

УДК 574.632: [556.114: 544.354: 622] (470.22)

ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ БИОТЫ ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ИОННОГО СОСТАВА ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТХОДОВ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Н. М. Калинин, Т. А. Чекрыжева, Т. П. Куликова,
А. В. Рябинкин**

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

Поступление техногенных вод Костомукшского ГОКа в водоемы системы р. Кенти вызвало различную реакцию водных сообществ. Наибольшую устойчивость проявил фитопланктон, в то время как стенобионтные формы зоопланктона и зообентоса исчезали при незначительном уровне загрязнения. Эврибионтные представители зоопланктона, имеющие широкие толерантные диапазоны к спектру природных факторов среды, оказались наиболее устойчивыми и к действию антропогенного фактора. Причиной их высокой устойчивости к минеральному загрязнению является адаптация к условиям жизни во временных континентальных водоемах. Разнонаправленная реакция водных организмов на действие техногенных вод нашла подтверждение в результатах токсикологических экспериментов.

Ключевые слова: горнорудное производство, ионный состав воды, фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос, толерантность.

**N. M. Kalinkina, T. A. Chekryzheva, T. P. Kulikova, A. V. Ryabinkin.
PATTERNS IN THE RESPONSE OF THE BIOTA OF KARELIAN LAKES TO
CHANGES IN THE ION COMPOSITION UNDER THE IMPACT OF MINING
MILL WASTEWATERS**

Wastewater discharges from the Kostamuksha mining and ore concentration mill caused different responses from aquatic communities. Phytoplankton was the most resistant, whereas the stenobiotic species of zooplankton and zoobenthos disappeared at a low level of pollution. Eurybiotic zooplankton species, which are tolerant of a wide range of environmental factors, proved to be highly tolerant also of the human impact. The adaptation of eurybiotic species to conditions in the temporary waterbody resulted in their high tolerance of the mineral pollution. The different responses of aquatic organisms to the influence of the wastewaters is confirmed by toxicological experiments.

Key words: mining and ore concentration mill, ion composition of the water, phytoplankton, zooplankton, macrozoobenthos, tolerance.

Введение

На севере Карелии располагается железорудный Костомукшский горно-обогатительный комбинат (ГОК), крупнейший в северо-западном регионе России. Отходы комбината отводятся в искусственный водоем – хвостохрани-

лище, а затем в озера системы р. Кенти. С момента пуска в 1982 г. возрастает техногенная нагрузка обогатительной фабрики на окружающую среду. В 1982–1993 гг. объем поступающих техногенных вод из хвостохранилища в озерно-речную систему составлял около 2 млн м³ в год. Начиная с 1994 г. и по настоящее время объемы

поступления техногенных вод в систему р. Кенти возросли до 9–22 млн м³ в год. В результате загрязнения в водоемах системы нарушился ионный состав воды, которая превратилась из слабоминерализованной гидрокарбонатно-кальциевой в сульфатно-калиевую воду повышенной минерализации [Лозовик, Калмыков, 2007]. Загрязнение водоемов системы р. Кенти вызвало глубокую трансформацию в сообществах водных организмов. Цель настоящих исследований – выявить особенности реакции водных сообществ на изменение ионного состава водной среды. Задачи, которые решали для достижения цели: изучить динамику сообществ фитопланктона, зоопланктона и макрозообентоса в условиях нарастания минерального загрязнения; провести биотестирование техногенной воды Костомукшского ГОКа для различных видов ракообразных.

Материал и методы

Полевые исследования. Наблюдения проводили на озерах системы р. Кенти: Окуневое, Куроярви, Поппалиярви, Юрикоярви, Койвас, Кенто, Ломозеро, Юлиярви и Алоярви (63–66° с. ш.). Пробы фитопланктона (85 проб), зоопланктона (119 проб) и макрозообентоса (720 проб) отбирали в 1981–2008 гг. в летний сезон (июль – август). Пробы макрозообентоса отбирали дночерпателем Экмана-Берджа (площадь захвата 225–300 см²) и промывались через сито с диаметром пор 0,3–0,5 мм. Обработка проб осуществлялась по общепринятым методикам [Методика изучения..., 1975].

Экспериментальные исследования. В токсикологических экспериментах изучали токсичность техногенной воды Костомукшского ГОКа для водных животных по методике [Строганов, 1971]. Для этой цели в качестве тест-объекта использовали ракообразных из отряда Amphipoda *Gmelinoides fasciatus* Stebbing. Этот вид относительно недавно вселился в водоемы Карелии, в частности, в Онежское озеро и быстро освоил всю литоральную зону этого водоема [Березина, Панов, 2003]. Для опытов из Петрозаводской губы Онежского озера отлавливали молодых рачков *G. fasciatus*, размеры которых не превышали 2,5 мм. В другой серии экспериментов изучали раздельное действие растворов нитрата калия, хлорида натрия, хлорида кальция и сульфата магния на выживаемость рачков. Все растворы готовили в пересчете на катионы. Среднесмертельные концентрации (CL₅₀) катионов определяли табличным методом [Коросов, Калинкина, 2003].

Результаты и обсуждение

Фитопланктон. В фитопланктоне озер системы р. Кенти насчитывается 177 видов водорослей из 8 систематических отделов: Bacillariophyta – 68 (38 %), Chlorophyta – 41 (23 %), Chrysophyta – 28 (16 %), Cyanophyta – 12 (7 %), Cryptophyta – 8 (5 %), Euglenophyta – 11 (6 %), Dinophyta – 8 (5 %), Xanthophyta – 2 (1 %). Соотношение систематических групп фитопланктона в разных озерах системы зависит от степени их минерального загрязнения (табл. 1). В первые годы исследований (1987–1999 гг.) основную долю численности и биомассы фитопланктона в озерах составляли диатомовые водоросли [Чекрыжева, 1995; Вислянская, 2007]. В последующий период, начиная с 2001 г., в озерах возрастают концентрации азотистых веществ [Лозовик, Калмыков, 2007], что привело к возрастанию видового разнообразия фитопланктона, в составе которого возросли доли динофитовых, зеленых, синезеленых и эвгленовых водорослей. В 2003–2008 гг. в выше расположенных водоемах системы наблюдалось возрастание численности мелкоразмерных видов зеленых водорослей: до 20 % в 2003 г. и до 70 % в 2008 г. – в оз. Окуневом; до 25 % в 2003 г. и до 90 % в 2008 г. – в оз. Поппалиярви. В оз. Окуневом преобладали виды водорослей из класса хлорококковых (р. *Monoraphidium*), а в оз. Поппалиярви – из класса вольвоксовых (р. *Phacotus*).

Таблица 1. Межгодовая изменчивость численности и биомассы суммарного фитопланктона и диатомовых водорослей в озерах системы р. Кенти в 1987–2008 гг.

Озеро	Год	Диатомовые		Суммарная	
		Численность	Биомасса	Численность	Биомасса
Окуневое	1987	52,1	0,073	195,8	0,178
	1994	132,5	0,096	398,0	0,448
	2003	13,8	0,013	113,5	0,139
	2008	122,5	0,076	442,5	0,113
Поппалиярви	1987	1211,2	0,809	1354,3	0,942
	1994	44,1	0,058	87,4	0,127
	1996	102,5	0,063	402,5	0,32
	2003	50,0	0,037	230,0	0,401
	2008	90,0	0,081	2455	1,845
Койвас	1987	587,0	0,550	664,9	0,675
	1994	54,9	0,067	200,0	0,408
	1996	23,8	0,0206	227,5	0,164
	1999	46,0	0,036	156,0	0,100
	2003	17,5	0,003	167,5	0,174
	2008	65,0	0,026	185,0	0,157
Кенто	1987	93,0	0,150	224,8	0,246
	1994	33,7	0,045	161,7	0,267
	1996	17,9	0,012	101,7	0,283
	2003	37,5	0,044	75,0	0,197
	2008	120,0	0,066	287,5	0,246

Таким образом, за 20 лет наблюдений видовой состав фитопланктона озер системы р. Кенти принципиальных изменений не претерпел,

основу флористического списка, как и в прежние годы, составляют диатомовые, зеленые и золотистые водоросли. Отмечены изменения в соотношениях количественных характеристик систематических групп фитопланктона, которые свидетельствуют о начавшейся перестройке в сообществах озер. Эти изменения вызваны усилением антропогенного воздействия на экосистемы водоемов, в частности, вследствие повышения содержания калия, общего фосфора и азота в воде, а также общего уровня минерализации.

Зоопланктон. Представители сообщества зоопланктона проявили резко различающуюся реакцию на поступление техногенных вод в озера системы Кенти. За период исследований (1981–2001 гг.) в составе зоопланктона водоемов системы р. Кенти выявлено 69 таксонов, в том числе Cladocera – 27, Copepoda – 18, Rotatoria – 24. В 1981 г., до начала работы комбината, численность и биомасса зоопланктона в озерах системы р. Кенти варьировали в пределах 4,5–61,3 тыс. экз./м³ и 0,15–6,06 г/м³. Основной фон практически во всех озерах создавался за счет коловраток *Asplanchna* sp., *Kellicottia longispina* (Kellicott 1879), а также таких рачков, как *Thermocyclops oithonoides* (Sars 1863), *Daphnia cristata* Sars 1862, *Bosmina kessleri* (Uljanin 1872), *Bosmina obtusirostris* Sars 1862. В качестве субдоминантов были отмечены *Mesocyclops leuckarti* (Claus 1857) и *Cyclops scutifer* Sars 1863. Практически на всех станциях были обнаружены *Bipalpus hudsoni* (Imhof 1891), *Eudiaptomus gracilis* Sars 1863, *Heterocope appendiculata* Sars 1863, *Holopedium gibberum* Zaddach 1855, *Leptodora kindtii* (Focke 1844) и *Polyphemus pediculus* (Linne 1778). Их численность варьировала в пределах 10–1000 экз./м³. На большинстве станций присутствовал *Bythotrephes longimanus* Leydig 1860, численность которого не превышала 10 экз./м³. Все обнаруженные виды входят в состав комплекса видов зоопланктона, типичных для водоемов северо-западного региона Карелии.

Начиная с 1992 г. в верхних озерах системы р. Кенти в катионном составе стали преобладать ионы калия, среди анионов – сульфаты [Лозовик, Калмыков, 2007]. К 2001 г. в озерах Окуневом, Куроярви и Поппалиярви (верхнее течение р. Кенти) численность и биомасса зоопланктона снизились в 10–100 раз и составили, соответственно, 0,5–4,5 тыс. экз./м³ и 0,012–0,16 г/м³. Отмеченная обратная связь между суммой ионов и численностью, биомассой зоопланктона в озерах Окуневом, Поппалиярви (коэффициенты корреляции от –0,8 до –0,9,

достоверные при $p < 0,01$) указывает на их тесную зависимость от степени загрязнения озер.

Различные виды зоопланктона проявили противоположную реакцию на минеральное загрязнение: одни виды исчезали из озер при небольших уровнях загрязнения, другие – повышали свою численность. Объяснить причины разной реакции видов зоопланктона на минеральное загрязнение можно, если обратиться к истории формирования их адаптаций в пресных водах, т. е. применить эволюционный подход. Согласно гипотезе о разных сроках вселения гидробионтов в пресные воды [Alekseev, Starobogatov, 1996], виды делятся на давно вселившиеся в пресные воды (палеолимнические), в более поздние сроки (мезолимнические) и относительно недавно (неолимнические). По мере освоения пресных вод виды заселяли сначала глубоководные озера с постоянным газовым, солевым и температурным режимом, затем небольшие озера и, наконец, пересыхающие мелкие водоемы. При этом у пресноводных видов вырабатывались все более глубокие адаптации к переживанию действия неблагоприятных факторов, свойственных временным водоемам (пересыхание, промерзание). Наибольшая степень адаптации характерна для палеолимнических форм, способных выживать даже в пересыхающих лужах. Адаптации к высыханию водоемов, нестабильности температурного и солевого режимов, наличию вредных газов (сероводород) мы рассматриваем как преадаптации к антропогенному фактору [Калинкина, Куликова, 2009].

По мере нарастания минерального загрязнения в водоемах системы р. Кенти первыми исчезли представители мезолимнической группы – виды семейств Cercopagidae, Leptodoridae, Holopedidae (табл. 2). Они никогда не встречаются во временных водоемах и не выводятся из сухих илов. Вследствие относительно недавнего вселения в пресные воды эти виды населяют только глубоководные непересыхающие водоемы и формирует латентные яйца, которые не способны выживать в условиях замерзания и пересыхания водоемов.

Виды палеолимнических семейств (Diptomidae и Temoridae) – *E. gracilis* и *H. appendiculata* – исчезали из озер при существенно более высоких уровнях минерального загрязнения, чем предыдущие. Наибольшую устойчивость к минеральному загрязнению в изучаемых водоемах демонстрируют палеолимнические семейства ракообразных Daphniidae, Bosminidae, Cyclopidae, а также представители класса Rotatoria, имеющие пресноводное происхождение [Кутикова, 1970].

Таблица 2. Численность различных групп зоопланктона в оз. Поппальярви в 1981–2001 гг., тыс. экз./м³

Группа	1981	1984	1987	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1999	2000	2001
Rotatoria	12,1	11,4	2,1	0,08	0,2	0,8	0,2	4,4	0,1	0,01	0,03	0,02
Cyclopidae	12,1	24,1	2,2	0,06	1,1	0,7	4,1	2,6	1,5	0,3	0,1	0,7
Daphniidae	5,3	6,0	2,8	3,5	0,5	3,0	1,3	0,1	0,5	0,07	0,2	0,03
Bosminidae	22,1	1,9	3,8	0,2	0,5	0,6	0,08	34,4	1,7	0,2	0,1	0
Diaptomidae	0,1	1,2	0,3	7,4	1,4	0,9	0,06	0,04	0,01	0	0	0
Temoridae	0,2	0,1	0,3	0,4	0,03	0	0	0	0	0	0	0
Holopedidae	0,04	0,1	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leptodoridae	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Polyphemidae	0	0,03	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
Sididae	0,03	0,7	0,02	0,4	0,04	0,04	0	0,1	0,01	0	0	0
Cercopagidae	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chydoridae	0	0,03	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Науплии Cyclopoida	0,2	0,4	0	0,04	0,01	0	0,02	0,5	0,05	0,02	0	0,2
Науплии Calanoida	0,3	0,5	0,6	0,4	0,2	0,1	0,2	0,9	0,2	0,03	0,01	0,1
Общая численность	52,5	46,5	12,4	12,5	4,0	6,4	5,9	43,0	4,1	0,6	0,4	0,6

Макрозообентос. Структура озерных бентоценозов системы р. Кенти по материалам 1980–1981 гг. была типична для большинства озер бассейна р. Кеми. В составе донной фауны были отмечены 95 таксонов различного ранга из 24 систематических групп. Руководящее ядро бентоценозов формировали три основные группы – Chironomidae, Oligochaeta и Mollusca [Рябинкин, 2003]. Численность и биомасса сообществ макрозообентоса варьировали в пределах 1,2–2,3 тыс./м² и 0,69–2,73 г/м².

Техногенные воды Костомукшского ГОКа, поступающие в водоемы озерно-речной системы Кенти, оказали существенное влияние на видовой состав, структурные и количественные параметры популяций бентоценозов (табл. 3). В результате поступления высокоминерализованных вод количество видов макробентоса сократилось вдвое – с 116 в 1980–1985 гг. до 57 в 1992–1994 гг. В частности, видовое разнообразие Chironomidae – наиболее хорошо изученной в систематическом отношении группы, доминирующей в бентоценозах всех озер системы, – сократилось с 51 вида в 1981 г. до 14 в 2008 г. В последние годы в верхних озерах системы, в

большой степени испытывающих влияние сточных вод, доминирующее положение занимают эврибионтные виды хирономид рода *Procladius* (*P. ferrugineus*, *P. choreus*) – от 25,0 % (оз. Поппальярви) до 36,2 % (оз. Окунево) от общей численности. По мере нарастания минерального загрязнения в бентоценозах заметно возрастает доля Mollusca. По численности она составляла: в 1981 г. – 6 %, в 1987 – 8, в 1994 г. – 39, 1997–1999 гг. – 49, в 2000 г. – 47%, по биомассе, соответственно, в 1981 г. – 22 %, в 1987 – 29, в 1994 г. – 62, 1997–1999 гг. – 64, а в 2000 г. – 71 %. Вместе с тем сокращалась доля Oligochaeta вплоть до полной их элиминации в озерах Окунево и Поппальярви.

Токсикологические эксперименты. Вода хвостохранилища характеризуется специфическим составом, а именно, чрезвычайно высоким содержанием калия (до 150 мг/л) при относительно низких концентрациях натрия, кальция и магния (10–20 мг/л). В неразбавленной воде гибель *G. fasciatus* произошла в первый же день опыта, что позволяет оценить воду хвостохранилища для этого вида как высокотоксичную. В двукратном разведении тех-

Таблица 3. Межгодовая динамика средних количественных и структурных характеристик макрозообентоса озер системы р. Кенти

Год	N	B	%N _{Ch.}	%N _{Oi.}	%N _{Biv.}	H	J
1981	1633 ± 220	1,29 ± 0,19	49	13	7	4,86	72,63
1987	1663 ± 455	0,80 ± 0,17	67	6	7	3,97	68,14
1992	452 ± 54	0,38 ± 0,06	51	14	28	3,73	66,29
1993	797 ± 78	0,64 ± 0,09	58	21	14	3,56	66,39
1994	319 ± 41	0,39 ± 0,06	50	9	37	3,51	60,17
1995	836 ± 217	0,81 ± 0,26	50	2	13	3,35	63,73
1996	624 ± 69	1,15 ± 0,18	58	15	22	3,74	67,05
1997	359 ± 49	0,85 ± 0,12	35	6	48	2,75	52,23
1999	684 ± 48	1,49 ± 0,17	44	4	49	2,64	49,25
2000	722 ± 39	1,94 ± 0,14	48	2	47	2,22	42,16
2003	1232 ± 145	2,78 ± 0,78	56	2	38	2,87	56,76
2008	1304 ± 336	1,44 ± 0,25	61	0,1	30	3,05	71,24

Примечание. N – средняя численность, экз./м²; %N – относительная численность (Chironomidae, Oligochaeta, Bivalvia); B – средняя биомасса, г/м²; H – индекс Шеннона, бит/экз.; J – индекс выравненности, %.

ногенной воды рачки погибали на 4 сутки опыта. В 5-кратном и 10-кратном разведениях на 19 сутки выжило 50 % и 80 % рачков, соответственно. Выживаемость амфипод в контрольном варианте была 100 %. В отдельных опытах при суточной экспозиции для вида *G. fasciatus* были определены величины среднесмертельных концентраций (CL_{50}) основных катионов, содержащихся в техногенной воде. Величина CL_{50} ионов калия составила 103 (75–134) мг/л; ионов кальция – 1075 (793–1380) мг/л; ионов натрия – 1290 (930–1690) мг/л; ионов магния – 1630 (1190–2110) мг/л (концентрации даны в пересчете на катионы; в скобках указаны границы доверительного интервала). Следовательно, из всех катионов наиболее токсичными для *G. fasciatus* оказались ионы калия, основного компонента техногенной воды.

В более ранних исследованиях [Калинкина, 2010] было показано, что в 30-дневных опытах вода хвостохранилища не вызывает гибели дафний *Daphnia magna* Straus. Вид *Ceriodaphnia affinis* Lillijeborg оказался более чувствительным, чем вид *D. magna*. В 10-суточном опыте выживаемость цериодафний в неразбавленной воде хвостохранилища составила 40 %, в двукратном разбавлении – 60 %, в пятикратном – 67 %, в десятикратном – 87 %. Из трех видов ракообразных бокоплав *G. fasciatus* проявил наименьшую резистентность к действию техногенных вод Костомукшского комбината.

Таким образом, различные представители ракообразных в токсикологических опытах проявили широкий спектр реакций на действие воды хвостохранилища: от полного выживания (вид *D. magna*) до быстрой гибели (вид *G. fasciatus*). Экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами полевых наблюдений, которые свидетельствуют о глубоких перестройках водных сообществ за счет вымирания чувствительных и выживания резистентных видов.

Выводы

1. Наибольшая устойчивость к минеральному загрязнению характерна для фитопланктона, в котором возросла доля мелкоразмерных видов водорослей (зеленых, динофитовых, синезеленых). Представители сообществ зоопланктона и зообентоса проявили широкий спектр реакций на поступление техногенных вод Костомукшского ГОКа. Одни виды исчезали при незначительном уровне загрязнения, другие – находили благоприятные условия для развития даже при высоких концентрациях калия (основного компонента техногенных вод).

2. Толерантность различных видов зоопланктона к минеральному загрязнению связана с историей их становления в пресноводных экосистемах. В изученных водоемах выживали палеолимнические виды, историческая адаптация которых к условиям жизни во временных континентальных водоемах послужила базой их высокой устойчивости к минеральному загрязнению. Отсутствие этих адаптаций у мезолимнических видов не позволило выдержать экстремально высокое антропогенное воздействие, что привело к их исчезновению.

3. Разнонаправленная реакция водных организмов на действие техногенных вод, наблюдаемая в полевых исследованиях, нашла подтверждение в токсикологических экспериментах. Наиболее устойчивым оказался вид *Daphnia magna*, который выживал в техногенных водах в течение месяца. Меньшую устойчивость проявил вид *Ceriodaphnia affinis*, выживаемость которого в техногенной воде составила 40 %. Рачки *Gmelinoides fasciatus* погибали в воде хвостохранилища в течение суток, что позволяет охарактеризовать ее как высокотоксичную для данного вида.

Выражаем благодарность В. В. Аглетдинову за помощь при проведении биотестирования техногенных вод Костомукшского ГОКа.

Литература

- Березина Н. А., Панов В. Е. Вселение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Amphipoda, Crustacea) в Онежское озеро // Зоол. журн. 2003. Т. 82, № 6. С. 731–734.
- Вислянская И. Г. Фитопланктон // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 112–155.
- Калинкина Н. М., Куликова Т. П. Эволюционная обусловленность реакции гидробионтов на изменение ионного состава воды (на примере пресноводного зоопланктона) // Изв. РАН. Серия биологическая. 2009. № 2. С. 243–248.
- Калинкина Н. М. Использование тест-объекта *Ceriodaphnia affinis* Lillijeborg при биотестировании техногенных вод горнорудного производства // Водная среда: обучение для устойчивого развития. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2010. С. 48–52.
- Коросов А. В., Калинкина Н. М. Количественные методы экологической токсикологии. Методическое пособие. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. 53 с.
- Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Л.: Наука, 1970. 744 с.
- Лозовик П. А., Калмыков М. В. Химический состав воды озерно-речной системы р. Кенти // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 106–112.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Отв. ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовской. М.: Наука, 1975. 240 с.

Рябинкин А. В. Макрозообентос водоемов бассейна р. Кеми (Карелия) и его динамика в условиях антропогенного влияния: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2003. 25 с.

Строганов Н. С. Методика определения токсичности водной среды // Методики биологических исследований по водной токсикологии. М.: Наука, 1971. С. 14–60.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Калинкина Наталия Михайловна

зав. лабораторией гидробиологии, д. б. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: kalina@nwpi.krc.karelia.ru
тел.: (8142) 576541

Чекрыжева Татьяна Александровна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: Tchekryzheva@mail.ru
тел.: (8142) 576520

Куликова Тамара Павловна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
тел.: (8142) 576520

Рябинкин Александр Валентинович

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: Sorbus08@mail.ru
тел.: (8142) 576520

Чекрыжева Т. А. Фитопланктон озер системы р. Кенти // Влияние техногенных вод горнообогатительного комбината на водоемы системы р. Кенти. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1995. С. 68–79.

Alekseev V. R., Starobogatov Ya. I. Types of diapause in Crustacea: definition, distribution, evolution // Hydrobiologia. 1996. Vol. 320. P. 15–26.

Kalinkina, Natalia

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: kalina@nwpi.krc.karelia.ru
tel.: (8142) 576541

Chekryzheva, Tatyana

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: Tchekryzheva@mail.ru
tel.: (8142) 576520

Kulikova, Tamara

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
tel.: (8142) 576520

Ryabinkin, Aleksandr

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: Sorbus08@mail.ru
tel.: (8142) 576520