

УДК 556.55 (282.247.151)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВЫГОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**Е. В. Теканова, П. А. Лозовик, Н. М. Калинин,
Т. П. Куликова, Т. Н. Полякова, А. В. Рябинкин,
Ю. Л. Сластина, Т. М. Тимакова, Т. А. Чекрыжева**

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

Показаны многолетние изменения, произошедшие в северной части Выгозерского водохранилища. Оценены качество водной среды, количественные, структурные и продукционные характеристики биоценозов в связи с изменением нагрузки сточными водами Сегежского промцентра. Выделены три основных этапа трансформации экосистемы: 1960–70-е годы – угнетение биоты вследствие токсического и органического загрязнения; 1980-е – антропогенное эвтрофирование, рост количественных характеристик и изменение структуры ценозов, 1990–2000-е – сокращение фосфорной нагрузки и снижение количественного развития биоты.

Ключевые слова: водная экосистема, сточные воды, эвтрофирование, токсичность, фосфорная нагрузка, качество воды, биота.

**E. V. Tekanova, P. A. Lozovik, N. M. Kalinkina, T. P. Kulikova,
T. N. Polyakova, A. V. Ryabinkin, Yu. L. Slastina, T. M. Timakova,
T. A. Chekryzheva. RECENT STATE AND TRANSFORMATION OF THE
NORTHERN PART OF VYGOZERSKOE RESERVOIR**

Long-term changes in state of the northern part of Vygozerskoe storage reservoir are presented. The water quality, abundance, structure and production characteristics of the biocenoses are estimated in accordance with the changes of the industrial center mill sewage loading. The three main periods in the ecosystem transformation are determined: 1960–70s – inhibition of the biota due to toxic and organic pollution, 1980s – anthropogenic eutrophication, increase in quantitative indexes and structural changes of cenoses, 1990–2000s – decline of the biota abundance due to lowering of the phosphorus loading.

Key words: water ecosystem, eutrophication, sewage, toxicity, phosphorus loading, water quality, biota.

Введение

Интенсивная эксплуатация водных ресурсов мира во второй половине XX в. привела к существенным, подчас необратимым изменениям естественного состояния пресноводных экосистем (токсификация, термофикация, органическое загрязнение, эвтрофирование, закисление и др.). В настоящее время во многих

водоемах мира отмечается улучшение экологической ситуации или процессы восстановления, связанные с ужесточением контроля и совершенствования систем очистки сточных вод (Европа, США) или с экономическим кризисом (страны СНГ). Процесс этот недостаточно изучен, в частности, остается неясным, происходит ли возврат экосистем в исходное состояние на всех уровнях ее организации [Jeppesen et al.,

2002; Решетников, 2004; Михеева и др., 2006; Остапеня, 2007 и др.].

Выгозерское водохранилище (63°30' с. ш., 34°40' в. д., площадь 1140 км², средняя глубина 6,2 м, максимальная – 20 м) играет весьма важную роль в экономике региона (транспортная артерия, система водоснабжения, энергетика) и в течение более 70 лет испытывает значительную антропогенную нагрузку. Доминантом по степени антропогенного влияния на экосистему является Сегежский целлюлозно-бумажный комбинат (СЦБК), сточные воды которого оказывают значительное влияние на химический состав воды, в первую очередь, северной части водохранилища. Состав и количество сточных вод менялись с момента ввода в строй комбината, что последовательно отражалось на состоянии водной среды и биологических сообществ, претерпевших существенную трансформацию.

Целью настоящей работы было выявление основных закономерностей изменений водных сообществ и среды их обитания в северной части Выгозерского водохранилища за многолетний период.

Материал и методы

В работу вошли основные результаты многолетних исследований химического состава воды, антропогенной нагрузки и состояния водных сообществ (бактерио-, фито-, зоопланктона и макрозообентоса) Выгозерского водохранилища. Исследования выполнялись сотрудниками ИВПС КарНЦ РАН в рамках фундаментальных работ, а также по региональной Программе мониторинга водной среды Карелии и были направлены, главным образом, на изучение северной части водоема, находящейся под влиянием сточных вод СЦБК. Химический анализ воды выполнялся по аттестованным методикам [Ефременко, 2007]. Изучение состояния водных сообществ проводилось общепринятыми в гидробиологической практике методами [Методика изучения..., 1975; Кузнецов, Дубинина, 1989].

Результаты и обсуждение

Нагрузка и химия воды. Формирование химического состава воды Выгозерского водохранилища происходит в результате поступления в него речных вод, атмосферных осадков, а также сточных вод Сегежского промцентра и внутриводоемных процессов. Основное влияние сточных вод сказывается на северной части водохранилища, куда они непосредственно поступают. В связи с мощным стоковым течением в водохранилище, направленным с юга на

север, и наличием большого количества островов, ограничивающих северную часть от центральной, влияние сточных вод на последнюю прослеживается в меньшей степени и практически не затрагивает южную часть.

За многолетний период существования комбината выделяются несколько периодов, отличающихся по уровню антропогенной нагрузки и по реакции экосистемы на нее. Анализируя многолетнюю динамику антропогенной нагрузки на Северное Выгозеро по различным веществам, можно выделить периоды с максимальной и минимальной нагрузкой по сравнению с природной (табл. 1).

Таблица 1. Антропогенная и природная нагрузки на Северное Выгозеро

Показатель	Антропогенная		Природная
	максимальная	минимальная	
Взвеш. вещества, г/м ² в год	110 (1964–1965 гг.)	12 (1995–2010 гг.)	18
ОВ, г/м ² в год	143 (1969–1975 гг.)	15 (1995–2010 гг.)	360
Лабильные ОВ, г О ₂ /м ² в год	86 (1969–1975 гг.)	7 (1992–2010 гг.)	11
P _{общ.} , г/м ² в год	0,47 (1976–1981 гг.)	0,03 (1995–2010 гг.)	0,31
Фенолы, г/м ² в год	0,47 (1969–1975 гг.)	0,03 (1995–2010 гг.)	0,09

Наибольшая нагрузка взвешенными веществами наблюдалась в 1960-е гг. В дальнейшем в связи с внедрением очистки сточных вод от взвешенных веществ нагрузка уменьшилась. В настоящее время она составляет 70 % от природной, следствием чего является повышенное осадконакопление в Северном Выгозере по сравнению с природным состоянием. По общему содержанию органических веществ (ОВ) выделяется период 1969–1975 гг., когда нагрузка достигала 360 г/м² в год. Минимальной она была до начала 1960-х гг. (в среднем 64 г/м² в год), когда комбинат еще не имел высоких показателей производства, и в последнее десятилетие (в среднем 15 г/м² в год) в связи с сокращением производства. Аналогичная ситуация наблюдается и по лабильным ОВ. Меньше всего их поступает в водоем в последние годы. Что касается P_{общ.}, основного лимитирующего биогенного элемента, то его наибольший вынос со сточными водами наблюдался в 1976–1981 гг., когда происходил запуск станции биологической очистки (СБО) и вывод ее на проектные показатели. Период 1980-х и начала 1990-х гг. характеризуется наибольшей фосфорной нагрузкой на водоем. В дальнейшем она уменьшалась по мере сокращения производства и в последние годы составляет всего 0,03 г/м² в год (10 % от природной). Наибольшее токсичное загрязне-

ние отмечалось в период отсутствия очистки сточных вод. Так, нагрузка фенольными соединениями перед вводом СБО достигала 0,47 г/м² в год, а в 1990-е гг. она снизилась в 15 раз. Как следствие изменения нагрузки на водоем, отмечалось разное загрязнение водных масс Северного Выгозера в соответствующие периоды наблюдений (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика загрязнения Северного Выгозера в разные периоды (А – придонные слои воды в зимний период, Б – водные массы в период открытой воды)

Показатель		1964–1965 гг.	1969–1975 гг.	1976–1981 гг.	1982–1991 гг.	1995–2010 гг.
Σ _и ¹ , мг/л	А	71	136	156	190	138
	Б	27	27	32	22	24
ПО, мг О ₂ /л	А	39	96	81	57	21
	Б	13	13	14	13	13
БПК ₅ , мг О ₂ /л	А	12	24	19	13	2,6
	Б	1,0	1,6	1,5	1,2	0,7
О ₂ , %	А	0–40	0	0–2	0–10	2–37
	Б	56–86	20–83	30–86	48–82	79–95
Р _{общ} ¹ , мкг/л	А	Нет данных	Нет данных	240	424	348
	Б	20	24	50	34	16
Фенолы, мкг/л	А	Нет данных	50	60	Нет данных	15
	Б	Нет данных	15	10	5	5

Наибольшее загрязнение токсичными веществами (сероорганическими веществами, фенолами, смоляными кислотами и др.) наблюдалось в период максимальной мощности работы комбината (1969–1975 гг.), минимальное – в последние годы в связи с очисткой сточных вод и сокращением производства целлюлозы. Максимальное содержание Р_{общ}¹ (50 мкг/л) отмечалось в 1976–1981 гг. – начальный период работы СБО и вывод ее на проектные показатели. В последние годы уровень концентрации Р_{общ}¹ близок к природному. В кислородном режиме водоема также произошли существенные изменения. От типично дефицитного по кислороду водного объекта водоем перешел к близко равновесному насыщению воды кислородом. Следует отметить, что, несмотря на существенное снижение загрязненности вод в период открытой воды, в зимний период по-прежнему сохраняется загрязнение вод в придонных слоях воды, что связано с характером выпуска сточных вод Сегежского промцентра, которые в зимний период распространяются по понижениям дна котловины.

Изменения водных сообществ. До ввода в строй СБО водные сообщества функционировали в условиях токсического и органического загрязнения [Харкевич, 1969]. Наблюдалось угнетающее действие высокотоксичных вод СЦБК

на биоту. В экспериментах с неразбавленными стоками рачки *Daphnia magna* Straus и *Daphnia longispina* (O. F. Müller 1785) погибали через сутки [Куликова, 1983]. Наличие органического загрязнения воды обуславливало преобладание в бактериоценозах сапрофитной флоры, поглощающей большое количество кислорода, что привело к формированию анаэробных зон в районе сброса сточных вод (Лайкоручей). В донных отложениях этого участка обнаруживались лишь сульфатредуцирующие, тионовые, денитрифицирующие и целлюлозоразрушающие бактерии, выдерживающие дефицит или отсутствие кислорода. Невысокое количественное развитие преимущественно диатомового планктона (более 90 % численности) определяло низкий уровень хлорофилла *a* и первичной продукции [Вислянская, 1978; Вислянская, Харкевич, 1985]. Показатели количественного развития планктонных и бентосных животных также были невысоки, район выпуска сточных вод был «мертвой зоной». В целом в распределении на акватории планктонных и бентосных животных четко проявлялась зональность, связанная со степенью загрязненности среды [Филимонова, 1969; Соколова, 1978]. В наиболее загрязненных участках происходило изменение структуры зоопланктона: исчезали менее устойчивые виды, в первую очередь, каланоиды (*Eudiaptomus*, *Eurytemora*, *HeterosCOPE*), преобладали мелкие циклопы, ветвистоусые рачки (*Daphnia cristata*, *Bosmina longirostris*) и колероватки (*Kellicottia*, *Polyarthra*) [Куликова, 1978]. В донных комплексах преобладали хирономиды, среди которых абсолютными доминантами были личинки рода *Procladius* [Соколова, 1978]. В целом до середины 1970-х гг. трофический статус экосистемы Выгозера, по классификации С. П. Китаева [1984], характеризовался как олиго-мезотрофный по большинству показателей (табл. 3).

Функционирование с 1976 г. СБО привело к снижению содержания в сточных водах ядовитых серосодержащих веществ [Лозовик, 1985] и уменьшению их токсического действия на биоту. Неразбавленные стоки не являлись токсичными для моллюсков (*Spaerium corneum* Linnaeus, *Planorbis* sp.), олигохет (*Tubifex tubifex* Muller), икры и личинок щуки. Однако для рачков *Daphnia magna* и икры радужной форели токсичность сохранялась (1–3 балла, или гибель тест-объектов в экспериментах в течение 5–20 сут) [Ивантер и др., 2007].

В то же время произошло увеличение выноса в водоем фосфора со сточными водами, используемого на СБО в качестве биогенной добавки, что послужило началом антропогенного эвтро-

Таблица 3. Состояние водных сообществ Северного Выгозера в разные периоды

	Показатель	1960–1970-е гг.	1980-е гг.	1990–2000-е гг.
Бактериопланктон	Общ. численность, млн кл./мл	1,2	15	0,8
	Сапрофитные бактерии, тыс. кл./мл	0,6	32	0,6
Фитопланктон	Численность, тыс. кл./л	215	895	426
	Биомасса, г/м ³	0,4	1,8	0,7
Хлорофилл <i>a</i>	В фотическом слое, мг/м ³	1,1	11,4	3,0
Первичная продукция	В фотическом слое, мг С/м ² ·сут	204,2	673,0	162,7
Зоопланктон	Численность, тыс. экз./м ³	16,9	72,5	38,5
	Биомасса, г/м ³	0,5	1,2	0,7
Макрзообентос	Численность, тыс. экз./м ²	0,1	3,0	1,0
	Биомасса, г/м ²	0,5	3,0	1,1

фирования водоема. Количественные и функциональные показатели развития фитопланктона выросли в 2–4 раза [Вислянская, Харкевич, 1985]. Видовое разнообразие фитоценозов расширилось за счет возрастания роли видов-показателей повышения уровня трофии и органического загрязнения из синезеленых (виды из родов *Oscillatoria*), хлорококковых (виды из родов *Monoraphidium*), из вольвоксовых (виды из родов *Chlamydomonas*), из эвгленовых (виды из родов *Euglena*, *Phacus*), из желтозеленых (виды из родов *Tribonema*), из криптофитовых (виды из родов *Cryptomonas*) [Изменение режима..., 1989; Вислянская, 1998]. Почти на порядок возросла численность бактерий, особенно гетеротрофных, вследствие биогенной стимуляции микроорганизмов и выноса аллохтонной микрофлоры с СБО [Изменение режима..., 1989]. Улучшение кормовой базы привело к 5–6-кратному росту обилия организмов зоопланктона и позже, по мере накопления ОБ в илах, – макрозообентоса. Произошла качественная перестройка сообществ – смена доминантных видов и увеличение видового разнообразия. Среди планктонных животных увеличилась доля видов мелких циклопов *Mesocyclops leuckarti* (Claus 1857) и *Thermocyclops oithonoides* (Sars 1863) (в 3–5 раз), кладоцер *Daphnia cristata* Sars 1862, босмин (в 2–4 раза) и коловраток, особенно мелких видов *Polyarthra*, *Keratella*, *Synchaeta* (в 7–12 раз). В зимний период наблюдались «планктонные фронты» – скопления зоопланктона на границе грязных и чистых вод [Куликова, 1998]. В донных ценозах возросла степень доминирования грунтоедов (малощетинковых червей) [Полякова, 1998]. Произошло исчезновение из бентофауны реликтовых ракообразных *Monoporeia affinis* (Lindström 1855) и *Pallasiola quadrispinosa* (Sars 1867). В зоне нового выпуска сточных вод (Мозог-губа) бентоценозы оставались в угнетенном состоянии. Экосистема северной части Выгозера в 1980-х гг., по классификации С. П. Китаева [1984], оценивалась как мезо-эвтрофная (табл. 3).

В результате спада производства на СЦБК в начале 1990-х гг. существенно сократились объемы сточных вод и вынос в их составе фосфора в водоем. Уже к середине 1990-х гг. содержание фосфора в воде Северного Выгозера, за исключением действующего и старого мест выпуска сточных вод, сократилось примерно в 2 раза [Лозовик, 1998], чему способствовала достаточно высокая проточность водохранилища (коэффициент условного водообмена 1,14 год⁻¹). В результате постепенной модернизации СЦБК и очистных сооружений в 2000-х гг. из сточных вод полностью исчезли токсичные вещества. Это подтверждалось в экспериментах на тест-объекте *Daphnia magna* в хронических опытах, более того, вода характеризовалась благоприятными для его жизни условиями [Моисеева, 2005].

В планктонных сообществах уже с середины 1990-х гг. регистрировалось постепенное уменьшение показателей их количественного развития – сначала в фитопланктоне и бактериопланктоне, затем, вследствие обеднения кормовой базы, и в зоопланктоне [Состояние водных объектов..., 2007]. Показатели обилия донных животных, функционирование которых отражает эффект накопления органического загрязнения, снижались намного медленнее – значимые изменения здесь произошли лишь к 2007 г. (табл. 3).

В настоящее время сохраняются структурные изменения в альгоценозах, начавшиеся в период эвтрофирования, а именно: достижение доли синезеленых и хлорококковых водорослей в сообществе до 30 % численности, вследствие чего содержание хлорофилла *a* в воде в настоящее время более высокое, чем в 1970-е гг. В то же время продукция фитопланктона понизилась до уровня начала 1970-х гг. В зоопланктонном сообществе отмечается снижение роли массовых видов – кладоцер (*Daphnia*), мелких циклопов (*Thermocyclops*, *Mesocyclops*), коловраток (особенно *Polyarthra*, *Keratella*, *Synchaeta*), в целом же доминирующая роль кладоцер и

коловраток сохраняется. Структура бентоценозов постепенно приобретает черты, свойственные естественному состоянию водоемов подобного типа: сокращается степень доминирования малощетинковых червей, лидирующее положение возвращается к хирономидам. Отмечается начало восстановления фауны в «мертвой зоне» (Лайкоручей). В целом по гидробиологическим показателям экосистема Северного Выгозера на современном этапе характеризуется как олигомезотрофная [Китаев, 1984].

В целом на акватории всего водохранилища исследованиями 1970-х гг. было показано неравномерное распределение количественных показателей развития планктонных и донных сообществ, а именно: закономерное увеличение их численности и биомассы по направлению от северного района к южному [Вислянская, 1978; Куликова, 1978; Соколова, 1978]. Такое распределение обуславливалось комплексом факторов (морфометрические особенности районов, температура, проточность, наличие пищевых ресурсов, качественный состав воды и т. д.), но, в первую очередь, было связано с угнетающим действием на биоту токсичных сточных вод Сегежского ЦБК в северной части водохранилища. Иная картина наблюдалась в распределении бактериопланктона: наименьшим его количеством характеризовалась центральная часть водоема, наибольшим – северная вследствие высокой антропогенной нагрузки ОВ [Филимонова, 1978]. Первичное продуцирование ОВ на всей акватории характеризовалось схожими величинами. Исследованиями последних лет не обнаружено значительных изменений в уровне развития биоты в центральном районе водохранилища, в то же время в его южной части количество и биомасса планктонных организмов, а также первичная продукция примерно в 2 раза превышают данные 1970-х гг. В центральном и северном районах показатели развития планктона в настоящее время, после сокращения антропогенной нагрузки, можно считать сравнимыми. Максимальными показателями, как и 40 лет назад, характеризуется южная часть водоема. Бентофауной наиболее обильно заселен северный район Выгозерского водохранилища, где произошло накопление ОВ в донных отложениях.

Выводы

В экосистеме Выгозерского водохранилища, главным образом в его северной части, произошли существенные изменения в результате многолетней динамики нагрузки сточных

вод Сегежского ЦБК. Основные изменения в экосистеме были связаны: 1) с токсификацией и органическим загрязнением водной среды в 1960–1970-е гг., сопровождающимся угнетением жизнедеятельности бионтов, развитием специфической микрофлоры; 2) с антропогенным эвтрофированием в 1980-е гг., выразившимся в росте количественных, продукционных характеристик и изменении структуры ценозов; 3) с сокращением антропогенной фосфорной нагрузки на водоем в 1990–2000-е гг. и началом процессов восстановления экосистемы.

Литература

Вислянская И. Г. Фитопланктон Выгозерского водохранилища // Гидробиология Выгозерского водохранилища. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1978. С. 15–42.

Вислянская И. Г. Северное Выгозеро, река Нижний Выг и озеро Воицкое. Характеристика биоценозов. Фитопланктон // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1998. С. 112–115.

Вислянская И. Г., Харкевич Н. С. Фитопланктон и первичная продукция Выгозерского водохранилища // Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1985. С. 144–165.

Ефременко Н. А. Методологические основы мониторинга. Методы отбора и химического анализа проб воды // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 10–12.

Ивантер Э. В., Моисеева В. П., Моисеева Е. А. Экологический мониторинг сточных вод сульфат-целлюлозного производства. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 270 с.

Изменение режима Северного Выгозера и реки Нижний Выг под действием сточных вод Сегежского ЦБК и допустимый объем их сброса. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1989. 36 с.

Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.

Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 286 с.

Куликова Т. П. Зоопланктон Выгозерского водохранилища // Гидробиология Выгозерского водохранилища. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1978. С. 58–79.

Куликова Т. П. Сравнительная характеристика влияния сточных вод целлюлозно-бумажного предприятия на зоопланктон водохранилища до и после внедрения биологической очистки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1983. 22 с.

Куликова Т. П. Северное Выгозеро, река Нижний Выг и озеро Воицкое. Характеристика биоценозов. Зоопланктон // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1998. С. 115–119.

Лозовик П. А. Взаимодействие донных отложений Северного Выгозера с водой // Органическое

вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1985. С. 61–84.

Лозовик П. А. Северное Выгозеро, река Нижний Выг и озеро Воицкое. Химический состав воды // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1998. С. 101–109.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.

Михеева Т. М., Ковалевская Е. В., Лукьянова Е. В. Показатели количественного развития и функционирования фитопланктона Нарочанских озер в разные периоды эволюции их трофического статуса // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. С. 199–211.

Моисеева Е. А. Эколого-токсикологическая оценка влияния сточных вод целлюлозно-бумажного производства на водные организмы (по анализу работы Сегежского ЦБК): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2005. 29 с.

Остапеня А. П. Деэвтрофирование или бентификация? // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Материалы III междунар. науч. конф. (Минск – Нарочь, 17–22 сент. 2007 г.). Минск, 2007. С. 31–32.

Полякова Т. П. Северное Выгозеро, река Нижний Выг и озеро Воицкое. Характеристика биоценозов. Макрозообентос // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мо-

нитинга 1992–1997 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1998. С. 119–121.

Решетников Ю. С. Проблема ре-олиготрофирования водоемов // Водные ресурсы. 2004. Т. 44, № 5. С. 709–711.

Соколова В. А. Донная фауна Выгозерского водохранилища // Гидробиология Выгозерского водохранилища. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1978. С. 89–103.

Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 209 с.

Филимонова Н. А. Микробиологическая и санитарная характеристика водоемов – приемников сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск: Карельское книжное изд-во, 1969. С. 66–75.

Филимонова Н. А. Микробиологическая характеристика Выгозерского водохранилища // Гидробиология Выгозерского водохранилища. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1978. С. 4–14.

Харкевич Н. С. Влияние сточных вод Сегежского целлюлозно-бумажного комбината на химический состав и качество вод р. Сегежи и Выгозера // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск: Карельское книжное изд-во, 1969. С. 30–59.

Jeppesen E., Jensen J. P., Søndergaard M. Response of phytoplankton, zooplankton and fish to re-oligotrophication // An 11-year study of 23 Danish lakes. *Aquat. Ecosys. Health & Mgmt.* 2002. N 5. P. 31–43.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Теканова Елена Валентиновна

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

Лозовик Петр Александрович

зав. лаб. гидрохимии и гидрогеологии, д. х. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: lozovik@nwpi.krc.karelia.ru
тел.: (8142) 576541

Калинкина Наталия Михайловна

зав. лаб. 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

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

Tekanova, Elena

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

Lozovik, Pyotr

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

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

Kulikova, Tamara

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

Полякова Тамара Николаевна

главный гидробиолог
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: TNPVVL@mail.ru
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

Сластина Юлия Леонидовна

младший научный сотрудник
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: slastina.jul@yandex.ru
тел.: (8142) 576520

Тимакова Тамара Михайловна

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: ttm49@mail.ru
тел.: (8142) 576520

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

Polyakova, Tamara

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: TNPVVL@mail.ru
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

Slastina, Yulia

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

Timakova, Tamara

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: ttm49@mail.ru
tel.: (8142) 576520

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