного столба, соответствующих фотическому слою. Отбор проводился в пластиковые бутылки (объемом 1 и 2 л), по одной на каждый интервал. Пробы фильтровались через мембранный фильтр с диаметром пор 0,47 мкм. Экстракция хлорофиллов проводилась раствором ацетона (90 %), оптическая плотность экстрактов измерялась на спектрофотометре «Hitachi UV-VIS 181». Концентрация хлорофиллов рассчитывалась стандартными общепринятыми методами, описанными ранее [Jeffrey, Humphrey, 1975; Шаров, 2004; Кашулин и др., 2008].

Колонки ДО были получены с помощью пробоотборника открытого гравитационного типа (внутренний диаметр трубки 44 мм) с автоматически закрывающейся диафрагмой [Skogheim, 1979] и ненарушенными транспортировались в лабораторию для дальнейших анализов. Определение содержания элементов в ДО проводилось по методике, разработанной И. В. Родюшкиным [1995], с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра (AAS-30, Perkin-Elmer) в воздушно-пропановом (Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, Mn, Fe, Na, K), воздушно-ацетиленовом (Mg, Ca) и закись азота-ацетиленовом (Al) пламени. Определялись потери

при прокаливании как косвенный показатель содержания органического вещества.

Отбор проб фито- и зоопланктона осуществлялся стандартным батометром Руттнера с использованием планктонной сети Джеди (сито № 77) в центральной части озер, с интервалов глубин 0–2, 2–5, 5–10 и 10–20 м, если позволяла глубина водоема. Качественные пробы были получены путем однократного протягивания сети через столб воды от 1 м над дном до поверхности. Таким образом, из каждого озера было отобрано по четыре пробы фитопланктона и четыре – зоопланктона. Фиксация планктонных проб была проведена раствором формалина или Люголя.

Отбор проб фитоперифитона был произведен вдоль береговой линии в литоральной зоне озер с глубины до 1 м. В оз. Академическом посредством драги дополнительно были отобраны пробы водных мохообразных с глубины 10 м, для анализа населяющих их альгоценозов. Всего было отобрано четыре пробы на литорали и две – с глубины 10 м. В оз. Тахтаръявр обрастания обнаружены не были. Пробы фитоперифитона по возможности анализировались в нефиксированном состоянии, в случае необходимости фиксация проводилась раствором формалина или Люголя.

Таксономическая принадлежность и подсчет водорослей осуществлялись во временных и постоянных препаратах с использованием микроскопов Leitz Biomed Tipe 020–507.010, Motic BMA-300 и Carl Zeitz Jena NU 2E при увеличении до 1000X с применением иммерсионного объектива. При определении видовой принадлежности водорослей и их экологических характеристик использовались различные литературные источники [Hustedt, 1939; Диатомовый анализ, 1949; Диатомовые водоросли СССР, 1974; Определитель..., 1982; Battarbee, 1986; Tikkanen, 1986; Krammer, Lange-Bertalot, 1988–1991; Баринова, Медведева, 1996; Лосева, 2000; Баринова и др., 2006]. Видовое разнообразие оценивалось индексом Шеннона–Уивера [Shannon, Weaver, 1949]. Биомасса водорослей планктона была рассчитана исходя из индивидуальных объемов клеток [Кузьмин, 1984]. При достаточном количестве сапробионтов в водорослевых сообществах рассчитывался индекс сапробности (S) и проводилась оценка качества вод [Баринова, 2006; Сладечек, 1967].

Отбор проб зообентоса осуществлялся дночерпателем Экмана–Берджа (площадь 1/40 м<sup>2</sup>) в профундальной зоне водоемов в 3-кратной повторности, на литорали отбирали только качественные пробы. Анализ

бентосных проб проводили с использованием рекомендованных стандартных методик [Руководство..., 1992]. Определение беспозвоночных проводилось по Определителю пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (планктон и бентос) под редакцией Л. А. Кутиковой и В. Я. Старобогатова [1977] и Определителю пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий под редакцией С. Я. Цалолихина [2000, 2001]. Биомасса бентосных беспозвоночных рассчитывалась по сырому весу.

Трофический статус исследованных озер по сообществам гидробионтов определяли по классификации С. П. Китаева [1984, 2007].

Ихтиологические исследования проводились на оз. Академическом. Использовались жаберные сети из нейлонового монофиламента, высотой 1,5 м, длиной 30 м, с размерами ячеек: 12, 16 и 28 мм, в литорали, пелагиали и профундали, руководствуясь показаниями эхолота. Время экспозиции составило 1 сутки. В оз. Тахтаръявр обловы не проводились.

## Результаты и обсуждение

### *Химический состав вод и донных отложений*

Качество вод исследованных озер соответствует естественно-природным водоемам Кольского полуострова, с низкими концентрациями биогенных элементов, общей минерализации и высоким содержанием кислорода. Некоторые основные гидрохимические показатели озер Академическое и Тахтаръявр приведены в таблице 1.

Содержание приоритетных загрязнителей аэротехногенного происхождения (Cu, Ni) в воде соответствует I классу качества вод [Романенко и др., 1990]. Концентрация элементов, являющихся загрязнителями среды в результате деятельности апатитового производства (Al и Sr), находится в пределах диапазона значений, характерных для других малых озер Хибинского горного массива, куда не поступают стоки рудников [Денисов, Терентьев, 2008; Кашулин и др., 2008]. Уровень pH ниже нейтральных значений, что нетипично для озер щелочного Хибинского массива, воды которых находятся в тесном контакте с материнской породой. По содержанию биогенных элементов на период исследований оба водоема можно отнести к олиготрофным с признаками мезотрофного. Содержание общего фосфора соответствует олиготрофному статусу, а общего азота в поверхностных слоях воды оз. Тахтаръявр – нижней границе мезотрофного [Романенко, 1985].

Таблица 1. Некоторые гидрохимические параметры вод исследованных водоемов в период гидробиологического лета

| Показатели                            | Академическое |       | Тахтарьявр |      |
|---------------------------------------|---------------|-------|------------|------|
|                                       | 1 м           | 16 м  | 1 м        | 10 м |
| pH                                    | 6,75          | 6,97  | 6,58       | 6,67 |
| Щелочность, мэкв./л                   | 80            | 81    | 36         | 42   |
| Кислород, мг/л                        | 12,19         | 11,07 | -          | -    |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мкгN/л | 53            | 34    | 94         | 71   |
| Cl <sup>-</sup> , мг/л                | 0,53          | 0,53  | 0,54       | 0,46 |
| N <sub>общ.</sub> , мкгN/л            | 97            | 89    | 173        | 146  |
| P <sub>общ.</sub> , мкгP/л            | 2             | 3     | 5          | 3    |
| Минерализация, мг/л                   | 10,18         | 10,06 | 6,06       | 6,32 |
| Цветность, °Pt                        | <5            | <5    | <5         | <5   |
| Si, мкг/л                             | 1,4           | 1,3   | 1,06       | 1,01 |
| Ni, мкг/л                             | 0,4           | 0,5   | 0,6        | 1,1  |
| Cu, мкг/л                             | 0,7           | 0,6   | 0,4        | 0,6  |
| Sr, мкг/л                             | 18            | 20    | 52         | 53   |
| Al, мкг/л                             | 1,9           | 2,0   | 13         | 17   |
| Органическое вещество, мгC/л          | 1,4           | 1,3   | 1,9        | 1,9  |

Очевидно, водоемы способны противостоять кислотным выпадениям благодаря щелочным подстилающим породам, сравнительно высокой буферной емкости и значительным глубинам. Это подтверждается фоновыми концентрациями SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и околонейтральными значениями pH.

Характер распределения содержания тяжелых металлов в донных отложениях свидетельствует о крайне низких скоростях седиментации в озерах (рис. 2).

Аккумуляция некоторых тяжелых металлов (Cu, Ni и Pb) наблюдается начиная с верхних слоев отложений (3–4 см), что объясняется глобальным загрязнением атмосферы северо-запада Европы этими элементами в XIX–XX вв. Резкое увеличение содержания тяжелых металлов отмечено в слоях 0–2 см и является результатом деятельности крупных металлургических комбинатов на Кольском полуострове в XX в. Характер распределения концентраций загрязнителей свидетельствует о крайне низких скоростях седиментации в водоеме. С учетом данных [Norton et al., 1990; Даувальтер, 2002; Денисов, 2012], особенностей батиметрии и малой площади водосбора, а также в связи с отсутствием интенсивного поступления аллохтонного вещества с водотоками скорость накопления ДО может составлять около 0,1 мм в год.

#### **Гидробиологическая характеристика водоемов**

**Озеро Академическое.** Фитопланктон озера характеризуется низким видовым

богатством: всего обнаружено 6 таксонов водорослей рангом ниже рода. В составе фитопланктона не было обнаружено типичных планктонных водорослей, встречались планктонно-бентосные, бентосные и эпифитные формы. Наиболее часто в пробах встречались *Achnanthydium subatomoides* (Hust.) Monn., Lange-Bert. & Ector и *Planothydium lanceolatum* (Bréb. ex Kütz.) Round & L. Bukhtiyarova, остальные виды (*Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., *Pinnularia macilenta* Ehrb., *Staurastrum muticum* Bréb. ex Ralfs, *Cosmarium* sp.) были представлены единично.

Численность водорослей в слое воды 0–10 м изменялась в пределах от 0,08 до 0,21 тыс. кл./л, биомасса – от 0,21 до 0,29 г/м<sup>3</sup>, что соответствует диапазону значений, характерных для других малых олиготрофных водоемов Хибин [Кашулин и др., 2008].

Содержание хлорофилла *a* низкое, что свидетельствует о слабом развитии фитопланктона и малых значениях первичной продукции в середине биологического лета (табл. 2). Все полученные значения согласуются с данными по водоемам Кольского полуострова, где для тундровых озер характерны низкие (в среднем 0,2–0,3 мг/м<sup>3</sup>) концентрации хлорофилла *a* [Летанская, 1974]. По шкале С. П. Китаева [1984], по содержанию хлорофилла *a* озеро Академическое может быть отнесено к *a*-олиготрофным.

Зоопланктон также характеризуется низкими значениями численности. Качественные пробы показали присутствие единственного представителя – ветвистоусого

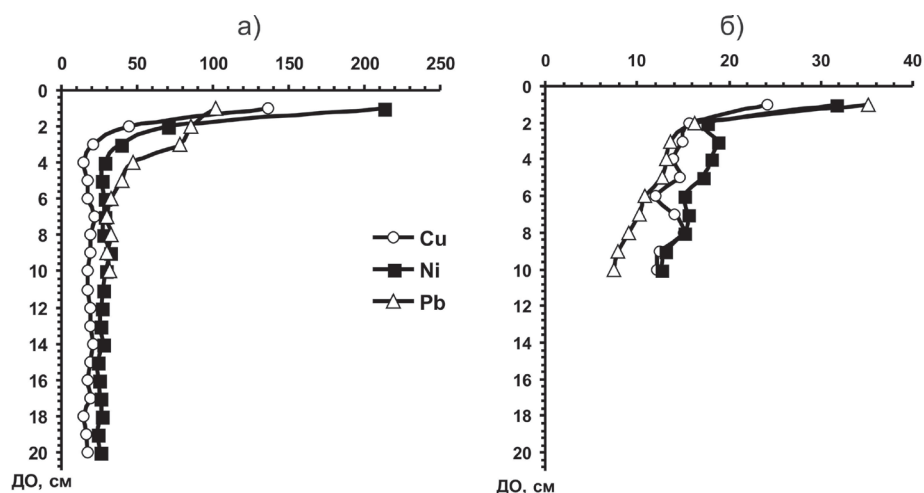


Рис. 2. Распределение концентраций Cu, Ni, и Pb в донных отложениях (ДО), мкг/г сух. веса в донных отложениях: а) оз. Академическое, б) оз. Тахтарьявр

ракообразного рода *Bosmina*. Несмотря на высокое содержание кислорода (см. табл. 1), для этих ракообразных была характерна ярко-красная окраска. В количественных пробах зоопланктон не был обнаружен.

Фитоперифитон. Водоросли перифитона характеризуются более высоким видовым разнообразием ( $H' = 2,3$  бит/экз.) и численностью (0,071–2,201 млн кл./см<sup>2</sup>) по сравнению с планктоном. Всего было выявлено 24 таксона водорослей рангом ниже рода в четырех отделах, из которых: 4 – Cyanoprocarvota, 5 – Chlorophyta, 1 – Dynophyta, 14 – Bacillariophyta. Распределение обрастаний по дну озера было

неравномерным. На каменистой литорали озера на глубинах 0–1 м они были сформированы единственным представителем – *Dichothrix gypsophila* (Kütz.) Born. et Flah. (Cyanoprocarvota). Эта водоросль заселяет не только литораль, но и увлажняемые участки береговой линии водоема, проективное покрытие составляет 60–70 % каменистого субстрата литорали. По своим экологическим характеристикам вид является типичным обитателем ультраолиготрофных водоемов с высоким содержанием кислорода и крайне низким содержанием биогенных веществ. Сапробное значение этого вида соответствует 0,3 [Баринава и др., 2006].

Таблица 2. Некоторые характеристики водорослевых сообществ исследованных озер

| Показатели                                      | Академическое |       |      | Тахтарьявр |       |      |       |
|---|---------------|-------|------|------------|-------|------|-------|
|   | 1 м           | 15 м  |      | 1 м        | 10 м  |      |       |
| Содержание хлорофиллов, мг/м <sup>3</sup>       |               |       |      |            |       |      |       |
| a   | 0,73          | 0,98  |      | 0,13       | 0,24  |      |       |
| b   | 0,06          | <0,01 |      | <0,01      | <0,01 |      |       |
| c   | 0,21          | <0,01 |      | 0,29       | 0,70  |      |       |
| Распределение планктона в интервалах глубин, м  |               |       |      |            |       |      |       |
|   | 0–2           | 2–5   | 5–10 | 0–2        | 2–5   | 5–10 | 10–20 |
| Биомасса, г/м <sup>3</sup>                      | 0,21          | 0,21  | 0,29 | 0,02       | 0,02  | 0,05 | 0,01  |
| Численность, тыс. кл./л                         | 0,19          | 0,21  | 0,08 | 0,23       | 0,24  | 0,33 | 0,11  |
| Распределение перифитона в интервалах глубин, м |               |       |      |            |       |      |       |
|   | 0–1           | 2–10  | > 10 | 0–1        | 2–10  | > 10 |       |
| Покрывание субстрата, %                         | 60–70         | 40–50 | –    | –          | –     | –    |       |
| Численность, млн кл./см <sup>2</sup>            | 2,201         | 0,071 | –    | –          | –     | –    |       |
| Суммарные показатели                            |               |       |      |            |       |      |       |
| Индекс Шеннона–Уивера (H'), бит./экз.           |               |       |      |            |       |      |       |
| планктона                                       | 1,1           |       |      | 2,7        |       |      |       |
| перифитона                                      | 2,3           |       |      | –          |       |      |       |
| Индекс сапробности (S)                          |               |       |      |            |       |      |       |
| по планктону                                    | –             |       |      | 1,35       |       |      |       |
| по перифитону                                   | 1,20          |       |      | –          |       |      |       |

Фитоперифитон более глубоких участков (2–10 м) представлял собой комплекс плотных обрастаний (покрытие площади дна – 40–50 %) печеночных мхов и эпифитно развивающихся на них водорослей, в основном диатомовых (Bacillariophyta) и зеленых (Chlorophyta). При этом на стоке озера (исток р. Каскаснюйок) также развивается *D. gypsophila* и единично присутствуют реофильные диатомовые – *Tabel-laria flocculosa* (Roth) Kütz.

Очевидно, водные мхи подкисляют воду озера в процессе жизнедеятельности, обуславливая тем самым формирование типичного олиготрофного ацидофильного комплекса диатомей, развивающихся на мхах эпифитно. Доминантом являлся типичный ацидофил, характерный для олиготрофных низкоминерализованных вод – *Brachysira brebissonii* (Grun. in Van Heurck) Ross (относительная численность в альгоценозе – до 48,3 %). Многочисленными (до 18,7 %) были представители рода *Eunotia*, в основном *E. arcus* Ehrb. var. *arcus* – бентосный космополит, ацидофил, а также (до 22 %) представители рода *Frustulia*, в основном *F. rhomboides* var. *crassinervia* (Bréb.) Ross – предпочитающий проточные олиготрофные воды бентосный ацидофил, реже – *Frustulia spicula* var. *alpina* Amosse – вид со схожей экологией. Менее многочисленными были *Tabel-laria flocculosa* (до 3,7 %) – широко распространенный планктонно-бентосный ацидофил и *Pinnularia divergens* W. Sm. (3,4 %) – типичный арктоальпийский вид, индифферентный по отношению к pH, предпочитающий олиготрофные стоячие воды. Среди динофитовых водорослей отмечен единственный представитель рода *Peridinium* (*P. nangoei* (?)), которого было обнаружено всего три экземпляра, очевидно, утративших жизненные функции (таксономическое определение проводилось в нефиксированном материале).

Зеленые водоросли были немногочисленными, представлены в основном одноклеточными десмидиевыми: *Cosmarium botrytis* Ralfs var. *botrytis* – планктонный космополит, индифферентный по отношению к pH, *C. punctulatum* Bréb. – планктонно-бентосный космополит, ацидофил, обитающий при pH < 7,0 в низкоминерализованных водах, единично – *C. subspeciosum* Nordst. Отмечены также *Euastrum* sp. и *Staurastrum* sp. Индекс сапробности, рассчитанный по фитоперифитону, соответствует олигосапробным (о) водам и II классу их чистоты – чистые воды. Различия в видовом составе, структуре и количественных характеристиках альгоценозов фитоперифитона в оз. Академическом объясняются

неоднородностью условий, меняющихся с глубиной; кроме того, на дне водоема развиваются водные печеночные мхи, формирующие особый комплекс условий для развития эпифитных диатомовых водорослей. Площадь и глубина распространения мохообразных требует дополнительного специального изучения.

В составе макрозообентоса литоральной зоны оз. Академического отмечены хириномиды, ручейники *Limnephilidae*, поденки *Baetis* sp. и веснянки *Arcynopteryx compacta* (McLachlan, 1872).

В профундальной зоне макрозообентос представлен преимущественно хириномидами *Procladius* gr. *choreus* и *Orthocladus* sp. Численность в среднем составляла 90 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 0,4 г/м<sup>2</sup>. Согласно шкале трофности [Китаев, 2007] по уровню развития зообентоса трофический статус водоема соответствует олиготрофному, Кольский биотический индекс [Яковлев, 2005] – 9 баллов, класс качества вод – чистые.

**Ихтиофауна.** По своим природным условиям, батиметрии и особенностям гидрохимических характеристик данный водоем наиболее благоприятен для развития арктического гольца, кумжи и девятиглай колюшки, повсеместно встречающихся в других водоемах Хибинского горного массива, многочисленных озерах северо-западной части Мурманской области и Восточного Мурмана [Кашулин и др., 2008, 2013]. Однако в уловах рыб отмечено не было. Поскольку исследования проводились в июле, высокая прозрачность водоема, полярный день, а также красный цвет полотна сетей, по-видимому, не позволили достичь желаемых результатов. По данным эхолокации, рыба в водоеме присутствует на глубине от 4 до 17 м. Следует отметить, что связь оз. Академического с оз. Умбозеро через р. Каскаснюйок из-за многочисленных порогов (свыше 4 м) делает невозможным пополнение ихтиофауны за счет мигрантов извне, и в случае обнаружения рыбы в водоеме речь пойдет об изолированной популяции, данные о которой могут представлять значительный интерес.

**Оз. Тахтаръявр.** Фитопланктон озера характеризуется более высоким, чем в оз. Академическом, видовым богатством: обнаружено 27 таксонов водорослей рангом ниже рода. В составе сообществ августовского фитопланктона в водоеме присутствовали крупноклеточные зеленые и перидиниевые водоросли, что не является типичной чертой горных олиготрофных озер Хибинского горного массива. Также значительно меньше по сравнению с другими горными озерами [Кашулин и др., 2008]

Таблица 3. Некоторые показатели сообществ зоопланктона оз. Тахтаръявр (август 2011 г.)

| Интервал глубин | Общая численность ( $N_{\text{общ}}$ ), тыс. экз./м <sup>3</sup> | Соотношение основных таксономических групп, (% $N_{\text{общ}}$ ) |           |          | Общая биомасса ( $B_{\text{общ}}$ ), г/м <sup>3</sup> | Соотношение основных таксономических групп, (% $B_{\text{общ}}$ ) |           |          |
|-----------------|--|---|-----------|----------|---|---|-----------|----------|
|                 |  | Rotifera  | Cladocera | Copepoda |   | Rotifera  | Cladocera | Copepoda |
| 0–2             | 36,3   | 97,5  | 0,0       | 2,5      | 0,1   | 52,0  | 0,0       | 48,0     |
| 2–5             | 7,0  | 76,1  | 0,0       | 23,9     | 0,1   | 8,8   | 0,0       | 91,2     |
| 5–10            | 10,2   | 78,8  | 0,0       | 21,2     | 0,1   | 5,8   | 0,0       | 94,2     |
| 10–20           | 44,1   | 94,8  | 0,0       | 5,2      | 0,1   | 13,2  | 0,0       | 86,8     |

видовое богатство и обилие диатомовых водорослей. В пробах обнаружены синезеленые водоросли родов *Microcystis* и *Anabaena*. В планктоне встречались следующие водоросли: *Pediastrum duplex f. clathratum* Arnold & Aleksenko; *Pandorina charkowiensis* Korsch.; *Peridinium umbonatum var. goslaviense* (Wolszynska) Popovsky & Pfeister; *Fragilaria capucina* Desm.; *Microcystis* sp.; *Anabaena* sp.; *Tabellaria fenestrata* (Lyng.) Kutz.; *T. flocculosa* (Roth) Kutzing; *Dinobryon bavaricum* Imhof. Большая часть водорослей была сосредоточена в средних слоях водного столба, в интервале глубин 5–10 м. Биомасса фитопланктона составила 0,02 г/м<sup>3</sup> в поверхностных слоях и 0,05 г/м<sup>3</sup> на глубине 5–10 м, что позволяет определить трофический статус озера как ультраолиготрофный. Это подтверждается и уровнем содержания хлорофиллов. Сравнительно высокие концентрации хлорофилла с объясняются значительной общей долей диатомовых и перидиниевых водорослей в составе планктона.

Водорослевые обрастания на литорали озера не развиваются, что отчасти объясняется высокой степенью подвижности положения уреза воды.

Зоопланктон. В водоеме зарегистрировано 11 таксонов видового ранга: Rotifera – 9 (*Asplanchna* sp.; *Brachionus calyciflorus* Wierzejski; *Cephalodella* sp.; *Keratella cochlearis* (Gosse); *K. quadrata* (Müller); *Kellicottia longispina* (Kellicott); *Polyarthra* sp.; *Ploesoma* sp.; *Synchaeta pectinata* Ehrenberg), Copepoda – 2 (*Cyclops* sp., *Calanoida* sp.). Видовой состав зоопланктона характеризовался отсутствием в пробах «тонких» фильтраторов (Cladocera) и низкой численностью веслоногих ракообразных. В состав руководящего комплекса входили «мирные» коловратки *Keratella cochlearis*, *Synchaeta pectinata*, *Polyarthra* sp. Основу общей численности составляли коловратки, биомассы – веслоногие ракообразные (табл. 3).

Анализ некоторых показателей зоопланктонного сообщества выявил следующее: величины общей численности и биомассы являются

характерными для горных холодноводных олиготрофных озер Кольского п-ова (29,3 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,1 г/м<sup>3</sup> соответственно) [Китаев, 1984; Андроникова, 1996]. Индекс видового разнообразия Шеннона – 1,7 бит/экз. Водоем характеризуется как β-мезосапробный (индекс сапробности 1,6), по шкале трофности – α-олиготрофный [Китаев, 2007].

Макрозообентос. Литоральные бентосные сообщества бедны, наиболее многочисленны веснянки *Arcynopteryx compacta* – типичные обитатели литорали тундровых и горных озер, единично отмечены ручейники и хирономиды п/с Tanytarsinae.

В профундальной зоне сформирован пелофильный биоценоз, представленный только широко распространенными в Палеарктике, предпочитающими олиготрофные холодноводные водоемы хирономиды *Procladius* gr. *choreus*. Количественные показатели невысоки: численность профундального бентоса составляла в среднем 180 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 0,7 г/м<sup>2</sup>. Согласно шкале трофности [Китаев, 2007] по уровню развития зообентоса трофический статус водоема соответствует олиготрофному, Кольский биотический индекс [Яковлев, 2005] – 9 баллов, класс качества вод – чистые.

## Заключение

Исследования позволили впервые сформировать представления о видовом составе и структурно-функциональных особенностях фитопланктона, фитоперифитона, зоопланктона и зообентоса водоемов горно-тундровой зоны Хибинского горного массива.

Установлено, что оба озера характеризуются значительными для горных ледниковых водоемов глубинами при сравнительно небольшой площади зеркала и водосбора. Гидрохимические характеристики свидетельствуют об отсутствии последствий аэротехногенного загрязнения озер благодаря высокой буферной емкости, обеспечиваемой особенностями батиметрии, стока и щелочными подстилающими



породами. Трофический статус водоемов по уровню содержания биогенных элементов оценивается как олиготрофный.

Сообщества водорослей в обоих озерах резко различаются как по видовому составу, так и по количественным характеристикам. В оз. Академическом видовой состав водорослей планктона беден, однако биомасса и фотосинтетическая активность его выше, чем в оз. Тахтаръявр. Это объясняется присутствием в толще воды оз. Академического бентосных водорослей, обладающих более крупными размерами клеток (*Achnanthydium subatomoides*), в то время как основу численности планктона оз. Тахтаръявр составляют мелкоклеточные синезеленые водоросли (*Microcystis* sp.; *Anabaena* sp., *Dinobryon bavaricum*), характеризующиеся малыми индивидуальными объемами клеток.

Фитоперифитон в оз. Тахтаръявр не был обнаружен в период отбора, в то время как в оз. Академическом он весьма обилен и на литорали, и на глубинах 10–15 м. Вероятно, это объясняется особенностями гидродинамического режима и питания водоемов. В оз. Академическом выражен поверхностный сток, а также практически в течение всего лета присутствуют снежники, питающие водоем. Озеро Тахтаръявр расположено на юго-западных склонах Хибинских гор, поэтому процессы снеготаяния там идут активнее, что обуславливает отсутствие снежников на склонах чаши озера и выраженного поверхностного стока. Кроме того, различия в экспозиции склонов обуславливают дифференциацию осадков, выпадающих на водосборах. Оз. Тахтаръявр, очевидно, принимает большее количество аэротехногенных загрязнителей, в первую очередь ТЭЦ и апатитовой обогатительной АНОФ-2, расположенной у подножья склона – об этом свидетельствуют высокое содержание нитратов и более низкая щелочность, чем в оз. Академическом (см. табл. 1).

Этим, вероятно, объясняются различия в альгоценозах водоемов в период гидробиологического лета. В оз. Академическом основная фитомасса формируется за счет печеночных мохообразных, а также литоральных синезеленых водорослей. Эти сообщества, в свою очередь, формируют среду обитания для других водорослей и беспозвоночных. Постоянный приток талых вод обеспечивает наличие элементов минерального питания, а также стабилизирует уровень воды. Роль фитопланктона в функционировании экосистемы озера ниже, чем фитоперифитона. В оз. Тахтаръявр фитопланктон более разнообразен, что, очевидно, является следствием резко меняющихся

гидрохимических условий, определяемых аэротехногенной нагрузкой и гидродинамическими и метеорологическими параметрами. Вероятно, отсутствие стабильного режима питания делает гидрохимическую систему озера крайне зависимой от атмосферных осадков, о чем свидетельствуют пониженные значения рН, несмотря на контакт вод с щелочными породами, слагающими Хибинский массив.

Зоопланктон и зообентос характеризуются обедненным видовым составом и невысокими количественными показателями, что является характерным для горных холодноводных олиготрофных озер. Зоопланктон оз. Тахтаръявр имеет некоторые признаки, характерные для мезотрофных водоемов.

Возможность существования ихтиофауны в исследованных водоемах представляет собой дискуссионный вопрос и подлежит дальнейшему детальному экспериментальному изучению, обнаружение рыбы в водоемах может стать полем для исследования уникальных высокогорных изолированных популяций.

Полученные данные с успехом могут быть использованы как фоновые характеристики при нормировании антропогенной нагрузки и оценке состояния загрязняемых горно-тундровых водоемов Субарктики. Планктонные и бентосные сообщества организмов, развивающиеся в водоеме, представляют собой интересный объект изучения функционирования водных экосистем в экстремальных условиях при минимальном периоде открытой воды и низких температурах. На примере водорослевых сообществ показано, что основными факторами развития экосистем озер являются режим питания и экспозиция склона. Размер озер, интенсивность водообменных процессов, а также пониженные, несмотря на щелочные подстилающие породы, значения рН позволяют предположить, что исследованные водоемы являются крайне уязвимыми к аэротехногенным загрязнителям.

## Литература

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб., 1996. 189 с.

Барина С. С., Медведева Л. А. Атлас водорослей – индикаторов сапробности (российский Дальний Восток). Владивосток: Дальнаука, 1996. 364 с.

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

Даувальтер В. А. Факторы формирования химического состава донных отложений: Учебное

пособие по дисциплине «Геохимия окружающей среды» для направления 511100 «Экология и природопользование». Мурманск: Изд-во МГТУ, 2002. 76 с.

*Денисов Д. Б.* Изменения диатомовых комплексов донных отложений оз. Академическое (Хибины, Кольский полуостров) // Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода (г. Апатиты, 12–17 сентября, 2011 г.). В 2 т. / Рос. акад. наук, Отд. наук о Земле, Комиссия по изуч. четвертич. периода, Геологический ин-т КНЦ РАН. Апатиты; СПб., 2011а. Т. 1. (А–К). С. 163–166.

*Денисов Д. Б.* Реконструкция развития экосистемы малого горного субарктического водоема за последние 900 лет (на примере оз. Академическое, Хибины, Кольский полуостров) // Труды КНЦ РАН «Прикладная экология Севера». Апатиты, 2012. Вып. 1. С. 126–147.

*Денисов Д. Б.* Связь динамики интегральных показателей диатомовых комплексов донных отложений с солнечной активностью (оз. Академическое, Кольский полуостров) // Материалы XII международной научной конференции диатомологов, посвященной 120-летию со дня рождения А. И. Прошкиной-Лавренко (19–24 сентября 2011 г.). М.: Университетская книга, 2011б. С. 230–233.

*Денисов Д. Б., Терентьев П. М.* Первые результаты исследований оз. Академическое (Хибинский горный массив) // Сбалансированное природопользование: глубокая переработка минеральных ресурсов: сборник материалов IV школы молодых ученых и специалистов (6–8 ноября 2007 г.). Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. С. 161–166.

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

*Диатомовые водоросли СССР* (ископаемые и современные). Том 1. Л.: Наука, 1974. 403 с.

*Кашулин Н. А., Денисов Д. Б., Сандимиров С. С., Даувальтер В. А., Кашулина Т. Г., Малиновский Д. Н., Вандыш О. И., Ильяхук Б. П., Кудрявцева Л. П.* Антропогенные изменения водных систем Хибинского горного массива (Мурманская область). Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. Т. 1. 250 с.

*Кашулин Н. А., Даувальтер В. А., Денисов Д. Б., Валькова С. А., Вандыш О. И., Терентьев П. М., Кашулин А. Н.* Некоторые аспекты современного состояния пресноводных ресурсов Мурманской области // Вестник МГТУ. Т. 16, № 1. 2013. С. 98–107.

*Китаев С. П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 395 с.

*Китаев С. П.* Экологические основы биопродуктивности озер различных природных зон. М.: Наука, 1984. 309 с.

*Кузьмин Г. В.* Таблицы для вычисления биомассы водорослей. Магадан, 1984. 48 с.

*Куплетский Б. М.* Географический очерк, рельеф и орография Хибинских и Ловозерских тундр // Тр. Ин-та по изучению Севера. М., 1928. Т. 2. С. 3–45.

*Летанская Г. И.* Фитопланктон и первичная продукция озер Кольского полуострова // Озера

различных ландшафтов Кольского полуострова. 1974. Ч. 2. С. 143–179.

*Лосева Э. И.* Атлас пресноводных плейстоценовых диатомей европейского Северо-Востока. СПб.: Наука, 2000. 89 с.

*Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Каган Л. Я.* Горные озера как маркеры загрязнения воздуха // Водные ресурсы. 1997б. Т. 24, № 5. С. 600–608.

*Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (планктон и бентос)* / Отв. ред. Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 510 с.

*Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Двукрылые насекомые* / Под общ. ред. С. Я. Цалолихина. СПб.: Наука, 2000. Т. 4. 997 с.

*Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Высшие насекомые* / Под общ. ред. С. Я. Цалолихина. СПб.: Наука, 2001. Т. 5. 825 с.

*Определитель пресноводных водорослей СССР. Зеленые водоросли.* Л.: Наука, 1982. Выпуск 11(2). 620 с.

*Природные условия Хибинского учебного полигона: Учебное пособие по практикам студентов-географов в Хибинах* / Под. ред. С. М. Мягкова. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1986. 170 с.

*Родюшкин И. В.* Формы металлов в воде оз. Имандра // Проблемы химического и биологического экологического состояния водных объектов Кольского Севера. Апатиты: Изд-во Кольск. науч. центра РАН, 1995. С. 44–59.

*Романенко В. Д., Оксий О. П., Жукинский В. Н., Стольберг Ф. В., Лаврик В. И.* Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты. Киев: Наук. думка, 1990. 256 с.

*Романенко В. И.* Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Л.: Наука, 1985. 294 с.

*Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем* / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.

*Руководство по методам химического анализа морских вод* Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 208 с.

*Сладечек В.* Общая биологическая схема качества воды. Санитарная и техническая гидробиология. М.: Наука, 1967. С. 26–31.

*Шаров А. Н.* Фитопланктон водоемов Кольского полуострова. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2004. 113 с.

*Шварев С. В.* Послеледниковые тектонические движения и формирование террас озера Имандра (Кольский полуостров) // Геоморфология. 2003. № 4. С. 97–104.

*Яковлев В. А.* Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Ч. 2. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. 145 с.

*Battarbee R. W.* Diatom analyses // Handbook of Holocene Palaeoecology and Paleohydrology / Edited by B. E. Berglund. 1986. P. 531–570

*Jeffrey W., Humphrey G.* New spectrophotometric equations for determining chlorophylls

a, b, c and O<sub>2</sub> in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol.* 1975. Vol. 167. P. 191–194.

Hustedt F. Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeen. «Flora von Java, Bali und Sumatra nach dem Material der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition III» Die ökologischen Factorin und ihr Einfluss auf die Diatommenflora, *Arch. Hydrobiol., Suppl.* vol. 16, 1939. S. 274–394.

Krammer T., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae (Achnantheacea, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolate) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis). Sübwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, 1991b. Vol. 2, No 4. 437 p.

Krammer T., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae (Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae). Sübwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, 1988. Vol. 2, No 2. 596 p.

Krammer T., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae (Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae). Sübwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, 1991a. Vol. 2, No 3. 576 p.

Krammer T., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae (Naviculaceae). Sübwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, 1986. Vol. 2, No 1. 876 p.

Norton S. A., Dillon P. J., Evans R. D., Mierle G., Kahl J. S. The history of atmospheric deposition of Cd, Hg and Pb in North America: Evidence from lake and peat bog sediments // Lindberg S. E. et al. (Eds.). Sources, Deposition and Capony Interactions. V. III, Acidic Precipitation. New York: Springer-Verlag, 1990. P. 73–101.

Shannon C. E., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana, University of Illinois Press, 1949. 117 p

Skogheim O. K. Rapport fra Arungenprosjektet. Oslo: As-NLN, 1979. No 2. 7 p.

Standard method for examination for water and wastewater. USA. 1975. 1195 p.

Tikkanen T. Kasviplanctonopas. Suomen Luonnon-suojelun Tuki Oy. Helsinki, 1986. 279 p.

Поступила в редакцию 29.10.2013

## References

Andronikova I. N. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipovx [Structural-functional organization of zooplankton in lake ecosystems of various trophic types]. St. Petersburg, 1996. 189 s.

Barinova S. S., Medvedeva L. A. Atlas vodoroslei – indikatorov saprobnosti (rossiiskii Dal'nii Vostok) [Atlas of algal indicators of saprobity (Russian Far East)]. Vladivostok: Dal'nauka, 1996. 364 s.

Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayushchei sredy [Biodiversity of algal environmental indicators]. PiliesStudio, Tel'-Aviv, 2006. 498 s.

Dauval'ter V. A. Faktory formirovaniya khimicheskogo sostava donnykh otlozhenii: Uchebnoe posobie po distsipline «Geokhimiya okruzhayushchei sredy» dlya napravleniya 511100 «Ekologiya i prirodopol'zovanie» [Features of chemical composition formation in bottom sediments: manual on «Geochemistry of the environment» for major 511100 «Ecology and environmental management»]. Murmansk: Izd-vo MGTU, 2002. 76 s.

Denisov D. B. Izmeneniya diatomovykh kompleksov donnykh otlozhenii oz. Akademicheskoe (Khibiny, Kol'skii poluostrov) [Changes in diatomaceous complexes of bottom sediments in Lake Akademicheskoe (Khibiny Mountains, Kola Peninsula)]. Kvarter vo vsem ego mnogoobrazii. Fundamental'nye problemy, itogi izucheniya i osnovnye napravleniya dal'neishikh issledovaniy: materialy VII Vserossiiskogo soveshchaniya po izucheniyu chetvertichnogo perioda (g. Apatity, 12–17 sentyabrya, 2011 g.). V 2 t. Ros. akad. nauk, Otd. nauk o Zemle, Komissiya po izuch. chetvertich. perioda, Geologicheskii in-t KNTs RAN. Apatity; St. Petersburg, 2011a. T. 1. (A–K). S. 163–166.

Denisov D. B. Rekonstruktsiya razvitiya ekosistemy malogo gornogo subarkticheskogo vodoema za

poslednie 900 let (na primere oz. Akademicheskoe, Khibiny, Kol'skii poluostrov) [Reconstruction of ecosystem development in a small Subarctic mountain water body during the last 900 years (case study of Lake Akademicheskoe, Khibiny, Kola Peninsula)]. *Trudy KNTs RAN «Prikladnaya ekologiya Severa»* [Transactions of Kola Research Centre «Applied Ecology of the North»]. Vyp. 1. Apatity, 2012. S. 126–147.

Denisov D. B. Svyaz' dinamiki integral'nykh pokazatelei diatomovykh kompleksov donnykh otlozhenii s solnechnoi aktivnost'yu (oz. Akademicheskoe, Kol'skii poluostrov) [Relationship between integral indices dynamics in diatomaceous complexes of bottom sediments and solar activity (Lake Akademicheskoe, Kola Peninsula)]. Materialy XII mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii diatomologov, posvyashchennoi 120-letiyu so dnya rozhdeniya A. I. Proshkini-Lavrenko (19–24 sentyabrya 2011 g.). Moscow: Universitetskaya kniga, 2011b. S. 230–233.

Denisov D. B., Terent'ev P. M. Pervye rezul'taty issledovaniy oz. Akademicheskoe (Khibinskii gornyi massiv) [First research results of Lake Akademicheskoe (Khibiny Mountains)]. Sbalansirovannoe prirodopol'zovanie: glubokaya pererabotka mineral'nykh resursov: sbornik materialov IV shkoly molodykh uchenykh i spetsialistov (6–8 noyabrya 2007 g.). Apatity: Izd-vo Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2008. S. 161–166.

Diatomovyi analiz [Diatom analysis]. Leningrad, 1949. Kn. 1. 240 s.; kn. 2. 238 s.

Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemye i sovremennye) [Diatoms of the USSR (fossil and recent)]. Tom 1. L.: Nauka, 1974. 403 s.

Kashulin N. A., Denisov D. B., Sandimirov S. S., Dauval'ter V. A., Kashulina T. G., Malinovskii D. N., Vandysh O. I., Il'yashuk B. P., Kudryavtseva L. P. Antropogennye izmeneniya vodnykh sistem Khibinskogo gornogo massiva (Murmanskaya oblast') [Human-caused

changes in aquatic systems of the Khibiny Mountains (Murmansk region)]. Apatity: Izd-vo Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2008. T. 1. 250 s.

Kashulin N. A., Dauval'ter V. A., Denisov D. B., Val'kova S. A., Vandysh O. I., Terent'ev P. M., Kashulin A. N. Nekotorye aspekty sovremennogo sostoyaniya presnovodnykh resursov Murmanskoi oblasti [Some aspects of current state of freshwater resources in Murmansk region]. *Vestnik MGTU [Herald of Moscow State Technical University]*. 2013. T. 16, № 1. S. 98–107.

Kitaev S. P. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtiologov [Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk: Karel'skii NTs RAN, 2007. 395 s.

Kitaev S. P. Ekologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer razlichnykh prirodnykh zon [Ecological bases of bioproductivity of lakes in different natural zones]. Moscow: Nauka, 1984. 309 s.

Kuz'min G. V. Tablitsy dlya vychisleniya biomassy vodoroslei [Algae biomass calculation table]. Magadan, 1984. 48 s.

Kupletskii B. M. Geograficheskii ocherk, rel'ef i orografiya Khibinskikh i Lovozerskikh tundr [Geographical digest, topography and orography of Khibiny and Lovozero tundras]. *Tr. In-ta po izucheniyu Severa [Institute for the Study of the North]*. Moscow, 1928. T. 2. S. 3–45.

Letanskaya G. I. Fitoplankton i pervichnaya produktsiya ozer Kol'skogo poluostrova [Phytoplankton and primary production in lakes of Kola Peninsula]. *Ozera razlichnykh landshaftov Kol'skogo poluostrova [Lakes in different landscapes of Kola Peninsula]*. 1974. Ch. 2. S. 143–179.

Loseva E. I. Atlas presnovodnykh pleistotsenovykh diatomei evropeiskogo Severo-Vostoka [Atlas of freshwater pleistocene diatoms from northeastern Europe]. St. Petersburg: Nauka, 2000. 89 s.

Moiseenko T. I., Dauval'ter V. A., Kagan L. Ya. Gornye ozera kak markery zagryazneniya vozdukh [Mountain lakes as markers of air pollution]. *Vodnye resursy [Water Resources]*. 1997b. T. 24, № 5. S. 600–608.

Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh evropeiskoi chasti SSSR (plankton i benthos) [Key to freshwater invertebrates from the European part of the USSR (plankton and benthos)]. Otv. red. L. A. Kutikova, Ya. I. Starobogatov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 510 s.

Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territorii [Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories]. Pod obshch. red. S. Ya. Tsalolikhina. Dvukrylye nasekomye. St. Petersburg: Nauka, 2000. T. 4. 997 s.

Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territorii [Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories]. Pod obshch. red. S. Ya. Tsalolikhina. Vysshie nasekomye. St. Petersburg: Nauka, 2001. T. 5. 825 s.

Opredelitel' presnovodnykh vodoroslei SSSR. Zelenye vodorosli [Key to freshwater algae of the USSR. Green algae]. Leningrad: Nauka, 1982. Vyp. 11(2) 620 s.

Prirodnye usloviya Khibinskogo uchebnogo poligona: Uchebnoe posobie po praktikam studentov-geografov v Khibinakh [Environmental conditions of Khibiny educational test-site: practice manual for geography

students in Khibiny]. Pod. red. S. M. Myagkova. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1986. 170 s.

Rodyushkin I. V. Formy metallov v vode oz. Imandra [Metal compounds in water of Lake Imandra]. *Problemy khimicheskogo i biologicheskogo ekologicheskogo sostoyaniya vodnykh ob'ektov Kol'skogo Severa [Problems of chemical, biological and ecological state of water bodies of the Kola North]*. Apatity: Izd-vo Kol'sk. nauch. tsentra RAN, 1995. S. 44–59.

Romanenko V. D., Oksiyuk O. P., Zhukinskii V. N., Stol'berg F. V., Lavrik V. I. Ekologicheskaya otsenka vozdeistviya gidrotekhnicheskogo stroitel'stva na vodnye ob'ekty [Environmental assessment of hydraulic engineering impact on water bodies]. Kiev: Nauk. dumka, 1990. 256 s.

Romanenko V. I. Mikrobiologicheskie protsessy produktsii i destruktivnykh organicheskogo veshchestva vo vnutrennykh vodoemakh [Microbiological processes of production and destruction of organic substance in inland water bodies]. Leningrad: Nauka, 1985. 294 s.

Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Guidance on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. Pod red. V. A. Abakumova. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992. 318 s.

Rukovodstvo po metodam khimicheskogo analiza morskikh vod [Guidance on methods of chemical analysis of sea waters]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 208 s.

Sladechek V. Obshchaya biologicheskaya skhema kachestva vody. Sanitarnaya i tekhnicheskaya gidrobiologiya [General biological scheme of water quality. Sanitary and technical hydrobiology]. M.: Nauka, 1967. P. 26–31.

Sharov A. N. Fitoplankton vodoemov Kol'skogo poluostrova [Phytoplankton in water bodies of Kola Peninsula]. Petrozavodsk: Karel'skii NTs RAN, 2004. 113 s.

Shvarev S. V. Poslednikovye tektonicheskie dvizheniya i formirovanie terras ozera Imandra (Kol'skii poluostrov) [Postglacial tectonic movements and terraces formation of Lake Imandra (Kola Peninsula)]. *Geomorfologiya [Geomorphology]*. 2003. № 4. S. 97–104.

Yakovlev V. A. Presnovodnyi zoobentos severnoi Fennoskandii (raznoobrazie, struktura i antropogennaya dinamika) [Freshwater zoobenthos of northern Fennoscandia (diversity, structure and anthropogenic dynamics)]. Ch. 2. Apatity: Izd. KNTs RAN, 2005. 145 s.

Battarbee R. W. Diatom analyses. Handbook of Holocene Palaeoecology and Paleohydrology. Edited by B. E. Berglund. 1986. P. 531–570.

Jeffrey W., Humphrey G. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c and O<sub>2</sub> in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol.* 1975. Vol. 167. P. 191–194.

Hustedt F. Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeen. «Flora von Java, Bali und Sumatra nach dem Material der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition III» Die ökologoschen Factorin und ihr Einfluss auf die Diatommenflora. *Arch. Hydrobiol.*, 1939. Suppl. vol. 16. P. 274–394.

Krammer T., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae (Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula

(Lineolate) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag. 1991b. Vol. 2, No 4. 437 p.

*Krammer T., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae (Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag. 1988. Vol. 2, No 2. 596 p.

*Krammer T., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae (Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag. 1991a. Vol. 2, No 3. 576 p.

*Krammer T., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae (Naviculaceae). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag. 1986. Vol. 2, No 1. 876 p.

*Norton S. A., Dillon P. J., Evans R. D., Mierle G., Kahl J. S.* The history of atmospheric deposition of Cd,

Hg and Pb in North America: Evidence from lake and peat bog sediments. Lindberg S. E. et al. (eds.). Sources, Deposition and Canopy Interactions. V. III, Acidic Precipitation. New York: Springer-Verlag, 1990. P. 73–101.

*Shannon C. E., Weaver W.* The Mathematical Theory of Communication. Urbana, University of Illinois Press, 1949. 117 p.

*Skogheim O. K.* Rapport fra Arungenprosjectet. Oslo: As-NLN, 1979. No 2. 7 p.

*Standard method* for examination for water and wastewater. USA, 1975. 1195 p.

*Tikkanen T.* Kasviplanctonopas. Suomen Luonnon-suojelun Tuki Oy. Helsinki, 1986. 279 p.

Received October 29, 2013

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Денисов Дмитрий Борисович**

старший научный сотрудник, к. б. н.  
Институт проблем промышленной экологии Севера  
Кольского научного центра РАН  
мкр. Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская обл.,  
Россия, 184209  
эл. почта: denisow@inep.ksc.ru

### **Валькова Светлана Александровна**

научный сотрудник, к. б. н.  
Институт проблем промышленной экологии Севера  
Кольского научного центра РАН  
мкр. Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская обл.,  
Россия, 184209  
эл. почта: valkova@inep.ksc.ru  
тел.: (81555) 79774

### **Терентьев Петр Михайлович**

старший научный сотрудник, к. б. н.  
Институт проблем промышленной экологии Севера  
Кольского научного центра РАН  
мкр. Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская обл.,  
Россия, 184209  
эл. почта: p\_terentjev@inep.ksc.ru

### **Черепанов Александр Александрович**

младший научный сотрудник  
Институт проблем промышленной экологии Севера  
Кольского научного центра РАН  
мкр. Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская обл.,  
Россия, 184209  
эл. почта: cherepanov@inep.ksc.ru

## CONTRIBUTORS:

### **Denisov, Dmitry**

Institute of the North Industrial Ecology Problems,  
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences  
14a, Akademgorodok, 184209 Apatity,  
Murmansk Region, Russia  
e-mail: denisow@inep.ksc.ru

### **Val'kova, Svetlana**

Institute of the North Industrial Ecology Problems,  
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences  
14a, Akademgorodok, 184209 Apatity,  
Murmansk Region, Russia  
e-mail: valkova@inep.ksc.ru  
tel.: (81555) 79774

### **Terentjev, Pyotr**

Institute of the North Industrial Ecology Problems,  
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences  
14a, Akademgorodok, 184209 Apatity,  
Murmansk Region, Russia  
e-mail: p\_terentjev@inep.ksc.ru

### **Cherepanov, Alexandr**

Institute of the North Industrial Ecology Problems,  
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences  
14a, Akademgorodok, 184209 Apatity,  
Murmansk Region, Russia  
e-mail: cherepanov@inep.ksc.ru