

УДК 574.5; 577.472

ВЛИЯНИЕ СТОКОВ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ЗООПЛАНКТОННОЕ СООБЩЕСТВО ГУБЫ БЕЛОЙ ОЗЕРА ИМАНДРА

О. И. Вандыш, А. А. Черепанов, Н. А. Кашулин, Д. Б. Денисов

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН

Выявлены структурные особенности зоопланктонного сообщества губы Белой оз. Имандра при многолетнем воздействии сточных вод апатит-нефелинового производства и дана оценка современного экологического состояния этого участка водоема. Полученные результаты дополняют сведения об ответной реакции гидробионтов на воздействие стоков предприятий горнорудного производства и возможности использования зоопланктона как надежного индикатора данного типа антропогенного воздействия.

Ключевые слова: оз. Имандра, зоопланктон, информативные показатели сообщества, мониторинг, эвтрофирование, сточные воды, горнопромышленные предприятия.

O. I. Vandysh, A. A. Cherepanov, N. A. Kashulin, D. B. Denisov. THE INFLUENCE OF MINING PRODUCTION WASTEWATER ON ZOOPLANKTON COMMUNITY IN BELAYA BAY OF LAKE IMANDRA

Structural features of the zooplankton community in Belaya Bay of Lake Imandra, exposed to a long-term influence of wastewater from apatite-nepheline production, are revealed, and the assessment of current environmental state is given for this part of the water body. The obtained results add to the knowledge of aquatic organisms' response to mining production wastewater, and open up an opportunity for using zooplankton as a reliable indicator of this type of human impact.

Key words: Lake Imandra, zooplankton, informative indices of a community, monitoring, eutrophication, wastewater, mining enterprises.

Введение

Высокие темпы индустриализации северных регионов в XX веке породили целый ряд проблем, связанных с изменением качества окружающей среды. Сосредоточение на относительно небольших территориях населенных пунктов с большой численностью населения,

мощных горнодобывающих, горно-перерабатывающих, металлургических, энергетических, транспортных и других предприятий способствует образованию вблизи индустриальных центров зон экологического неблагополучия. На Кольском п-ове примером многолетнего комплексного загрязнения природного объекта является субарктическое оз. Имандра, про-

блемы которого неразрывно связаны с процессами, происходящими в регионе. На берегах озера сосредоточены предприятия горно-металлургической, обогатительной, химической промышленности и атомной энергетики, в городах и поселках проживает более 300 тыс. человек, что составляет около 35 % от общего числа жителей Мурманской обл. [Моисеенко и др., 2009]. Водоем используется не только как источник водоснабжения, но и как объект размещения отходов, что приводит к ухудшению качества воды и деградации его экосистемы в целом [Кашулин и др., 2013].

Зоопланктонное сообщество, являясь большой и сложной частью экосистемы озера, тесно связано со всеми остальными звеньями биоты: фито- и бактериопланктоном, бентосом, рыбами. Оно отражает общее состояние водоема и играет значительную роль в определении его рыбопродуктивности. Исходя из этой концепции, зоопланктон рассматривается как организованная биологическая система с определенной взаимосвязью и упорядоченностью ее структурных и функциональных показателей. Изменение условий существования организмов отражается на видовом составе, количественном развитии, соотношении таксономических групп и других показателях структурной организации зоопланктона.

Роль зоопланктона в оценке экологического состояния водных экосистем постоянно обсуждается вследствие ряда противоречий. С одной стороны, зоопланктонные организмы более чувствительны, чем позвоночные, и даже эпизодическое отклонение качества среды может привести к радикальным изменениям видового состава сообществ, сохраняющимся даже после прекращения воздействия. С другой стороны, большинство видов являются эврибионтами, имеют достаточно широкую экологическую валентность и почти всесветное распространение. Кроме того, существует мнение, что зоопланктон не характеризует качество воды в месте отбора проб в условиях высокой динамики водных масс. Однако эта точка зрения меняется в настоящее время, и зоопланктон широко используется в биоиндикации пресноводных экосистем [Смельская, 1994; Андроникова, 1996].

В диагностических целях чаще используются структурные, а не функциональные характеристики, что связано с методическими трудностями получения количественных оценок последних [Андроникова, 1993, 1988]. В связи с увеличением числа анализируемых показателей очень важен выбор наиболее информативных из них. Перечень показателей, рекомен-

дуемый для системы мониторинга, приведен в работах И. Н. Андрониковой [1996].

Специфические климато-географические факторы, комплексный характер антропогенного воздействия на водоемы Кольского региона, в том числе и на оз. Имандра, существенно затрудняют выявление наиболее информативных и специфических показателей зоопланктона как компонента экологического мониторинга.

Цель работы – выявить особенности структурной организации зоопланктона в условиях влияния сточных вод апатит-нефелинового производства, определить наиболее информативные показатели, характеризующие долгосрочное техногенное воздействие, и на основе имеющихся данных оценить экологическое состояние загрязняемого участка водоема.

Материалы и методы

Озеро Имандра – самый крупный водоем на Кольском полуострове: длина озера 109 км, средняя ширина 3,2 км, площадь с островами 880,5 км², средняя глубина 13 м, объем воды 10,9 км³. Площадь водосбора составляет 12 300 км² и представлена 1379 водотоками [Моисеенко, Яковлев, 1990]. Озеро состоит из трех в значительной степени обособленных плесов: Большой, Йокостровской и Бабинской Имандры, соединяющихся между собой узкими проливами – салмами. По исследованиям И. В. Баранова [1961], оз. Имандра – субарктический водоем с олиготрофным типом вод и низкой минерализацией [Большие озера..., 1976]. В настоящее время состав вод значительно трансформирован.

Объектом исследований являлась губа Белая, расположенная в юго-восточной части плеса Большая Имандра (рис. 1). После отсечения части ее акватории дамбой с целью складирования там отходов апатит-нефелиновых обогатительных фабрик (АНОФ) ОАО «Апатит» (хвостохранилище) она представляет собой довольно узкий залив, в который впадают реки Большая и Малая Белая. ОАО «Апатит» с 1930 г. сбрасывает по р. Большая Белая сточные воды, содержащие тысячи тонн взвешенных веществ, сульфатов, хлоридов, десятки тонн фосфора, нефтепродуктов и других загрязняющих веществ, применяемых в процессе флотации апатит-нефелиновых руд (ОП-4, талловые масла и др.). Сюда также сбрасываются коммунально-бытовые сточные воды городов Кировск и Апатиты.

Для понимания последствий антропогенного воздействия на зоопланктон губы Белой в качестве условно-фоновых показателей рас-

смаатриваются сообщества восточного и западного участков плеса Бабинская Имандра (см. рис. 1), которые не испытывают прямого техногенного воздействия.

Отбор проб зоопланктона в губе Белой проводили в летний сезон 1996, 1998, 2001, 2003, 2006, 2011 и 2012 гг., в условно-фоновом районе – в 1996, 1998, 2003, 2006 и 2011 гг. Всего собрано, обработано и проанализировано 50 проб (см. рис. 1).

Количественные пробы отбирали батометром (объем 2 и 6 л) от поверхности до дна через 1 м в слоях 0–2 м, 2–5 м, 5–10 м, 10 м – дно. Интегральные пробы с каждого слоя процеживали через качественную сеть Апштейна (сито № 70) в бутылки с плотными резиновыми пробками. Для установления видового состава зоопланктона проводили тотальный лов той же сетью. Полученный материал фиксировали 4%-м формалином.

Обработка проб и необходимые расчеты проводились согласно общепринятым методикам гидробиологического мониторинга [Руководство..., 1992]. Расчет биомассы выполнен на основе уравнения зависимости между длиной и массой тела планктонных коловраток и ракообразных [Ruttner-Kolisko, 1977; Балушкина, Винберг, 1979]. Базовую статистическую обработку количественных показателей зоопланктона проводили с использованием программы Statistica 6,0.

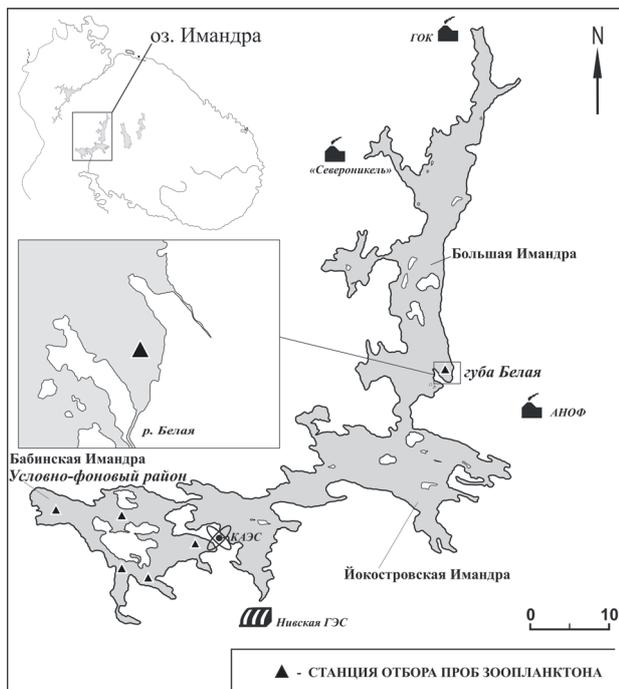


Рис. 1. Карта-схема района исследований и станции отбора гидробиологических проб

Индекс сапробности по Пантле и Букку в модификации Сладечека рассчитывали исходя из индивидуальных характеристик сапробности видов [Макрушин, 1974]. Оценка качества воды по гидробиологическим показателям проводилась согласно «Правилам контроля качества воды водоемов и водотоков». Межгосударственный стандарт ГОСТ 17.1.3.07–82 [Правила...]. При определении трофического статуса исследованных участков водоема использовали шкалу трофности [Китаев, 1984].

Результаты и обсуждение

Гидрохимические показатели. Вода субарктического олиготрофного оз. Имандра характеризуется низкой минерализацией (20–30 мг/л) и относится к гидрокарбонатно-натриевому типу. Однако продолжительное интенсивное загрязнение водоема обусловило изменение его гидрохимического режима, наиболее ярко проявляющееся в местах сброса сточных вод. Губа Белая является одним из наиболее загрязняемых участков акватории оз. Имандра. Согласно ряду данных [Моисеенко, 1997; Кашулин и др., 2008], в период интенсивного антропогенного воздействия стоки ОАО «Апатит» приводили к увеличению в воде губы Белой содержания Sr (превышение фонового уровня в 5 раз), Al (в 3 раза), Mn (в 2 раза) и Zn (в 3,5 раза). Также высокими были и концентрации Na, K, P, Al, содержащихся в апатит-нефелиновых рудах и вскрышных породах, прежде всего в апатите и нефелине. То же относится и к сопутствующим им Sr, Mg и др. редкоземельным элементам.

Максимальное загрязнение озера отмечалось в конце 1970-х годов, когда ежегодно в водоем сбрасывалось до 240 млн м³ сточных вод, содержащих тысячи тонн взвешенных веществ (сульфатов, хлоридов, фосфора, нефтепродуктов) и других загрязняющих веществ, в составе которых присутствовали остаточные концентрации токсичных органических веществ, применяемых в процессе флотации апатит-нефелиновых руд (ОП-4, талловые масла и др.). Прозрачность воды в губе Белой в этот период составляла 0,5–1,0 м. В сентябре 1978 г. была введена первая очередь комплекса с использованием в технологическом процессе частичного оборотного водоснабжения, что позволило снизить объем сброса сточных вод. В дальнейшие годы тенденция снижения сохранялась в связи с сокращением производства вследствие экономического кризиса, а с 1997 г. объем сточных вод опять стал резко увеличиваться [Моисеенко и др., 2002].

Таблица 1. Гидрохимические показатели условно-фоновых района и губы Белой оз. Имандра в многолетнем ряду наблюдений

| Дата отбора проб | Гидрохимические показатели | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | N _{общ} (мкг/л) | NO ₃ ⁻ (мкг/л) | NH ₄ ⁺ (мкг/л) | P _{общ} (мкг/л) | PO ₄ ³⁻ (мкг/л) | Ca ²⁺ (мг/л) | Mg ²⁺ (мг/л) | Na ⁺ (мг/л) | K ⁺ (мг/л) | SO ₄ ²⁻ (мг/л) | Cl ⁻ (мг/л) | Si (мг/л) | Fe (мкг/л) | Al (мкг/л) | Cu (мкг/л) | Ni (мкг/л) | Zn (мкг/л) | Mn (мкг/л) | Sr (мкг/л) |
| Условно-фоновый район | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27.07.1996 | 136,0 | 7,5 | 30,0 | 8,0 | 1,0 | 3,5 | 1,1 | 6,7 | 1,4 | 11,4 | 2,8 | 1,4 | 15,5 | 22,5 | 2,1 | 2,0 | 1,1 | 1,6 | 63,0 |
| 30.07.1998 | 104,0 | 32,0 | 17,0 | 1,0 | 0,1 | 3,3 | 0,9 | 5,4 | 1,3 | 9,4 | 2,1 | 1,2 | 19,5 | 19,5 | 2,3 | 1,9 | 2,0 | 0,9 | 39,5 |
| 20.06.2001 | 136,7 | 33,2 | 13,0 | 4,0 | 0,5 | 3,1 | 1,0 | 4,6 | 1,2 | 8,1 | 1,7 | 1,6 | 19,4 | 17,7 | 2,2 | 1,8 | 0,8 | 1,8 | 47,7 |
| 14.08.2003 | 94,0 | 1,0 | 6,0 | 4,0 | 2,0 | 3,5 | 1,1 | 6,3 | 1,3 | 10,7 | 2,2 | 1,1 | 14,0 | 10,7 | 2,6 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 51,0 |
| 17.08.2006 | 142,0 | 1,0 | 11,5 | 4,5 | 1,0 | 3,4 | 1,0 | 6,5 | 1,5 | 10,1 | 2,5 | 1,0 | 10,9 | 14,5 | 6,7 | 3,8 | 2,3 | 1,3 | 42,5 |
| 23.07.2011 | 142,0 | 6,2 | 6,0 | 3,0 | 2,0 | 3,2 | 1,0 | 6,2 | 1,3 | 9,9 | 2,2 | 1,1 | 17,0 | 17,0 | 3,7 | 1,6 | 0,9 | 2,4 | 53,0 |
| Губа Белая | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30.07.1996 | 433,5 | 291,5 | 92,0 | 54,0 | 15,0 | 4,5 | 1,1 | 16,4 | 2,5 | 23,7 | 5,8 | 0,5 | 27,0 | 82,5 | 3,7 | 7,0 | 0,9 | 18,0 | 82,0 |
| 23.07.1998 | 381,0 | 162,5 | 8,5 | 10,5 | 4,5 | 4,0 | 1,0 | 13,3 | 2,8 | 21,7 | 4,5 | 0,3 | 49,5 | 88,5 | 9,1 | 15,5 | 2,8 | 19,5 | 62,5 |
| 29.08.2001 | 348,0 | 114,0 | 48,5 | 58,0 | 5,4 | 4,2 | 0,5 | 17,5 | 3,1 | 25,5 | 5,4 | 0,7 | 63,4 | 85,0 | 3,6 | 6,1 | 1,5 | 16,8 | 84,0 |
| 13.08.2003 | 341,0 | 72,5 | 56,0 | 57,0 | 6,0 | 4,1 | 1,2 | 17,5 | 3,1 | 28,5 | 5,6 | 0,3 | 41,9 | 113,0 | 4,7 | 8,2 | 2,4 | 13,3 | 69,5 |
| 14.08.2006 | 351,0 | 102,5 | 58,0 | 53,5 | 20,0 | 4,1 | 1,1 | 15,5 | 3,4 | 22,4 | 4,9 | 0,1 | 49,4 | 53,0 | 5,2 | 6,2 | 2,1 | 15,7 | 50,5 |
| 27.07.2011 | 334,0 | 176,0 | 58,0 | 30,0 | 9,5 | 4,0 | 1,0 | 16,2 | 3,2 | 26,5 | 5,5 | 0,2 | 62,0 | 114,0 | 4,2 | 6,1 | 1,9 | 21,0 | 82,5 |

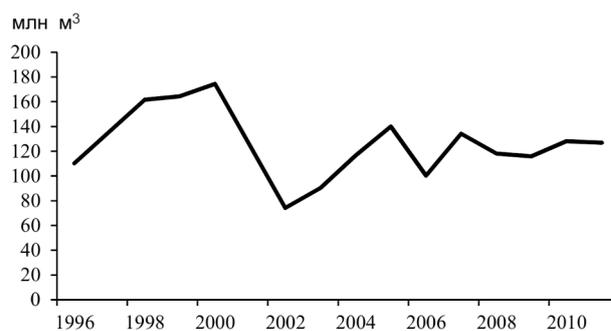


Рис. 2. Динамика объема стоков ОАО «Апатит»

В 1999–2000 гг. объем стоков составлял 164–174 млн м³, в 2002–2003 гг. он снизился приблизительно в 2 раза, затем в 2005 г. снова возрос до 140 млн м³, но не достиг уровня загрязнения конца 1990-х годов. Начиная с 2005 г. наметилась тенденция к снижению техногенной нагрузки на водоем, которая сохраняется по настоящее время (рис. 2) [Состояние..., 1999, 2000, 2002; Доклад..., 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2011, 2012].

В современный период прозрачность воды в губе Белой составляет 2,8 м, но содержание взвешенных веществ > 2,0 мг/л (при нормативе 0,25 мг/л для водоемов высшей рыбохозяйственной категории), что превышает фоновые показатели [Об утверждении..., 2010]. Концентрации N_{общ} и P_{общ} также значительно выше, чем в остальных районах озера (табл. 1). Высокая концентрация фосфора связана с поступлением коммунальных стоков из Кировска и Апатитов, а также с распространением тонкодисперсных фосфорсодержащих взвесей, присутствующих в сточных водах ОАО «Апатит». Здесь же отмечается и максимальное количество нитратов, которые составляют ≥ 50 % от общего содержания азота. Высокая концентрация N_{общ} в воде может являться следствием попадания в водоемы нитратов и нитритов, образующихся при использовании азотсодержащих взрывчатых веществ в процессе добычи апатитовой руды.

Зоопланктон условно-фоновых района в настоящее время представлен 27 видами: Rotifera – 9, Cladocera – 10, Copepoda – 8 (табл. 2). За период исследований значительных изменений видового состава зоопланктона не отмечено. Доминировали *Asplanchna priodonta*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Kellicottia longispina*, *Notholca caudata*, *Bosmina obtusirostris*.

Численность и биомасса зоопланктона непостоянны и варьировали в пределах 7,8–230,1 тыс. экз./м³ и 0,2–1,0 г/м³ соответственно (табл. 3). Высокие значения данных показателей были зарегистрированы в июле 1996 г.

Таблица 2. Таксономический состав зоопланктонного сообщества условно-фонового района и губы Белой оз. Имандра в многолетнем ряду наблюдений

| Таксоны | Губа Белая | | | | | | | Условно-фоновый район |
|---|------------|------|------|------|------|------|------|------------------------------|
| | 1996 | 1998 | 2001 | 2003 | 2006 | 2011 | 2012 | 1996, 1998, 2003, 2006, 2011 |
| Rotifera | | | | | | | | |
| <i>Asplanchna priodonta</i> Gosse | + | +D | + | +D | + | + | + | +D |
| <i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof) | + | + | +D | + | + | + | + | + |
| <i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas | - | - | - | - | - | + | +D | - |
| <i>Conochilus unicornis</i> Rousselet | + | - | - | - | - | - | - | + |
| <i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg | - | - | - | + | - | - | - | - |
| <i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg) | - | + | - | - | - | - | - | - |
| <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott) | + | + | + | + | + | + | + | +D |
| <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse) | +D | + | + | + | +D | +D | +D | +D |
| <i>K. hiemalis</i> Carlin | +D | - | - | - | - | - | - | + |
| <i>K. quadrata</i> (Müller) | + | +D | + | - | + | + | + | +D |
| <i>Notholca caudata</i> Carlin | +D | +D | - | + | - | - | + | +D |
| <i>Polyarthra</i> sp. | + | + | - | + | +D | +D | +D | +D |
| <i>Ploesoma</i> sp. | - | - | - | - | - | + | + | - |
| <i>Rotatoria</i> sp. | + | - | - | - | - | - | + | - |
| <i>Synchaeta</i> sp. | + | + | +D | +D | + | +D | + | - |
| <i>Trichocerca</i> sp. | - | - | - | + | - | - | - | - |
| <i>Trichotria</i> sp. | - | - | - | + | - | - | - | - |
| Число видов в группе | 11 | 8 | 6 | 10 | 7 | 9 | 11 | 9 |
| Cladocera | | | | | | | | |
| <i>Alona quadrangularis</i> (O. F. Müll.) | - | - | - | - | - | - | - | + |
| <i>Alonopsis elongata</i> Sars | - | - | + | - | - | - | - | - |
| <i>Bosmina obtusirostris</i> Sars | + | + | +D | + | + | + | + | +D |
| <i>Bythotrephes cederstroemii</i> Schoedler | - | - | - | - | - | - | - | + |
| <i>Bythotrephes longimanus</i> Leydig | - | - | - | - | - | - | - | + |
| <i>Chydorus globosus</i> Baird | - | - | - | - | - | + | - | - |
| <i>Daphnia cristata</i> Sars | - | - | - | - | - | - | - | + |
| <i>Daphnia</i> sp. | - | - | + | + | - | - | + | - |
| <i>Eurycercus lamellatus</i> (Müller) | - | - | - | - | - | - | - | + |
| <i>Holopedium gibberum</i> Zaddach | - | - | - | + | - | - | - | + |
| <i>Leptodora kindtii</i> (Focke) | - | - | - | + | - | + | + | + |
| <i>Polyphemus pediculus</i> (Linne) | - | - | - | - | - | - | - | + |
| <i>Scapholeberis mucronata</i> (Müller) | - | - | - | - | - | - | - | + |
| Число видов в группе | 1 | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 3 | 10 |
| Copepoda | | | | | | | | |
| <i>Acanthocyclops viridis</i> (Jurine) | - | - | - | - | - | - | - | + |
| <i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fisch.) | - | - | - | - | - | + | - | - |
| <i>Acanthocyclops</i> sp. | + | + | - | - | - | - | - | + |
| <i>Cyclops scutifer</i> Sars | + | + | + | - | - | - | - | + |
| <i>C. vicinus</i> Uljanin | + | + | - | - | - | - | - | + |
| <i>Cyclops</i> sp. | + | - | + | + | - | + | + | + |
| <i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars) | - | + | - | - | - | - | - | + |
| <i>Heterocope appendiculata</i> Sars | - | - | - | - | - | - | - | + |
| <i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus) | - | + | +D | + | - | - | + | + |
| Число видов в группе | 4 | 6 | 3 | 2 | - | 2 | 2 | 8 |
| Общее число видов | 16 | 15 | 12 | 16 | 8 | 14 | 16 | 27 |

Примечание. «+» – присутствие вида, «-» – отсутствие. D – доминирующий вид в конкретный период исследования.

(см. табл. 3). Основу численности и биомассы составляли коловратки (табл. 4).

В июле 1998 г. общая численность по сравнению с 1996 г. снизилась примерно в 5 раз (см. табл. 3). На долю коловраток приходилось 45,7 %, копепод – 36,7 % общей численности, по биомассе преобладали кладоцеры (см. табл. 4).

В августе 2003 г. величины общей численности и биомассы оставались невысокими (см. табл. 3), по численности преобладали коловратки, по биомассе – копеподы (см. табл. 4).

В августе 2006 г. по сравнению с 2003 г. общая численность зоопланктона увеличилась в 6 раз, биомасса – в 2 раза (см. табл. 3). По численности также преобладали коловратки, по биомассе – копеподы (см. табл. 4).

Самая высокая для данного района численность зоопланктона отмечена в июле–августе 2011 г., в то время как биомасса достоверно не отличалась от таковой в предыдущие периоды исследований (см. табл. 3). Это было обусловлено массовым развитием мелких коловраток *Polyarthra* sp. (75,9 %) и *Keratella cochlearis* (51,0 %).

В целом за исследованный период в зоопланктоне условно-фоновом участка по численности преобладали коловратки, по биомассе – наиболее ценные в кормовом отношении ветвистоусые (*Bosmina obtusirostris*, *Daphnia cristata*, *Holopedium gibberum*) и веслоногие (*Mesocyclops leuckarti*, *Eudiaptomus gracilis*) ракообразные (см. табл. 4). Это подтверждает и показатель отношения биомассы ракообразных к биомассе коловраток ($B_{Crust}/B_{Rot} > 1$, за исключением августа 2006 г.). Кладоцеры преобладали над веслоногими по численности в июле 1996 и 1998 гг. ($N_{Clad}/N_{Cop} > 1$), в июле 2003, 2006 и 2011 гг. наблюдалась обратная картина ($N_{Clad}/N_{Cop} < 1$). В 1996 и 1998 гг. следует отметить обильное развитие чувствительных к загрязнению активных «грубых» мирных фильтраторов Calanoida (*Eudiaptomus gracilis*, *Holopedium appendiculata*), играющих значительную роль в процессе самоочищения воды (отношение биомассы хищных форм к биомассе фильтраторов $B_3/B_2 < 1$). В остальные годы исследований хищники преобладали над мирными. Индекс видового разнообразия Шеннона варьировал от 1,7 до 2,9 бит/экз. Диапазон колебаний средней индивидуальной массы зоопланктона (0,006–0,021 мг) согласуется с данными для других водоемов Кольского п-ова [Кашулин и др., 2005, 2008].

По шкале трофности вода условно-фоновой района относилась к низкому типу трофнос-

ти, трофический статус – олиготрофный (см. табл. 3).

Зоопланктон губы Белой радикально отличается от такового в условно-фоновом районе. Для него характерны резкие колебания численности и биомассы, изменение видового состава. Ретроспективный анализ данных показал, что многолетняя динамика зоопланктона до начала 1980-х гг. характеризовалась сокращением видового богатства, численности и биомассы, а к 1990 г. – увеличением. В период исследований с 1978 по 1991 год отмечалось массовое развитие коловраток (численность выше 70 %, биомасса 55 %) [Яковлев, 1998]. Вблизи дамбы отстойника АНОФ видовой состав зоопланктона был крайне обедненным, а количественные показатели низкими. К выходу в открытое озеро видовое богатство, численность и биомасса зоопланктона закономерно возрастали (в основном за счет коловраток). На специфическую структуру сообщества зоопланктона могло оказать влияние и обильное развитие в воде сапрофитных, денитрифицирующих бактерий, актиномицетов и «фосфорных» бактерий, способных разлагать некоторые нерастворимые минеральные формы $P_{общ}$. [Евдокимова, 1988; Яковлев, 1998]. Среди доминирующих таксонов отмечались *Asplanchna priodonta*, *Notholca* sp., *Acanthocyclops* sp. Фильтраторы и седиментаторы были обнаружены только в пелагиали плеса, где концентрация минеральных тонкодисперсных частиц в воде была сравнительно низкой. Здесь наряду с *Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis* и *Synchaeta pectinata* в пробах присутствовал рачок *Bosmina obtusirostris* [Деньгина, 1980; Моисеенко, Яковлев, 1990; Яковлев, 1995].

В ходе наших исследований в составе зоопланктона губы Белой выявлено 30 видов: Rotifera – 17, Cladocera – 6, Copepoda – 7. В составе руководящего комплекса организмов в разные периоды исследований преобладали коловратки *Asplanchna priodonta*, *Brachionus calyciflorus*, *Bipalpus hudsoni*, *Keratella cochlearis*, *K. hiemalis*, *K. quadrata*, *Notholca caudata*, *Polyarthra* sp., *Synchaeta* sp. и ветвистоусый рачок-фильтратор *Bosmina obtusirostris* (см. табл. 2).

Следует отметить, что видовой состав зоопланктона в различные годы был непостоянен и число видов в отдельные сезоны колебалось от 8 до 16. Присутствовали зоопланктеры, которые не встречались в условно-фоновом районе: из коловраток – *Euchlanis dilatata*, *Filinia longiseta*, *Ploesoma* sp., *Synchaeta* sp., *Trichocerca* sp., *Trichotria* sp.; из кладоцер – *Alonopsis elongata*,

Таблица 3. Количественные показатели зоопланктонного сообщества условно-фоновый района и губы Белой оз. Имандра в многолетнем ряду наблюдений

| Периоды | N, тыс. экз./м ³ | B, г/м ³ | H (N), бит/экз. | Трофический статус |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|
| Условно-фоновый район | | | | |
| июль 1996 г. | 96,5 | 1,0 | 2,5 | олиготрофный |
| июль 1998 г. | 20,1 | 0,4 | 2,6 | олиготрофный |
| август 2003 г. | 7,8 | 0,2 | 2,9 | олиготрофный |
| август 2006 г. | 43,4 | 0,4 | 1,7 | олиготрофный |
| июль-август 2011 г. | <u>230,1</u> 76,0–331,6 | <u>0,5</u> 0,4–0,6 | <u>1,7</u> 1,6–1,9 | олиготрофный |
| Губа Белая | | | | |
| июль 1996 г. | 491,1 | 3,4 | 2,9 | β-мезотрофный |
| июль 1998 г. | 326,5 | 2,8 | 1,9 | β-мезотрофный |
| август 2001 г. | 14,5 | 0,2 | 1,6 | олиготрофный |
| август 2003 г. | 35,8 | 0,6 | 2,9 | олиготрофный |
| август 2006 г. | 232,9 | 0,3 | 2,2 | олиготрофный |
| июль-август 2011 г. | <u>1064,5</u> 206,6–1927,7 | <u>7,1</u> 0,2–12,7 | <u>1,1</u> 0,5–1,6 | α-эвтрофный |
| июль-август 2012 г. | <u>645,5</u> 611,2–680,0 | <u>1,3</u> 1,2–1,3 | <u>2,1</u> 2,1–2,4 | α-мезотрофный |

Таблица 4. Структурные показатели зоопланктонного сообщества в исследованных районах оз. Имандра в многолетнем ряду наблюдений

| Показатель | июль 1996 | июль 1998 | август 2001 | август 2003 | август 2006 | июль-август 2011 | июль-август 2012 |
|------------------------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------|
| Условно-фоновый район | | | | | | | |
| $N_{Rot} : N_{Clad} : N_{Cop}$, % | 87:8:5 | 46:37:17 | – | 63:11:26 | 86:1:14 | 93:2:5 | – |
| $B_{Rot} : B_{Clad} : B_{Cop}$, % | 50:32:18 | 16:56:28 | – | 24:14:62 | 26:1:74 | 32:11:57 | – |
| B_{Crust} / B_{Rot} | 1,0 | 5,3 | – | 3,2 | 0,01 | 2,4 | – |
| N_{Clad} / N_{Cop} | 1,7 | 2,1 | – | 0,4 | 0,04 | 0,2 | – |
| B_3 / B_2 | 0,6 | 0,5 | – | 1,9 | 3,9 | 2,3 | – |
| Индекс Шеннона, бит/экз. | 2,7 | 2,8 | – | 2,9 | 1,7 | 1,7 | – |
| $w = B/N$, мг | 0,006 | 0,02 | – | 0,02 | 0,01 | 0,01 | – |
| Губа Белая | | | | | | | |
| $N_{Rot} : N_{Clad} : N_{Cop}$, % | 97:1:3 | 98:1:1 | 37:37:36 | 77:9:14 | 97:2:1 | 96:3:1 | 97:2:1 |
| $B_{Rot} : B_{Clad} : B_{Cop}$, % | 92:1:7 | 96:1:3 | 8:53:39 | 15:59:26 | 54:45:1 | 58:29:13 | 49:37:14 |
| B_{Crust} / B_{Rot} | 0,1 | 0,04 | 11,8 | 6,5 | 0,9 | 0,9 | 1 |
| N_{Clad} / N_{Cop} | 0,1 | 1,0 | 1,4 | 0,6 | – | 8,8 | 6,1 |
| B_3 / B_2 | 0,9 | 0,9 | 0,6 | 2,8 | 0,2 | 2,1 | 0,4 |
| Индекс Шеннона, бит/экз. | 2,9 | 1,9 | 1,6 | 2,9 | 2,3 | 1,3 | 2,1 |
| $w = B/N$, мг | 0,007 | 0,008 | 0,014 | 0,01 | 0,001 | 0,006 | 0,001 |

Примечание. N_{Rot} , N_{Clad} , N_{Cop} – численность коловраток, кладоцер и копепоид; B_{Rot} , B_{Clad} , B_{Cop} , B_{Crust} – биомасса коловраток, кладоцер, копепоид, ракообразных; B_3 – биомасса хищного зоопланктона, B_2 – «мирного»; «–» – отсутствие данных.

Chydorus globosus, *Daphnia* sp.; из копепоид – *Acanthocyclops vernalis*.

В июле 1996 и 1998 гг. в губе Белой были зарегистрированы высокие значения общей численности зоопланктона (см. табл. 3), число видов – 16 и 15 соответственно (см. табл. 2). Основу численности составляли коловратки за счет *Asplanchna priodonta* (80–90 % от общей численности). Величины общей биомассы также были высокими (см. табл. 3), преобладали коловратки.

Подобная структура зоопланктона характерна и для других северных озер, загрязняемых стоками горнорудных производств. Так, В. И. Кухарев с соавт. [1998] также отмечает доминирование коловраток и практически полное исчезновение рачков группы *Calanoida* в водах наиболее экологически нарушенного водоема – хвостохранилища Костомукшского ГОК.

По шкале трофности вода губы Белой летом 1996 и 1998 гг. относилась

к среднему типу трофности, трофический статус – β -мезотрофный (см. табл. 3).

В конце августа 2001 г. в планктоне губы Белой было выявлено 12 видов беспозвоночных, из них Rotifera – 6, Cladocera – 3, Copepoda – 3 (см. табл. 2). Значения общей численности, биомассы и индекса видового разнообразия Шеннона были самыми низкими в многолетнем ряду наблюдений (см. табл. 3). В планктоне не были обнаружены ранее обычные для озера ценные в кормовом отношении ветвистоусые (*Daphnia longispina*, *D. galeata*, *D. longiremis*, *Leptodora kindtii*) и веслоногие (*Eudiaptomus graciloides*, *Heterocope appendiculata*) ракообразные. Доминирующий комплекс составляли *Synchaeta* sp., *Bipalpus hudsoni*, *Bosmina obtusirostris*, *Mesocyclops leuckarti*.

В середине августа 2003 г. зарегистрировано 16 таксонов видового ранга: Rotifera – 10, Cladocera – 4, Copepoda – 2 (см. табл. 2). Показатели общей численности и биомассы зоопланктона превышали таковые за 2001 г. (соответственно в 2,5 и 3 раза), но по-прежнему оставались низкими по сравнению с другими периодами исследований, чего нельзя сказать об индексе видового разнообразия Шеннона (см. табл. 3). Доминировали коловратки *Bosmina hudsoni* и *Kellicottia longispina*. Следует отметить, что в планктоне были обнаружены ранее обычные для озера и ценные в кормовом отношении ветвистоусые ракообразные *Holopedium gibberum* и *Daphnia* sp.

В августе 2006 г. общая численность зоопланктона снова возросла до 232,9 тыс. экз./м³, в то время как величина общей биомассы оставалась довольно низкой (0,3 г/м³) (см. табл. 3), что было обусловлено преобладанием коловраток, имеющих мелкие размеры – *Keratella cochlearis* и *Polyarthra* sp. Из ветвистоусых ракообразных была отмечена только *Bosmina obtusirostris*, представители веслоногих в пробах отсутствовали. Общее число видов в сообществе было минимальным – 8 (см. табл. 2).

По шкале трофности вода акватории губы Белой в 2001, 2003 и 2006 гг. принадлежала к низкому классу трофности, трофический статус – олиготрофный (см. табл. 3).

Аномально высокие показатели численности и биомассы зоопланктона зарегистрированы в июле 2011 г., что по-прежнему было связано с массовым развитием коловраток (*Keratella cochlearis*, *Polyarthra* sp., *Synchaeta* sp.) и присутствием в пробах ветвистоусых ракообразных родов *Bosmina*, *Chydorus*, хищной

Leptodora kindtii, обладающей крупными размерами, а также веслоногих хищных Cyclopoida родов *Acanthocyclops* и *Cyclops* (см. табл. 2). При этом индекс видового разнообразия Шеннона был самым низким по сравнению с предыдущими годами (см. табл. 3). Высокие количественные показатели зоопланктона, по-видимому, связаны с процессом эвтрофирования, вызванным высоким содержанием в воде основных биогенных элементов $N_{\text{общ}}$ (334,0 мкг/л) и $P_{\text{общ}}$ (30,0 мкг/л), поступающих с хозяйственно-бытовыми стоками и отходами апатит-нефелиновой индустрии (см. табл. 1). Биогены снижают токсичность тяжелых и других металлов и частично оказывают стимулирующее влияние на развитие зоопланктона [Дубровина и др., 1991]. М. Т. Сярки [Биоресурсы..., 2008] также отмечает максимальные биомассы зоопланктона для антропогенно-эвтрофированной системы в вершинной части Кондопожской губы Онежского озера (до 6 г/м²), где с увеличением трофности повышалась доля кладоцер и коловраток.

К августу количественные показатели зоопланктона снизились до величин, близких к отмеченным в предыдущие периоды исследований (см. табл. 3), общее число видов – 14 (табл. 2). Вода принадлежала к высокому классу трофности, трофический статус – α -эвтрофный (см. табл. 3).

Летом 2012 г. в губе Белой было отмечено 16 видов зоопланктеров: Rotifera – 11, Cladocera – 3, Copepoda – 2 (см. табл. 2). Величины общей численности и биомассы были соответственно в 1,6 и 5,5 раза ниже, чем в 2011 г., но превышали таковые за многолетний период (см. табл. 3). Индекс видового разнообразия Шеннона 2,1 бит/экз. Доминировали коловратки *Brachionus calyciflorus*, *Keratella cochlearis* и *Polyarthra* sp. Трофический статус акватории характеризовался как α -мезотрофный.

В целом за период наших исследований отмечено преобладание типичных индикаторов загрязнения – коловраток (*Asplanchna priodonta*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra* sp., *Synchaeta* sp.). Это подтверждает и показатель отношения биомассы ракообразных к биомассе коловраток ($B_{\text{Crust}}/B_{\text{Rot}} \leq 1$ за исключением августа 2001 и 2003 гг.). В разные годы наблюдались вспышки численности и других видов коловраток, например, *Bipalpus hudsoni* (2001 г.), *Brachionus calyciflorus* (2012 г.), *Notholca caudata* (1996–1998 гг.). «Мирная» коловратка *Keratella hiemalis* доминировала в 1996 г., но в дальнейший период в пробах не встречалась. Из кладоцер наибольшего развития достигала *Bosmina obtusirostris*, из весло-

ногих – *Cyclops* sp. Показатель $N_{\text{Clad}}/N_{\text{Cоп}} > 1$ за исключением 1996 и 2003 гг. Следует отметить, что чувствительные к загрязнению активные «грубые» фильтраторы Calanoida, изымающие из толщи воды крупные частицы взвешенных органических веществ, в пробах отсутствовали или были отмечены единично, что свидетельствует о снижении биофильтрационной активности зоопланктона в данном районе озера. «Мирные» формы зоопланктона преобладали над хищными ($B_3/B_2 < 1$, исключение – 2003 и 2011 гг.). Индекс видового разнообразия Шеннона варьировал от 1,3 до 2,9 бит/экз. Величина средней индивидуальной массы зоопланктона (0,001–0,018 мг) отражает преобладание форм, имеющих мелкие размеры, – коловраток.

Обильное развитие коловраток можно объяснить их повышенной устойчивостью к токсикантам, благодаря смешанному характеру питания, слабым выеданием хищниками, а также меньшей по сравнению с ракообразными чувствительностью к условиям высоких концентраций неорганической взвеси в воде [Телеш, 1996; Gliwicz, 1969; Malley et al., 1982; Brezonik et al., 1984].

К многочисленным факторам среды, воздействующим на гидробионтов, относится и повышение мутности водных масс в результате влияния естественных и антропогенных факторов. По данным Л. М. Суцzeni [1975] и Б. Л. Гутельмахера [1986], избыток взвеси оказывает механическое воздействие на низших ракообразных. Минеральные частицы забивают фильтрационный аппарат многих фильтраторов (клагоцеры и каланоиды), препятствуя тем самым их питанию и способствуя погружению организмов ко дну и их отмиранию [Ривьер, 1990]. Опыты, проведенные на популяции *Daphnia magna* Straus, показали, что после пребывания рачков в воде с высоким содержанием минеральных частиц грунта отмечается снижение устойчивости дафний к воздействию токсических веществ за счет изменения состояния адаптационных возможностей организма [Горбунова, 1991]. Отрицательное влияние механических примесей на гидробионтов выражается в основном в гибели взрослых особей и молоди, а также в нарушении процессов размножения и развития, в резорбции и выбрасывании яиц и мертвых зародышей, образовании эфиппиев. Коагуляционные частицы засоряют фильтрационные аппараты рачков, лишая их возможности нормально плавать и питаться [Куликова, 1976].

Отсутствие в пробах наиболее чувствительных к загрязнению типичных обитателей север-

ных водоемов из зон тундры и тайги каланоид (*Eudiaptomus graciloides*, *Heterocope appendiculata*) указывает на неблагоприятную экологическую ситуацию в зоне влияния сточных вод апатит-нефелинового производства.

Полученные данные согласуются с результатами других исследователей. В частности, Н. М. Калинкина и Т. П. Куликова [2005, 2009] в своих работах отмечают меньшую устойчивость данных рачков к действию минеральных загрязняющих веществ. Эврибионтные виды кладоцер и коловраток (родов *Bosmina*, *Asplanchna*, *Keratella*) более толерантны к минеральному загрязнению, что обусловило их выживание в водах с повышенными концентрациями неорганических веществ. Основным фактором, с которым связаны перестройки в сообществе, по мнению данных авторов, является не ухудшение трофических условий, а различная толерантность планктонных беспозвоночных к отходам горнорудного производства. По степени толерантности к нарушению ионного состава воды среди массовых видов были выделены три группы организмов: с весьма низкой толерантностью – *Holopedium gibberum*, *Leptodora kindtii*, *Polyphemus pediculus*, *Bosmina longimanus*, *Eudiaptomus gracilis*, *Heterocope appendiculata*; со средней – *Thermocyclops oithonoides*, *Mesocyclops leuckarti*, *Daphnia cristata*, *Bosmina obtusirostris*, *Kellicottia longispina* и с высокой – *Daphnia longispina*, *Bipalpus hudsoni* и др. [Калинкина, Куликова, 2005, 2009].

Анализ количественных показателей зоопланктона исследуемых районов оз. Имандра за многолетний период наблюдений выявил, что значения общей численности и биомассы в губе Белой значительно превышали таковые условно-фоновому району (табл. 5). При этом для них характерны резкие колебания (рис. 3) при непостоянстве видового состава (см. табл. 2). Совершенно очевидно, что система находится в нестабильном состоянии и подвержена значительным флуктуациям. Выделить ключевые факторы, контролирующие численность зоопланктона губы Белой в условиях многофакторного разноуровневого загрязнения, достаточно сложно.

Несмотря на снижение в последнее десятилетие уровня антропогенной нагрузки, качество воды оз. Имандра по-прежнему остается неблагоприятным.

Раскрытие закономерностей и понимание механизмов формирования структуры зоопланктона в губе Белой оз. Имандра требует продолжения систематических гидробиологических и гидрохимических исследований.

Таблица 5. Количественные показатели численности (N), биомассы (B) зоопланктона и индекса видового разнообразия Шеннона по численности H (N) изученных участков оз. Имандра в период исследований

| Показатель | $M \pm m$ min-max | Std. Dev. |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------|
| Условно-фоновый район | | |
| N общая (тыс. экз./м ³) | $68,7 \pm 44,1$ 7,8–230,1 | 49,1 |
| B общая (г/м ³) | $0,4 \pm 0,2$ 0,1–0,7 | 0,2 |
| H (N) (бит/экз.) | $2,0 \pm 0,5$ 1,7–2,9 | 0,5 |
| Губа Белая | | |
| N общая (тыс. экз./м ³) | $401,5 \pm 140,1$ 14,5–1064,5 | 190,1 |
| B общая (г/м ³) | $2,2 \pm 0,9$ 0,2–7,1 | 1,6 |
| H (N) (бит/экз.) | $2,1 \pm 0,2$ 1,1–2,9 | 0,6 |

Примечание. В числителе – среднее значение и стандартная ошибка ($M \pm m$, $p = 0,05$), в знаменателе – предельные значения (min-max).

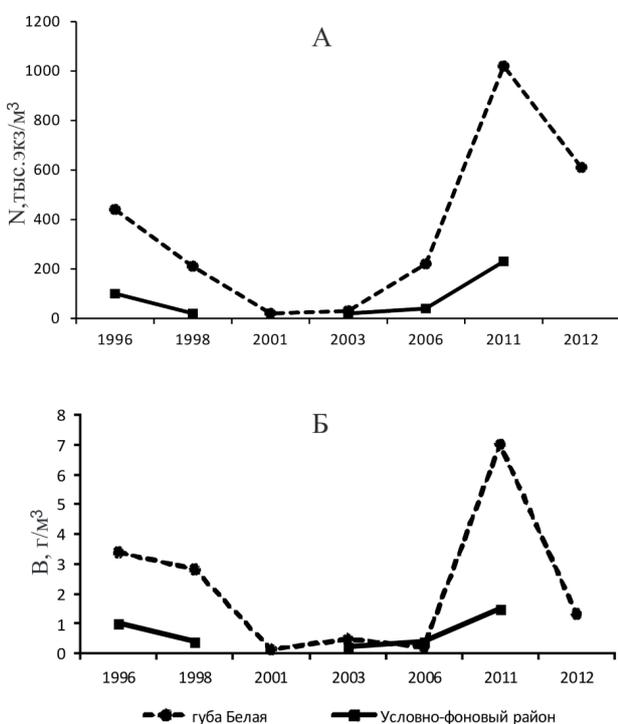


Рис. 3. Количественные показатели зоопланктона исследованных участков оз. Имандра в многолетнем ряду наблюдений: А – численность, Б – биомасса

Выводы

1. Таксономическая структура зоопланктонного сообщества является хорошим индикатором степени загрязнения водоема в целом или его отдельных участков. Зоопланктон удаленного от источников загрязнения условно-фоновом районе оз. Имандра характеризуется высокой долей фильтраторов за счет наиболее ценных в кормовом отношении крупных ветвистоусых (*Bosmina obtusirostris*, *Daphnia cristata*, *Holopedium gibberum*) и веслоногих (*Mesocyclops leuckarti*, *Eudiaptomus gracilis*) ракообразных, а также обильным развитием чувствительных к загрязнению активных «грубых» фильтраторов среди Calanoida (*Eudiaptomus gracilis*, *Heterocope appendiculata*), играющих значительную роль в процессе самоочищения воды.

2. В зоне влияния сточных вод апатит-нефелинового производства снижается обилие типичных представителей фауны олиготрофных озер (*Leptodora kindtii*, *Holopedium gibberum*) или полностью исчезают наиболее чувствительные к загрязнению обитатели северных водоемов – каланоиды *Eudiaptomus graciloides* и *Heterocope appendiculata*. Их замещают и постепенно формируют состав руководящего комплекса эврибионтные виды с широкой экологической валентностью, простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения – коловратки (*Asplanchna priodonta*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra* sp., *Synchaeta* sp.), значительная доля которых относится к космополитам. Это свидетельствует о снижении биофильтрационной активности зоопланктона в данном районе озера.

3. Количественные показатели зоопланктона также проявляют определенную специфику в зависимости от степени техногенного загрязнения водоема. Общая численность и биомасса зоопланктона в условно-фоновом районе составляли соответственно $68,7 \pm 44,1$ тыс. экз./м³ и $0,4 \pm 0,2$ г/м³ против $401,5 \pm 140,1$ тыс. экз./м³ и $2,2 \pm 0,9$ г/м³ в губе Белой. Обильное развитие зоопланктона в губе Белой связано с процессом эвтрофирования, которое выступает здесь «ведущим» фактором и обусловлено достаточно высокими концентрациями в воде биогенных (N и P) и органических веществ при сопутствующем техногенном загрязнении неорганической взвесью.

4. Установлено, что к наиболее информативным показателям структурной организации зоопланктона в условиях влияния сточных вод апатит-нефелинового производства относятся: соотношение основных таксономических

групп планктонных беспозвоночных в общей численности и биомассе; информационный индекс видового (таксономического) разнообразия Шеннона ($H_{\text{бит}}$) по численности; общая численность и биомасса зоопланктона; отношение биомассы Cladocera к биомассе Rotifera ($B_{\text{Crust}}/B_{\text{Rot}}$), численности Cladocera к численности Copepoda ($N_{\text{Clad}}/N_{\text{Cop}}$), биомассы хищных форм зоопланктона к биомассе фильтраторов (B_3/B_2); средняя индивидуальная масса зоопланктона (w).

5. Согласно шкале трофности С. П. Китаева [1984] в современный период исследований трофический статус губы Белой оз. Имандра характеризуется как переходный от повышенного α -эвтрофного к умеренному α -мезотрофному типу, трофический статус условно-фоновому району – олиготрофный.

Авторы выражают благодарность за практическую помощь при подготовке работы к. г. н. Л. П. Кудрявцевой, инженеру С. Н. Макогонюку, инженеру С. В. Постновой, студентке Кольского филиала Петрозаводского государственного университета И. В. Радущинской.

Литература

- Андриконова И. Н. Классификация озер по уровню биологической продуктивности // Теоретические вопросы классификации озер. СПб., 1993. С. 51–72.
- Андриконова И. Н. Использование структурно-функциональных показателей зоопланктона в системе мониторинга // Гидробиологическое исследование морских и пресных вод. Л., 1988. С. 47–53.
- Андриконова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб., 1996. 189 с.
- Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л., 1979. С. 58–72.
- Баранов И. В. Лимнологические типы озер СССР. Л., 1961. 276 с.
- Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН. 2008. С. 54–67.
- Большие озера Кольского п-ова. Л.: Наука, 1976. С. 349.
- Горбунова А. В. Влияние повышенной мутности воды на токсикорезистентность дафний // Тез. докл. II Всесоюз. конф. по рыбохоз. токсикологии. СПб., 1991. Т. 1. С. 121–122.
- Гутельмахер Б. Л. Метаболизм планктона как единого целого. Трофометаболические взаимодействия зоо- и фитопланктона. Л., 1986. 155 с.
- Деньгина Р. С. Экосистема озера Имандра под влиянием техногенного загрязнения. Апатиты. Кольск. фил. АН СССР. 1980. 78 с.
- Доклад о состоянии и охране окружающей среды Мурманской области в 2003 году. Мурманск, 2004. 138 с.
- Доклад о состоянии и охране окружающей природной среды Мурманской области в 2004 году. Мурманск, 2005. 128 с.
- Доклад по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Мурманской области в 2005 году. Мурманск, 2006. 120 с.
- Доклад по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Мурманской области в 2006 году. Мурманск, 2007. 160 с.
- Доклад по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Мурманской области в 2007 году. Мурманск, 2008. 147 с.
- Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2008 году. Мурманск: Мурм. кн. изд-во, 2009. 152 с.
- Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2010 году. Мурманск: Рекламное агентство XXI век, 2011. 152 с.
- Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2011 году. Мурманск: Ростсервис, 2012. 152 с.
- Дубровина Л. В., Помазовская И. В., Федорова Н. Ф., Флинк Е. В. К вопросу о влиянии биотических и абиотических факторов среды на токсичность тяжелых металлов // Тез. докл. II Всесоюз. конф. по рыбохоз. токсикологии. СПб., 1991. Т. 1. С. 168–170.
- Евдокимова Г. А. Изменение интенсивности микробиологических процессов в озере Имандра в связи с его загрязнением // Природа и хозяйство Севера. 1988. Вып. 16. 59 с.
- Калинкина Н. М., Куликова Т. П. Экологические особенности различных видов пресноводного зоопланктона и их толерантность к антропогенному воздействию // Структурно-функциональные особенности биосистем Севера (особи, популяции, сообщества): матер. конф. (Петрозаводск, 26–30 сент. 2005 г.). Ч. 1. Петрозаводск. 2005. С. 159–162.
- Калинкина Н. М., Куликова Т. П. Эволюционная обусловленность реакции гидробионтов на изменение ионного состава воды (на примере пресноводного зоопланктона) // Известия РАН. Серия биологическая. 2009. № 2. С. 243–248.
- Кашулин Н. А., Даувальтер В. А., Кашулина Т. Г. и др. Антропогенные изменения лотических экосистем Мурманской области. Ч. 1: Ковдорский район. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2005. 234 с.
- Кашулин Н. А., Денисов Д. Б., Сандимиров С. С. и др. Антропогенные изменения водных систем Хибинского горного массива (Мурманская область). Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2008. Т. 2. 282 с.
- Кашулин Н. А., Даувальтер В. А., Денисов Д. Б., Валькова С. А., Вандыш О. И., Терентьев П. М., Кашулина А. Н. Некоторые аспекты современного состояния пресноводных ресурсов Мурманской области // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 1. С. 98–107.
- Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М., 1984. 207 с.

Куликова Т. П. Сезонные изменения влияния сточных вод целлюлозно-бумажного комбината на зоопланктон Северного Выгозера (водохранилища) // Влияние отдельных компонентов сточных вод анилинокрасочной промышленности на гидробионтов. Л., 1976. С. 118–126.

Кухарев В. И., Калинин Н. М., Дубровина Л. В., Рябинкин А. В., Власова Л. И., Морозов А. К., Лозовик П. А. Комплексная оценка эколого-техногенной нагрузки (Костомукшский ГОК) на водные системы (р. Кенти) // Инженерная экология. М.: Инженерная экология, 1998. № 6. С. 33–41.

Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л., 1974. 60 с.

Моисеенко Т. И., Яковлев В. А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л., 1990. 221 с.

Моисеенко Т. И. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты, 1997. 261 с.

Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Кудрявцева Л. П., Ильяшук Б. П., Ильяшук Е. А., Лукин А. А., Сандимиров С. С., Каган Л. Я., Вандыш О. И., Шаров А. Н., Шарова Ю. Н., Королева И. М. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / Ред. Т. И. Моисеенко. М.: Наука, 2002. 487 с.

Моисеенко Т. И., Гашкина Н. А., Шаров А. Н., Вандыш О. И., Кудрявцева Л. П. Антропогенная трансформация Арктической экосистемы озера Имандра: тенденции к восстановлению после длительного периода загрязнения // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 3. С. 312–325.

Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20.

Правила контроля качества воды водоемов и водотоков (Межгосударственный стандарт ГОСТ 17.1.3.07–82).

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Наука, 1992. С. 318.

Ривьер И. К. Влияние стоков г. Череповца на зоопланктон Шекснинского плеса // Влияние стоков Череповецкого промышленного узла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища. Рыбинск, 1990. С. 42–58.

Смельская М. В. Индикаторная роль зоопланктона в оценке экологического состояния озера Галичского. СПб., 1994. С. 1–2.

Состояние природной среды и проблемы экологии на Кольском полуострове: Докл. Гос. ком. по охране окружающей среды Мурман. области. Мурманск, 1999. 217 с.

Состояние природной среды и проблемы экологии на Кольском полуострове: Докл. Гос. ком. по охране окружающей среды Мурман. области. Мурманск, 2000. 203 с.

Состояние природной среды и проблемы экологии на Кольском полуострове: Докл. Гос. ком. по охране окружающей среды Мурман. области. Мурманск, 2002. 128 с.

Суценья Л. М. Количественные закономерности питания ракообразных. Минск, 1975. 208 с.

Сярки М. Т. Зоопланктон Кондопожской губы Онежского озера в условиях антропогенного воздействия // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: тез. докл. межд. конф. Петрозаводск, 1995. С. 113–114.

Телеш И. В. Роль планктонных ракообразных в водных экосистемах разного типа (на примере Ладожского озера, р. Невы и Невской губы) // Материалы VII съезда гидробиол. общ. РАН. Казань. 1996. Т. 2. С. 90–92.

Яковлев В. А. Оценка многолетних изменений в развитии и структуре зоопланктона и зообентоса крупного субарктического водоема (на примере оз. Имандра). Проблемы химического и биологического мониторинга экологического состояния водных объектов Кольского Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 1995. 89 с.

Яковлев В. А. Реакция зоопланктона и зообентоса на изменение качества воды субарктического водоема (на примере озера Имандра) // Вод. рес. 1998. Т. 25, № 6. 715 с.

Brezonik P. L., Crisman T. L., Schultz R. L. Planktonic communities in Florida softwater lakes of varying pH // Can. J. Fish. Aquat. Sci., 1984. Vol. 41. P. 46–56.

Gliwicz Z. M. Studies on the feeding of pelagic zooplankton in lakes with varying trophy // Ekol. pol., 1969. Vol. 17, No 36. P. 663–708.

Malley D. F., Findlay D. L., Chang P. S. Ecological effects of acid precipitation on zooplankton // Acid precipitation: effects on ecological systems. Ann Arbor Publishers, Ann Arbor., 1982. P. 297–327.

Ruttner-Kolisko A. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers // Arch. Hydrobiol. Ergebn. Limnol. 1977. Bd. 8. P. 71–78.

Поступила в редакцию 05.07.2013

References

Andronikova I. N. Klassifikacija ozer po urovnju biologicheskoj produktivnosti [Lake classification based on the level of biological productivity]. *Teoreticheskie voprosy klassifikacii ozer [Theoretical issues of lake classification]*. St. Petersburg, 1993. S. 51–72.

Andronikova I. N. Ispol'zovanie strukturno-funkcional'nyh pokazatelej zooplanktona v sisteme monitoring

[The use of structural and functional parameters of zooplankton in the monitoring system]. *Gidrobiologicheskoe issledovanie morskikh i presnykh vod. [Hydrobiological study of sea and fresh waters]*. Leningrad, 1988. S. 47–53.

Andronikova I. N. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh

troficheskikh tipov [Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of various trophic types]. St. Petersburg, 1996. 189 s.

Balushkina E. V., Vinberg G. G. Zavisimost' mezhdu dlinoi i massoi tela planktonnykh rakoobraznykh [Length – body mass relation in plankton crustaceans]. *Ekspierimental'nye i polevye issledovaniya biologicheskikh osnov produktivnosti ozer [Experimental and field studies on biological bases of lake productivity]*. Leningrad, 1979. S. 58–72.

Baranov I. V. Limnologicheskie tipy ozer SSSR [Limnological types of the USSR lakes]. Leningrad, 1961. 276 s.

Bioresursy onezhskogo ozera [Lake Onega biore-sources]. Petrozavodsk: Izd-vo Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2008. S. 54–67.

Bol'shie ozera Kol'skogo p-ova [Large lakes of the Kola peninsular]. Leningrad: Nauka, 1976. S. 349

Den'gina R. S. Ekosistema ozera Imandra pod vliyaniem tekhnogennogo zagryazneniya [The ecosystem of Lake Imandra under industrial pollution]. Apatity: Kol'sk. fil. AN SSSR. 1980. 78 s.

Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchei sredy Murmanskoi oblasti v 2003 godu [Report on environmental conditions and conservation in the Murmansk region in 2003]. Murmansk, 2004. 138 s.

Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchei prirodnoi sredy Murmanskoi oblasti v 2004 godu [Report on environmental conditions and conservation in the Murmansk region in 2004]. Murmansk, 2005. 128 s.

Doklad po okhrane okruzhayushchei sredy i ratsional'nomu ispol'zovaniyu prirodnykh resursov Murmanskoi oblasti v 2005 godu [Report on environmental conservation and sustainable use of natural resources in the Murmansk region in 2005]. Murmansk, 2006. 120 s.

Doklad po okhrane okruzhayushchei sredy i ratsional'nomu ispol'zovaniyu prirodnykh resursov Murmanskoi oblasti v 2006 godu [Report on environmental conservation and sustainable use of natural resources in the Murmansk region in 2006]. Murmansk, 2007. 160 s.

Doklad po okhrane okruzhayushchei sredy i ratsional'nomu ispol'zovaniyu prirodnykh resursov Murmanskoi oblasti v 2007 godu [Report on environmental conservation and sustainable use of natural resources in the Murmansk region in 2007]. Murmansk, 2008. 147 s.

Doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Murmanskoi oblasti v 2008 godu [Report on environmental conditions and conservation in the Murmansk region in 2008]. Murmansk: Murm. kn. izd-vo, 2009. 152 s.

Doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Murmanskoi oblasti v 2010 godu [Report on environmental conditions and conservation in the Murmansk region in 2010]. Murmansk: Reklamnoe agentstvo XXI vek, 2011. 152 s.

Doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Murmanskoi oblasti v 2011 godu [Report on environmental conditions and conservation in the Murmansk region in 2011]. Murmansk: Rostservis, 2012. 152 s.

Dubrovina L. V., Pomazovskaya I. V., Fedorova N. F., Flink E. V. K voprosu o vliyanii bioticheskikh i abioticheskikh faktorov sredy na toksichnost' tyazhelykh metallov [On the issue of biotic and abiotic environmen-

tal factors impact on toxicity of heavy metals]. *Tez. dokl. II Vsesoyuzn. konf. po rybokhoz. toksikologii [Abstracts of the 2nd All-union conference on fishery toxicology]*. St. Petersburg, 1991. T. 1. S. 168–170.

Evdokimova G. A. Izmenenie intensivnosti mikrobiologicheskikh protsessov v ozere Imandra v svyazi s ego zagryazneniem [Changes in the intensity of microbiological processes in Lake Imandra as a result of its pollution]. *Priroda i khozyaistvo Severa [Nature and economy of the North]*. 1988. Vyp. 16. 59 s.

Gorbunova A. V. Vliyanie povyshennoi mutnosti vody na toksikorezistentnost' dafnii [The effect of increased water turbidity on toxicity resistance in Daphnia]. *Tez. dokl. II Vsesoyuzn. konf. po rybokhoz. toksikologii [Abstracts of the 2nd All-union conference on fishery toxicology]*. St. Petersburg, 1991. T. 1. S. 121–122.

Gutel'makher B. L. Metabolizm planktona kak edinogo tselogo. Trofometabolicheskie vzaimodeistviya zoo- i fitoplanktona [Metabolism in plankton as an organic whole. Trophometabolic interactions of zoo- and phytoplankton]. Leningrad, 1986. 155 s.

Kalinkina N. M., Kulikova T. XP. Ekologicheskie osobennosti razlichnykh vidov presnovodnogo zooplanktona i ikh tolerantnost' k antropogennomu vozdeistviyu [Ecological features of various types of freshwater zooplankton and their tolerance to human impact]. *Strukturno-funktsional'nye osobennosti biosistem Severa (osobi, populyatsii, soobshchestva): mater. konf. (Petrozavodsk, 26–30 sent. 2005 g.). Ch. 1. [Structural and functional features of biosystems in the North (species, populations, communities): conference proceedings (Petrozavodsk, 26–30 Sept. 2005). Part 1]*. Petrozavodsk. 2005. S. 159–162.

Kalinkina N. M., Kulikova T. P. Evolyutsionnaya obuslovlennost' reaktsii gidrobiontov na izmenenie ionnogo sostava vody (na primere presnovodnogo zooplanktona) [Evolutionary conditionality of hydrobionts response to the changes in ionic composition of water]. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya [Proceedings of the RAS. Biological series]*. 2009. № 2. S. 243–248.

Kashulin N. A., Dauval'ter V. A., Kashulina T. G. i dr. Antropogennye izmeneniya loticheskikh ekosistem Murmanskoi oblasti. Ch. 1 [Human-made changes in lotic ecosystems of the Murmansk region. Part 1]. Kovdorskii raion. Apatity: Izd-vo Kol'skogo NTs RAN, 2005. 234 s.

Kashulin N. A., Denisov D. B., Sandimirov S. S. i dr. Antropogennye izmeneniya vodnykh sistem Khibinskogo gornogo massiva (Murmanskaya oblast') [Human-made changes in aquatic systems of the Khibiny Mountains (the Murmansk region)]. Apatity: Izd-vo Kol'skogo NTs RAN, 2008. T. 2. 282 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 the current state of freshwater resources of the Murmansk region]. *Vestnik MGTU [Herald of the MSTU]*. 2013. T. 16, № 1. S. 98–107.

Kitaev S. P. Ekologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer raznykh prirodnykh zon [Ecological bases of lakes bioproductivity in different natural zones]. Moscow, 1984. 207 s.

Kulikova T. P. Sezonnnye izmeneniya vliyaniya stochnykh vod tsellyulozno-bumazhnogo kombinata na zooplankton Severnogo Vygozera (vodokhranilishcha) [Seasonal changes in the influence of pulp and paper mill wastewaters on zooplankton in the Northern Vygozero (reservoir)]. *Vliyanie otdel'nykh komponentov stochnykh vod anilinokrasochnoi promyshlennosti na gidrobiontov* [The effect of separate components of wastewaters from aniline-dye industry on hydrobionts]. Leningrad, 1976. S. 118–126.

Kukharev V. I., Kalinkina N. M., Dubrovnia L. V., Ryabinkin A. V., Vlasova L. I., Morozov A. K., Lozovik P. A. Kompleksnaya otsenka ekologo-tekhnogennoi nagruzki (Kostomukshskii GOK) na vodnye sistemy (r. Kenti) [Integrated assessment of ecological and development pressure (the Kostomuksha iron-ore mining and concentration mill) on the aquatic systems (the Kenti River)]. *Inzhenernaya ekologiya*. M.: Inzhenernaya ekologiya. 1998. № 6. S. 33–41.

Makrushin A. V. Biologicheskii analiz kachestva vod [Biological analysis of water quality]. Leningrad, 1974. 60 s.

Moiseenko T. I., Yakovlev V. A. Antropogennye preobrazovaniya vodnykh ekosistem Kol'skogo Severa [Human-induced transformations in the aquatic ecosystems of the Kola North]. Leningrad, 1990. 221 s.

Moiseenko T. I. Teoreticheskie osnovy normirovaniya antropogennykh nagruzok na vodoemy Subarktiki [Theoretical fundamentals of regulating human-induced load on the Subarctic water bodies]. Apatity, 1997. 261 s.

Moiseenko T. I., Dauval'ter V. A., Kudryavtseva L. P., Il'yashuk B. P., Il'yashuk E. A., Lukin A. A., Sandimirov S. S., Kagan L. Ya., Vandysch O. I., Sharov A. N., Sharova Yu. N., Koroleva I. M. Antropogennye modifikatsii ekosistemy ozera Imandra [Human-induced modifications in the ecosystem of Lake Imandra]. Red. T. I. Moiseenko. Moscow: Nauka, 2002. 487 s.

Moiseenko T. I., Gashkina N. A., Sharov A. N., Vandysch O. I., Kudryavtseva L. P. Antropogennaya transformatsiya Arkticheskoi ekosistemy ozera Imandra: tendentsii k vosstanovleniyu posle dlitel'nogo perioda zagryazneniya [Human-induced transformation of the Arctic ecosystem of Lake Imandra: the tendencies towards regeneration after a long-term period of pollution]. *Vodnye resursy*. 2009. T. 36, № 3. S. 312–325.

Ob utverzhenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya. Prikaz Rosrybolovstva ot 18.01.2010 [Ratification of the water quality standards in the water bodies of fishery significance including the standards of maximum admissible concentration of hazardous substances in the waters of water bodies of fishery significance. Order of the Russian Federal Agency for Fishery № 20, from January 18, 2010].

Pravila kontrolya kachestva vody vodoemov i vodotokov (Mezhgosudarstvennyi standart GOST 17.1.3.07–82) [Guidelines for water quality control in water bodies and channels (Interstate standard GOST 17.1.3.07–82)].

Riv'er I. K. Vliyanie stokov g. Cherepovca na zooplankton Sheksninskogo [The effect of wastewaters from Cherepovets on zooplankton in the Sheksna stretch]. *Vli-*

yanie stokov Cherepoveckogo promyshlennogo uzla na ekologicheskoe sostoyanie Rybinskogo vodokhranilishha. plesa [The impact of Cherepovets industrial cluster on the ecological state of the Rybinsk Reservoir]. Rybinsk, 1990. S. 42–58.

Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Guidelines on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. St. Petersburg: Nauka, 1992. S. 318.

Smel'skaya M. V. Indikatornaya rol' zooplanktona v otsenke ekologicheskogo sostoyaniya ozera Galichskogo [The role of zooplankton as an indicator of ecological state of Lake Galichskoe]. St. Petersburg, 1994. S. 1–2.

Sostoyanie prirodnoi sredy i problemy ekologii na Kol'skom poluostrove: Dokl. Gos. kom. po okhrane okruzhayushchei sredy Murm. oblasti [Environmental state and ecological problems on the Kola Peninsula: the report of the Federal Committee on Environmental Protection of the Murmansk region]. Murmansk, 1999. 217 s.

Sostoyanie prirodnoi sredy i problemy ekologii na Kol'skom poluostrove: Dokl. Gos. kom. po okhrane okruzhayushchei sredy Murm. oblasti [Environmental state and ecological problems on the Kola Peninsula: the report of the Federal Committee on Environmental Protection of the Murmansk region]. Murmansk, 2000. 203 s.

Sostoyanie prirodnoi sredy i problemy ekologii na Kol'skom poluostrove: Dokl. Gos. kom. po okhrane okruzhayushchei sredy Murm. oblasti [Environmental state and ecological problems on the Kola Peninsula: the report of the Federal Committee on Environmental Protection of the Murmansk region]. Murmansk, 2002. 128 s.

Sushchenja L. M. Kolichestvennye zakonomernosti pitaniya rakoobraznykh [Quantitative patterns in the diet of crustaceans]. Minsk, 1975. 208 s.

Syarki M. T. Zooplankton Kondopozhskoi guby Onezhskogo ozera v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya [Zooplankton from Kondopoga Bay of Lake Onega under human impact]. *Biologicheskije resursy Belogo morya i vnutrennikh vodoemov Evropeiskogo Severa. Tez. dokl. mezhd. konf.* [Biological resources of the White Sea and inland water reservoirs of the European North. Abstracts of the international conference]. Petrozavodsk, 1995. S. 113–114.

Telesh I. V. Rol' planktonnykh rakoobraznykh v vodnykh ekosistemakh raznogo tipa (na primere Ladozhskogo ozera, r. Nevy i Nevskoi guby) [The role of plankton crustaceans in different types of aquatic systems (on the example of Lake Ladoga, the Neva river and Neva Bay)]. *Materialy VII s'ezda gidrobiol. obshch. RAN* [Proceedings of the 7th Congress of Hydrobiological Society of RAN]. Kazan'. 1996. T. 2. S. 90–92.

Yakovlev V. A. Otsenka mnogoletnikh izmenenii v razviti i strukture zooplanktona i zoobentosa krupnogo subarkticheskogo vodoema (na primere oz. Imandra). Problemy khimicheskogo i biologicheskogo monitoringa ekologicheskogo sostoyaniya vodnykh ob'ektov Kol'skogo Severa [Assessment of long-term changes in the development and structure of zooplankton and zoobenthos of a large subarctic water body (on the example

of Lake Imandra). Problems of chemical and biological monitoring of ecological state of water bodies of the Kola North]. Apatity: KNTs RAN, 1995. 89 s.

Yakovlev V. A. Reaktsiya zooplanktona i zoobentosa na izmeneniye kachestva vody subarkтического водоема (na primere озера Imandra) [Response of zooplankton and zoobenthos to changes in the water quality in a subarctic water body (Case study of Lake Imandra)]. *Vodnye resursy*. 1998. T. 25, No 6. 715 s.

Brezonik P. L., Crisman T. L. and Schultz R. L. Planktonic communities in Florida softwater lakes of varying pH. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1984. Vol. 41. P. 46–56.

Gliwicz Z. M. Studies on the feeding of pelagic zooplankton in lakes with varying trophic. *Ekol. pol.*, 1969. Vol. 17, No 36. P. 663–708.

Malley D. F., Findlay D. L., Chang P. S. Ecological effects of acid precipitation on zooplankton. *Acid precipitation: effects on ecological systems*. Ann Arbor Publishers, Ann Arbor., 1982. P. 297–327.

Ruttner-Kolisko A. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers. *Arch. Hydrobiol. Ergebn. Limnol.* 1977. Bd. 8. P. 71–78.

Received July 05, 2013

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Вандыш Оксана Ивановна

ученый секретарь, к. б. н.
Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН,
Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: vandysh@inep.ksc.ru
тел.: (81555) 79758

Черепанов Александр Александрович

младший научный сотрудник
Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН,
Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: cherepanov@inep.ksc.ru
тел.: (81555) 79776

Кашулин Николай Александрович

заместитель директора по научной работе, д. б. н., проф.
Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН,
Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: nikolay@inep.ksc.ru
тел.: (81555) 79378

Денисов Дмитрий Борисович

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН,
Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: denisov@inep.ksc.ru
тел.: (81555) 79776

CONTRIBUTORS:

Vandysh, Oksana

Institute of the North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences
14a, Akademgorodok, 184209 Apatity,
Murmansk region, Russia
e-mail: vandysh@inep.ksc.ru
tel.: (81555) 79758

Cherepanov, Alexander

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
tel.: (81555) 79776

Kashulin, Nikolay

Institute of the North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences
14a, Akademgorodok, 184209 Apatity,
Murmansk region, Russia
e-mail: nikolay@inep.ksc.ru
tel.: (81555) 79378

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: denisov@inep.ksc.ru
tel.: (81555) 79776