



<http://ecopri.ru>

<http://petsu.ru>

Издатель

ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

Т. 3. № 3(11). Ноябрь, 2014

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. К. Зильбер
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов

Редакционная коллегия

Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. Е. Веселов
Т. О. Волкова
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
А. М. Макаров
А. Ю. Мейгал

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
А. А. Кухарская
О. В. Обарчук
Н. Д. Чернышева
Т. В. Климюк
А. Б. Соболева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Анохина, 20. Каб. 208.

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





УДК УДК 574.52

Динамика сообщества зоопланктона озера Тарасозеро в условиях длительного антропогенного загрязнения

КУЧКО

Ярослав

Александрович
КУЧКО

Тамара Юрьевна

ФГБУН Институт биологии Карельского научного
центра РАН, y-kuchko@mail.ru

Петрозаводский государственный университет,
kuchko@drevlanka.ru

Ключевые слова:

мониторинг
сообщество зоопланктона
водная экосистема
видовой состав
биомасса
численность

Аннотация:

В статье представлены результаты многолетних исследований зоопланктона озера Тарасозеро (бассейн реки Лижма). В водоем с 1992 года поступают стоки с рыбоводного форелевого комплекса «Кедрозеро». Полученные данные показали, что за период с 1989 по 2012 год в сообществе зоопланктона произошел ряд изменений, свидетельствующих о постепенном повышении трофического статуса водоема. Среднегодовая биомасса зоопланктона возросла с 500 до 1000 мг/м³. По величине индекса трофности (Мяэметс, 1979) Тарасозеро переходит в разряд мезотрофных водоемов (0.5–1.0). Индекс сапробности Пантле-Букка увеличился с 0.95 до 1.42. В составе зоопланктона отмечаются виды, которые в условиях умеренных широт служат индикаторами повышенной трофности – *Polyarthra luminosa*, *Filinia longisetata*, *Trichocerca insignis*, *Daphnia longispina*, *Cyclops kolensis*. Показатель B_{crus}/B_{rot} после ввода в действие форелевого хозяйства заметно снизился, что указывает на возрастание роли коловраток в образовании общей биомассы зоопланктона. В настоящее время к числу доминирующих видов относятся *D. longispina*, *Bosmina longirostris*, *Mesocyclops leuckarti*, *Asplanchna priodonta*. Несмотря на то, что происходящие изменения не носят катастрофического характера, целесообразна организация регулярного мониторинга начальных звеньев трофической цепи экосистемы водоема.

© 2014 Петрозаводский государственный университет

Рецензент: А. В. Зубченко
Рецензент: Н. М. Калинкина

Получена: 08 декабря 2014 года

Опубликована: 25 декабря 2014 года

В связи с активным развитием рыбоводства в Республике Карелия и увеличением объемов производства рыбной продукции перед учеными все чаще встает проблема сохранения водных экосистем, на которых располагаются рыбоводные хозяйства. Одним из таких примеров является оз. Тарасозеро. На его берегу расположен Кедрозерский рыбоводный завод, который уже на протяжении 22 лет (с 1992 года) сбрасывает в водоем загрязненные воды с форелевых выростных канав, оказывая тем самым значительную биогенную нагрузку. Проектная мощность форелевого комплекса рассчитана на выращивание 200 т товарной форели и 50 т молоди в год.

Как известно, дополнительное поступление биогенных элементов в водоем (главным образом органических соединений N, P, C) влечет за собой снижение прозрачности воды, увеличение биомассы и первичной продукции фитопланктона, а также других начальных звеньев трофической цепи. Ухудшается кислородный режим, возникают новые ассоциации перифитона, отмечается ежегодное «цветение» воды, усиленное образование детрита и заиливание грунтов (Решетников, 1982). Изменение условий существования отражается на видовом составе, соотношении таксономических групп, структуре популяций и количественных показателях зоопланктона, бентоса и ихтиофауны. Наиболее четко изменения в структуре сообщества прослеживаются на примере зоопланктона. Целью работы было изучение динамики видового разнообразия, количественных и структурных показателей сообщества зоопланктона оз. Тарасозера в условиях длительного антропогенного загрязнения.

Озеро Тарасозера принадлежит к бассейну р. Лижмы, который расположен в средней части Карельского гидрографического района к северо-западу от Заонежского полуострова. Тарасозера – небольшое по площади мелководное озеро, расположено между южной оконечностью Кедрозера и Малой Лижемской губой Онежского озера. Через него протекает р. Нижняя Лижма, вытекающая из Кедрозера и впадающая в Малую Лижемскую губу. Озеро имеет удлинённую форму, вытянуто с СЗ на ЮВ. В отличие от других озёр бассейна Тарасозера характеризуется исключительно высоким показателем условного водообмена (табл. 1).

Таблица 1. Основные морфометрические и гидрологические показатели Тарасозера (по: Озера Карелии, 2013)

Показатель	оз. Тарасозера
Географические координаты	62° 23' с. ш. ; 34° 27' в. д.
Площадь зеркала, км ²	1.1
Длина, км	2.3
Ширина ср./макс., км	0.5/0.9
Глубина ср./макс., м	3.7/5.8
Показатель условного водообмена	59.6
Площадь водосбора, км ²	703
Объем водных масс, млн м ³	4.1

Гидрологические показатели водоема в связи со строительством рыбоводного хозяйства практически не изменились. Только на участке р. Лижмы протяженностью 0.9 км от Кедрозера до Тарасозера уменьшился расход воды в зависимости от рыбоводного цикла на 0.52–1.0 м³/с (проектные данные), что составляет 6.0–11.6 %, или в среднем около 8 % от среднегодового расхода воды р. Лижмы.

Пробы зоопланктона отбирались с интервалом в 4 года с 1989 по 2012 год трижды за вегетационный период с 15 июня до 12 сентября на 4 постоянных станциях. Даты отбора проб по годам отличались на 10–12 дней. Станции располагались по главной оси водоема в направлении с СЗ на ЮВ, диапазон глубин составлял от 2.5 до 4.5 м. Температура воды во время исследований колебалась в пределах 15–23 °С.

Для отбора проб применялся планктобаторометр объемом 2 л, при этом облавливались все слои воды с интервалом в 1 м с двукратной повторностью. Интегрированные пробы процеживались через планктонную сеть (диаметр ячеек 100 мкм), концентрировались до 100 мм³ и фиксировались 4 % формалином. Данные по численности и биомассе зоопланктона за вегетационный период каждого года усреднялись.

Обработка проб проводилась непосредственно авторами по общепринятым методикам гидробиологического мониторинга (Руководство..., 1992). Биомасса зоопланктона определялась расчетным методом (Ruttner-Kolisko, 1977; Балушкина, Винберг, 1979). Для анализа структуры зоопланктоценоза использовались следующие индикаторные показатели: V_{crus}/V_{rot} , N_{clad}/N_{cop} , V_{cycl}/V_{cal} . Индекс видового разнообразия рассчитывался по формуле Шеннона – Уивера (Shannon, Weaver, 1963).

Для оценки трофического статуса на основе изучения изменений в качественном составе зоопланктона нами использовался индекс трофности E, предложенный А. Х. Мязетсом (1979) с учетом дополнительного списка видов-индикаторов трофности, содержащегося в работе L. Nakkarı (1972).

Также трофический статус водоема оценивался по шкале трофности для зоопланктона по методике С. П. Китаева (1984). Систематика низших ракообразных и коловраток приводится согласно современным представлениям о таксономии планктонных беспозвоночных (Определитель..., 2010).

За период исследований с 1989 по 2012 год список планктонных организмов, отмеченных нами в озере Тарасозера, насчитывает 60 таксонов (табл. 2). Из них коловраток (*Rotifera*) – 18, ветвистоусых ракообразных (*Cladocera*) – 29, веслоногих ракообразных *Copepoda* – 13 (*Calaniformes* – 3 и *Cyclopiformes* – 10).

Таблица 2. Видовой состав зоопланктона Тарасозера

Таксон	Годы исследований			
	1989	1992	1996	2000
Тип <i>Rotifera</i>	Класс <i>Eurotatoria</i>			

Сем. Synchaetidae					
<i>Synchaeta stylata</i> Wierz.	-	-	+	+	-
<i>S. pectinata</i> Ehrenberg	-	-	+	-	+
<i>Polyarthra minor</i> Voight	-	-	-	-	-
<i>P. luminosa</i> Kutikova	-	-	+	+	-
<i>Ploesoma truncatum</i> (Lev.)	+	-	-	-	-
<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)	+	+	+	+	+
Сем. Asplanchnidae					
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	+	+	+	+	+
Сем. Euchlanidae					
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg	-	-	-	+	+
<i>E. triquetra</i> Ehrenberg	+	+	-	+	+
<i>E. deflexa</i> Gosse	-	-	-	-	-
Сем. Brachionidae					
<i>Keratella cochlearis</i> Gosse	+	+	+	+	-
<i>K. serrulata</i> (Ehrenberg)	-	-	+	-	-
<i>K. quadrata</i> (Muller)	-	+	+	-	-
<i>Kellicottia longispina</i> (Kel.)	+	+	+	+	+
<i>Notholca caudata</i> Carlin	+	+	-	-	-
Сем. Conochilidae					
<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet	-	+	+	-	+
Сем. Testudinellidae					
<i>Testudinella patina</i> (Hermann)	-	-	+	-	+
Сем. Filinidae					
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg)	-	-	-	+	-
Тип Arthropoda Подтип Branchiata					
			Класс Crustacea		
			Подкласс Branchiopoda		
			Отряд Cladocera		
Сем. Sididae					
<i>Sida crystallina</i> (O.F. Muller)	+	+	-	-	+
<i>Limnospina frontosa</i> Sars	-	+	+	+	-
<i>Latona setifera</i> O.F. Muller	+	-	-	-	+
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin)	-	-	+	-	+
Сем. Holopedidae					
<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach	+	+	+	+	-
Сем. Daphniidae					
<i>Daphnia longispina</i> O.F. Muller	+	+	+	+	+
<i>D. cucullata</i> Sars	+	-	-	-	+
<i>D. cristata</i> Sars	+	-	-	-	+
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Muller)	+	+	+	+	-
Сем. Macrothricidae					
<i>Ophryoxus gracilis</i> Sars	+	+	+	+	+
Сем. Chydoridae					
<i>Eurycercus lamellatus</i> (O.F. Muller)	+	+	+	+	+
<i>P. truncatus</i> (O.F. Muller)	+	-	-	+	-
<i>P. denticulatus</i> (Birge)	+	+	-	-	-
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Muller)	+	+	+	+	+
<i>Pseudochydorus globosus</i> Baird	+	-	-	-	-
<i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Muller)	+	+	-	+	+
<i>Biapertura affinis</i> Leydig	-	-	-	-	+
<i>Acroperus harpae</i> (Baird)	+	+	+	+	+
<i>A. elongatus elongatus</i> (Sars)	-	-	+	+	-
<i>Graptoleberis testudinaria</i> (Ficher)	+	-	-	-	-
<i>Rhynchotalona falcata</i> (Sars)	-	-	-	-	+
<i>Camptocercus restirostris</i> Schoedler	+	-	-	-	-
Сем. Bosminidae					
<i>Bosmina (Bosmina) longirostris</i> (O.F. Muller)	-	+	+	+	+
<i>B. longispina</i> Leydig	+	+	+	-	-
<i>B. (Eubosmina) cf. coregoni</i> Baird	+	+	+	+	-
<i>B. (Eubosmina) cf. kessleri</i> Uljanin	+	+	-	+	-
Сем. Polyphemidae					
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linne)	+	+	-	-	+
<i>Bythotrephes brevimanus</i> Leydig	-	-	-	+	-
Сем. Leptodoridae					
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	-	-	-	-	-
Подкласс Maxillopoda					
			Отряд Соперода		
			Подотряд Calanoida		

Сем. Diaptomidae

Eudiaptomus gracilis Sars + + + + +

Сем. Temoridae

Eurytemora lacustris (Poppe) + - + - -

HeterosCOPE appendiculata Sars + - + - -

Подотряд Cyclopoida

Сем. Cyclopidae Подсемейство Eucyclopinae

Macrocylops albidus (Jurine) + - - - -

Eucyclops serrulatus Lilljeborg - - - - +

E. serrulatus var. proximus (Lilljeborg) - - - - +

Paracyclops fimbriatus (Fisher) - - - - -

Подсемейство Cyclopinae

Cyclops strenuus Fisher + + + + +

C. vicinus Uljanin - - - + -

Megacyclops viridis (Jurine) + + - - +

M. gigas (Claus) + - - - -

Mesocyclops (s. str.) leuckarti Claus + + + + +

Thermocyclops oithonoides Sars + + + + +

Анализ динамики видового богатства зоопланктона Тарасозера показывает, что если в 1989 году доля коловраток от общего числа видов составляла 18 %, ветвистоусых – 51 %, веслоногих – 31 %, то в настоящее время – 33, 43 и 25 % соответственно (табл. 3).

Таблица 3. Количество таксономических единиц зоопланктона Тарасозера по группам

	Группы
	Rotifera
	Cladocera
	Calanoida
	Cyclopoida
	Всего

Также нами были выявлены изменения в соотношении количественных показателей основных групп (табл. 4, 5). Так, в конце 1980-х - начале 1990-х годов по численности преобладали ветвистоусые и веслоногие ракообразные (35 и 55 % соответственно), а доля коловраток колебалась около 10 %. В то же время преобладание крупных форм среди ветвистоусых определяло их доминирование по биомассе в зоопланктоне озера – 75 %, на долю веслоногих приходилось 22 %, на долю коловраток – 3 %.

Таблица 4. Динамика численности зоопланктона Тарасозера в летний период в среднем за 1989–2012 годы (тыс. экз/м³)

Год	Показатель	Rotifera	Cladocera
1989	N	1.6	4.6
	%	14.6	41.8
1992	N	0.96	4.8
	%	5.6	27.7
1996	N	3.7	4.3
	%	35.2	40.9
2000	N	6.9	5.8
	%	50.4	42.3
2004	N	1.8	5.2
	%	17.8	51.5
2008	N	2.0	6.8
	%	14.3	48.6
2012	N	3.4	5.8
	%	25.2	43.4

Относительно низкий вклад копепод в образовании общих показателей биомассы объясняется преобладанием в этой группе мелких видов р. *Mesocyclops* – *M. oithonoides* и *M. leuckarti*. Коловратки были представлены главным образом *K. longispina* и *A. priodonta*, которые встречались повсеместно и существенной роли в образовании биомассы зоопланктона не играли.

Таблица 5. Динамика биомассы зоопланктона Тарасозера в летний период в среднем за 1989–2012 гг. (мг/м³)

Год	Показатель	Rotifera	Cladocera
1989	B	11.5	495.9
	%	2.1	90.5
1992	B	31.0	385.0
	%	4.8	59.4
1996	B	51.0	512.2

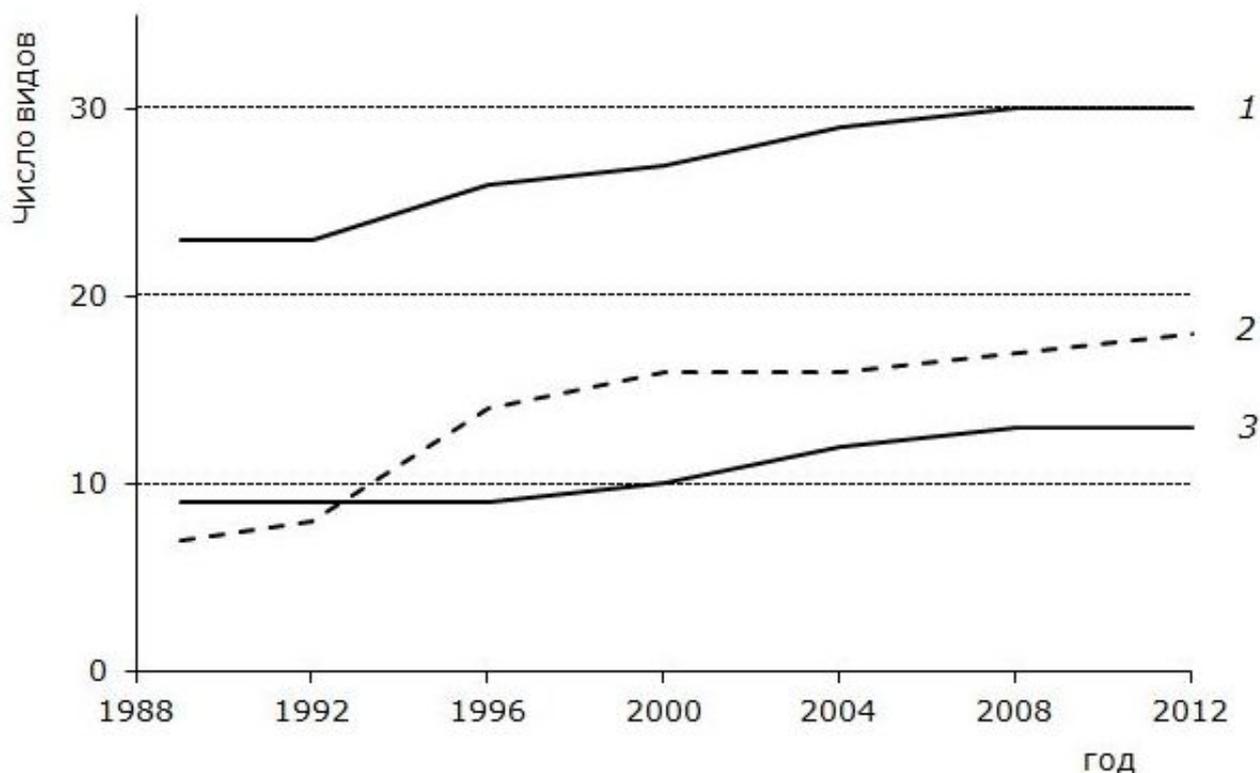
2000	%	8.8	88.0
	В	111.4	708.9
2004	%	13.1	83.4
	В	50.0	672.0
2008	%	6.5	86.8
	В	90.0	840.0
2012	%	9.0	83.0
	В	58.7	542.2
	%	6.4	59.5

Анализ многолетней динамики видового состава зоопланктона в Тарасозере показал, что летний комплекс руководящих компонентов планктонной фауны сравнительно невелик и более или менее однороден по всей акватории. Он складывается из небольшого числа видов, имеющих в Карелии широкое распространение и отличающихся высокой численностью в озерах различных лимнологических типов. В озере четкого разграничения экологических комплексов зоопланктона на пелагический, прибрежно-зарослевый и придонный не наблюдается. Даже в центральной зоне озера обычными компонентами зоопланктона становятся обитатели зарослевого прибрежья.

Многие придонные виды довольно часто встречаются по всей толще воды, что характерно и для большинства мелких озер Северо-Запада России (Салазкин, 1976). Основной фаунистический комплекс зоопланктона составляют эвритопные организмы, имеющие широкую амплитуду приспособленности к меняющимся условиям обитания. Летом, по сравнению с весенним периодом, в составе зоопланктона появляется значительно больше видов ветвистоусых (*Sida crystallina*, *Graptoleberis testudinaria*, *Ceriodaphnia quadrangula*, до 4 видов и форм р. *Bosmina* и др.).

До начала работы форелевого комплекса в 1992 году, Тарасозеро относилось к классу олиготрофных водоемов со среднелетней биомассой зоопланктона до 500 мг/м³ (Кучко, 2004; Куликова, 2007). Основа биомассы (от 50 до 90 %) создавалась за счет ветвистоусых ракообразных, главным образом видов р. *Bosmina*. На долю циклопид (*Mesocyclops leuckarti*, *Thermocyclops oithonoides*, *Cyclops strenuus*) приходилось в среднем от 10 до 40 %. Зоопланктон литорали отличался от пелагического повышенным видовым разнообразием коловраток (до 7 видов). В центральной части озера на глубинах 3–4.5 м зоопланктон по числу встречающихся видов и количественным показателям мало отличался от литорального (1.5–2 м), однако биомасса в целом складывалась за счет более крупных объектов, поскольку здесь значительно ниже численность коловраток и мелких циклопид, а удельный вес крупных калянид (*Eudiaptomus gracilis*, *HeterosCOPE appendiculata*) увеличивался до 10 %.

После начала работы форелевого комплекса (1992 год) наиболее заметные изменения видового состава зоопланктона в Тарасозере произошли в группе коловраток. За период с 1989 по 2012 год число их видов увеличилось с 7 до 13 (рисунок). Видовое разнообразие и обилие коловраток в водоеме определяется напряженностью конкурентных отношений за пищевые ресурсы, а также воздействием различных факторов среды. В благоприятных условиях, размножаясь партеногенетически, они быстро достигают высокой численности, однако ввиду мелких размеров и веса (большинство имеют индивидуальный вес менее 1 мкг) значения общей биомассы коловраток редко превышают несколько десятков миллиграмм в 1 м³. Общими за все время исследований являлись такие виды, как *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Asplanchna priodonta*, *Bipalpus hudsoni*, которые входят в состав руководящих видов зоопланктона большинства карельских водоемов и распространены повсеместно. Начиная с 1996 года в пробах стали отмечаться коловратки, относимые к группе индикаторов повышенной трофности, – *Synchaeta stylata*, *S. pectinata*, *Polyarthra luminosa*.



Многолетняя динамика видового богатства зоопланктона оз. Тарасозеро. 1 – Cladocera, 2 – Rotatoria, 3 – Copepoda

Long-term dynamics of species diversity of zooplankton in Lake Tamasozero .

1 – Cladocera, 2 – Rotatoria, 3 – Copepoda

Появление этих видов в планктоне часто указывает на увеличение биогенной нагрузки на водоем или наличие источников органического загрязнения (Андроникова, 1996; Думнич, 2000). Численность некоторых холодноводных олигосапробных видов коловраток заметно снизилась и к концу 1990-х годов в Тарасозере фактически перестали встречаться такие виды, как *Notholca caudata*, *Keratella quadrata*. Это свидетельствует о более выраженной реакции коловраток, по сравнению с другими группами, на изменение условий в озере за истекший период.

Так, до ввода в действие форелевого хозяйства, в 1989–1992 годах заметную роль в сообществе (до 20 % по численности) играла коловратка *Conochilus unicornis* (олиго-мезотрофный вид), которая к 1997 году выпала из субдоминантов, а в настоящее время этот вид отличается незначительной численностью.

Постепенное усиление органической нагрузки на водоем привело к увеличению относительной численности *K. cochlearis* наряду с *K. longispina* до 18 % к 2004 году, а также заметному развитию видов из сем. *Synchaetidae*. Повышение роли этого комплекса наблюдается в настоящее время и сказывается на величине показателя сапробности воды Тарасозера.

Менее заметные изменения видового богатства произошли в группе ветвистоусых ракообразных. В 1989 году было отмечено максимальное количество кладоцер – 20 видов. Это объясняется тем, что в видовой список, в отличие от последующих лет, также вошли организмы, отмеченные в питании молоди плотвы, окуня и уклей в литорали северной части водоема (в основном бентические зарослевые виды сем. *Chydoridae* – *Graptoleberis testudinaria*, *Camptocercus restirostris*), которые малочисленны и не всегда улавливаются стандартными орудиями лова. В дальнейшем количество видов ветвистоусых по годам колебалось в пределах 14–17. После ввода в эксплуатацию форелевого хозяйства в 1992 году отмечается снижение численности некоторых пелагических и эвритопных олиго-мезотрофных видов сем. *Bosminidae* – *Bosmina longispina*, *B. coregoni*, *B. kessleri*. С другой стороны, возрастает обилие видов зарослевого зоопланктоценоза – главным образом за счет крупных *Sida crystallina*, *Eurycercus lamellatus*, *Latona setifera*, *Alona quadrangularis*, *Polyphemus pediculus*, видов рода *Acroperus*.

Среди веслоногих ракообразных в последние годы исследований (2008, 2012) в пробах стали встречаться некоторые бентические зарослевые виды, не отмеченные ранее – *Eucyclops serrulatus* и *Paracyclops fimbriatus*. В то же время из списка пелагического копеподного планктона начиная с 2000 года выпала *Eurytemora lacustris*. В остальном существенных изменений в группе зарегистрировано не было и веслоногие сохранили относительную стабильность видового состава на протяжении всего периода исследований.

По величине индекса трофности Мяземца (табл. 6) Тарасозеро постепенно переходит в разряд

мезотрофных водоемов (0.5–1.0). Этому способствуют малые размеры водоема и постоянное присутствие в планктоне коловраток семейства *Synchaetidae* и зарослевых форм *Cladocera* (главным образом представителей семейства *Chydoridae*), являющихся в массе своей индикаторами мезотрофии. В составе зоопланктона также встречаются виды, которые, по свидетельству ряда авторов, в условиях умеренных широт служат индикаторами повышенной трофности, – *Polyarthra luminosa*, *Filinia longiseta*, *Trichocerca insignis*, *Daphnia longispina*, *Cyclops kolensis* (Рылов, 1948; Мануйлова, 1964; Кутикова, 1970; Pejler, 1965). Полученные нами данные хорошо согласуются с результатами продолжительных исследований на двух озерах южной Карелии – Сямозере и Пертозере. На Сямозере показатель Е за 20 лет (с 1955 по 1979 год) увеличился в 2.9 раза и составил 0.52, за эти годы трофический статус Сямозера изменился, и по уровню количественного развития зоопланктона озеро перешло из олиготрофного в мезотрофное состояние (Куликова, 2004). Пертозеро, в результате воздействия схожих эвтрофирующих факторов (сельскохозяйственные стоки с водосбора, воздушный перенос, строительство дачных кооперативов на побережье, усиление рекреационной нагрузки), также стало относиться к разряду мезотрофных водоемов и к 1989 году индекс трофности составил 0.86 (Тимакова, 1997). Результаты оценки качества воды по методу Пантле и Букка (Макрушин, 1974; Куликова, 1983), основанной на индикаторной значимости организмов и частоте их встречаемости, сопоставимы с данными по уровню трофности. После начала работы форелевого хозяйства значения индекса стали постепенно возрастать, отражая изменения в видовом составе и структуре зоопланктоценоза. После начала работы форелевого хозяйства было отмечено некоторое увеличение численности коловраток, в 2000 году их доля составляла около 50 % от общего количества зоопланктона. Доминировали в основном некрупные коловратки сем. *Synchaetidae* и *Brachionidae* – *S. pectinata*, *K. longispina*, *K. cochlearis*. Однако в дальнейшем ожидаемого роста численности коловраток не произошло, к 2008 году их доля в общем количестве зоопланктона практически осталась на уровне 1989–1992 годов и составила всего 14.3 %. Это можно объяснить изменением трофической структуры группы коловраток. Начиная с 2004 года отмечается тенденция к увеличению количественных показателей хищного крупноразмерного вида *A. priodonta* (до 20 % численности и 70 % от общей биомассы коловраток). Удельный вес коловраток в общей биомассе зоопланктона также возрос и в 2008 году составил 9 %. Вместе с тем следует отметить, что в некоторых мезотрофных водоемах доля *A. priodonta* в общей биомассе коловраток значительно выше и достигает 88–95 %, а ее вклад в тотальную биомассу зоопланктона составляет от 25 до 40 % (Макарцева, 1988; Думнич, 2000). В группе ветвистоусых ракообразных были отмечены следующие изменения. При общем сохранении доминирования кладоцер по биомассе за весь период исследования в результате перестройки внутренней структуры произошли изменения в комплексе ценозообразующих видов. Начиная с 1996–1997 годов в группу доминант входят в основном зарослевые виды – *S. crystallina*, *E. lamellatus*, *A. quadrangularis*, *Ch. sphaericus*, а их вклад в создание общей биомассы зоопланктона увеличился с 22 до 50 %. Подобное явление характерно для удобряемых малых водоемов (площадью до 300 га) Северо-Запада России, на которых развито интенсивное озерное рыбководство (Моисеева, Алексеев, 1986). Это говорит о том, что в малых водоемах литоральный зоопланктон в большей мере реагирует на увеличение притока биогенов, чем пелагический. Интенсивное развитие крупных зарослевых видов отразилось на показателе средней индивидуальной массы зоопланктеров, который за период исследования возрос и в 2012 году составил 0,068 мг/особь (табл. 6).

Таблица 6. Динамика структурных показателей зоопланктона оз. Тарасозера

Год	1989	1992	1996	2000	2004
W_{cp} (мг/особь)	0.049	0.037	0.056	0.062	0.076
B_{crus}/B_{rot}	46.6	19.9	10.4	6.6	14.5
B_{cycl}/B_{cal}	2.82	2.11	3.24	4.74	6.65
N_{clad}/N_{cop}	0.71	3.3	1.9	5.8	1.7
Индекс трофности	0.44	0.43	0.42	0.50	0.58
Индекс сапробности	0.95	1.10	1.15	1.12	1.26
Индекс Шеннона, бит/экз.	1.68	1.70	1.70	1.71	1.73

В группе веслоногих ракообразных снижается доля диаптомид и возрастает доля циклопид преимущественно за счет видов *M. leuckarti* и *Th. oithonoides*, величина индекса B_{cycl}/B_{cal} за период исследований увеличилась с 2.82 до 9.36. Анализ динамики других структурных показателей позволяет расценивать происходящие изменения в сообществе зоопланктона Тарасозера как результат длительного воздействия сточных вод форелевого хозяйства. Также с начала 2000-х годов на территории частного водосбора Тарасозера развивается дачное строительство, что может приводить к дополнительному поступлению в водоем биогенных веществ. Показатель B_{crus}/B_{rot} после ввода в действие форелевого хозяйства заметно снизился, что указывает на возрастание роли коловраток в образовании общей биомассы зоопланктона и функционировании сообщества в целом. Несмотря на это отмечается увеличение абсолютных показателей биомассы в среднем за вегетационный период до 1000 мг/м³ и среднего веса зоопланктеров до 0,068 мг/особь к 2012 году. Показатель N_{clad}/N_{cop} по годам отличается незначительно (за исключением 2000 года) и отражает определенную стабильность

численности основных групп зоопланктона на протяжении всего периода исследований.

1. В Тарасозере после ввода в эксплуатацию форелевого хозяйства (1992 год) отмечено незначительное обогащение видового состава зоопланктона за счет представителей *Rotatoria* и *Cladocera*. Было зафиксировано появление 5 видов зоопланктона, не встречавшихся ранее, большинство из которых являются индикаторами мезо- и эвтрофных условий по системе сапробности Пантле – Букка.
2. Показано увеличение индекса трофности Мязметса, отражающего изменения в соотношении как таксономических групп, так и индикаторных организмов. По величине данного показателя Тарасозеро перешло в разряд мезотрофных водоемов.
3. По уровню количественного развития зоопланктона Тарасозеро постепенно переходит от олиготрофного к мезотрофному типу со среднелетней биомассой около 1 г/м³.
4. За время исследований отмечены структурные перестройки сообщества зоопланктона, также свидетельствующие о повышении трофического статуса водоема. В Тарасозере, которое характеризуется малой площадью, незначительными глубинами, высоким коэффициентом водообмена и развитой высшей водной растительностью, происходит интенсивное развитие зарослевого зоопланктоценоза (в основном крупные формы *Cladocera* и некоторые виды *Rotifera*), что отражается на увеличении средней индивидуальной массы зоопланктеров. Для уточнения причин отмеченных явлений целесообразно рекомендовать проведение альгологических и гидрохимических исследований на водоеме в течение вегетационного периода.

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов [Structural and functional organization of the zooplankton in lake ecosystems of different trophic level]. СПб.: Наука, 1996. 189 с.

Думнич Н. В. Ракообразные (Crustacea) и коловратки (Rotatoria) крупных озер Вологодской области [Crustaceans (Crustacea) and rotifers (Rotatoria) of large lakes in the Vologda region]: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2000. 25 с.

Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон [Ecological bases of bioefficiency in lakes of different natural zones]. М.: Наука, 1984. 207 с.

Куликова Т. П. Зоопланктон водоемов бассейна реки Шуи (Карелия) [Zooplankton of water bodies in Shuya river basin (Karelia)]. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 124 с.

Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов бассейна Онежского озера [Zooplankton in water bodies of Lake Onega basin]. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 223 с.

Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria) [Rotifer in the fauna of the USSR (Rotatoria)]. Л.: Наука, 1970. 744 с.

Кучко Я. А. Влияние форелевого хозяйства на сообщество зоопланктона озерно-речной экосистемы [Effect of trout farm on zooplankton community lake and river ecosystems]: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2004. 26 с.

Лазарева Н. Б. Протозойный планктон и качество воды в Петрозаводском Онего [Protozoan plankton and water quality in Petrozavodsk Onega] // Петрозаводское Онего и его лимнологические особенности. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 1994. С. 108–122.

Мануйлова Е. Ф. Ветвистоусые рачки фауны СССР [Cladocerans fauna of the USSR]. М.: Наука, 1964. 327 с.

Макарцева Е. С. Изменения структуры и качественных показателей зоопланктона при повышении уровня трофии озер [Changes in the structure and quality of indicators in zooplankton in increasing trophic level of lakes] // Изменения структуры экосистем озер в условиях возрастающей антропогенной нагрузки. Л.: Наука, 1988. С. 221–241.

Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод [Biological analysis of water quality]. Л.: ЗИН АН СССР, 1974. 59 с.

Моисеева И. Г., Алексеев В. Р. Фауна ветвистоусых и веслоногих ракообразных литоральной зоны малых озер Северо-Запада СССР // Исследования пресноводных и морских беспозвоночных [Fauna of cladocerans and in littoral zone of small lakes in the North-West of the USSR]: Труды ЗИН АН СССР. 1986. Т. 152. С. 116–128.

Мязметс А. Х. Качественный состав пелагического зоопланктона как показатель трофности озера [The qualitative composition of pelagic zooplankton as an indicator of trophic lake] // Изучение и освоение водоемов Прибалтики и Белоруссии: тезисы докладов 20-й науч. конф. Рига: Изд-во Тарту, 1979. Т. 1. С. 12–15.

Кучко Я. А., Кучко Т. Ю. Динамика сообщества зоопланктона озера Тарасозеро в условиях длительного антропогенного загрязнения // Принципы экологии. 2014. Т. 3. № 3. С. 28–39.

Озера Карелии: Справочник [Lakes of Karelia. Catalog] / под ред. Н. Нсореподс . Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦРАН, 2013. 464 с.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон [The key of zooplankton and zoobenthos in freshwater ponds of European Russia. Vol. 1. Zooplankton] / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.

Пидгайко М. Л. Зоопланктон водоемов Европейской части СССР [Zooplankton of water bodies in the European part of the USSR]. Л.: Наука, 1984. 207 с.

Решетников Ю. С. Изменение озерных экосистем [Changing lake ecosystems] // Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. С. 5–12.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем [Guide on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems] / под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Наука, 1992. 318 с.

Рылов В.М. Cyclopoida пресных вод [Cyclopoida of freshwater ponds]. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Т. 3. Вып. 3. 319 с.

Салазкин А. А. Основные типы озер гумидной зоны и их биолого-продукционная характеристика [The main types of humid zone lakes and their biological and production characteristic]. М.: Изв. ГосНИОРХ, 1976. Т. 108. 194 с.

Тимакова М. В. Коловратки и ракообразные оз. Пертозеро (структура, динамика, продуктивность) [Rotifers and crustaceans of Lake Pertozero (structure, dynamics, productivity)]: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 1997. 24 с.

Hakkari L. Zooplankton species as indicators of environment // Aqua Fennica. Helsinki. 1972. P. 46–54.

Pejler B. On long – term stability of zooplankton composition // Scr. Limnol. Uppsala. 1975. Bd. II. P. 107–117.

Ruttner-Kolisko A. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers // Arch. Hydrobiol. Ergebn. Limnol. Struttgart, 1977. H. 8. S. 71–78.

Shannon C. E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: Univ. Illinois Press, 1963. 117 p.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ ОБН РАН «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий», Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» и Минобрнауки РФ (НШ-1410.2014.4; Соглашение 8101), гранта РФФИ №12-04-00022а.

Dynamics of zooplankton community of Lake Tarasozero in long-term anthropogenic pollution

**KUCHKO
Yaroslav**

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, y-kuchko@mail.ru

**KUCHKO
Tamara**

Petr SU, kuchko@drevlanka.ru

Keywords:

monitoring
zooplankton community
aquatic ecosystem
species composition
biomass
abundance

Summary:

In the article the results of zooplankton studies in Lake Tarasozero (Lizhma river basin) are presented. Wastes from the trout-breeding complex "Kedrozero" have been collected in this pond since 1992. The obtained data showed that from 1989 to 2012 a number of changes in zooplankton community take place and it is the evidence of the gradual increase in the trophic status of the reservoir. The average biomass of zooplankton increased from 500 to 1000 mg/m³. According to the trophic index (Myaemets, 1979), Tarasozero is replaced into the category of mesotrophic water reservoirs (0.5 - 1.0). Saprobity index raised from 0.95 to 1.42. In the composition of the zooplankton there noted such species, as *Polyarthra luminosa*, *Filinia longiseta*, *Trichocerca insignis*, *Daphnia longispina*, *Cyclops kolensis*, which serve as indicators of increased trophic level in the conditions of moderate latitudes. After the trout farm started off, *Bcрус/Brot* indicator considerably decreased indicating to increasing role of rotifers in the formation of the total biomass of the zooplankton. Currently, the dominant species include *D. longispina*, *Bosmina longirostris*, *Mesocyclops leuckarti*, *Asplanchna priodonta*. In spite of the fact that the current changes are not catastrophic, it is reasonable to monitor regularly the initial links of the trophic chain of the reservoir ecosystem

References

- Andronikova I. N. Structural and functional organization of the zooplankton in lake ecosystems of different trophic level. SPb.: Nauka, 1996. 189 p.
- Dumnich N. V. Crustaceans (Crustacea) and rotifers (Rotatoria) of large lakes in the Vologda region: avtoref. disp. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 2000. 25 p.
- Kitaev S. P. Ecological bases of bioefficiency in lakes of different natural zones. M.: Nauka, 1984. 207 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of water bodies in Shuya river basin (Karelia). Petrozavodsk: KarNC RAN, 2004. 124 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton in water bodies of Lake Onega basin. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2007. 223 p.
- Kutikova L. A. Rotifer in the fauna of the USSR (Rotatoria). L.: Nauka, 1970. 744 p.
- Kuchko Ya. A. Effect of trout farm on zooplankton community lake and river ecosystems: avtoref. disp. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 2004. 26 p.
- Lazareva N. B. Protozoan plankton and water quality in Petrozavodsk Onega, Petrozavodskoe Onego i ego limnologicheskie osobennosti. Petrozavodsk: Izd-vo KarNC RAN, 1994. P. 108–122.

Manuylova E. F. Cladocerans fauna of the USSR. M.: Nauka, 1964. 327 p.

Makarceva E. S. Changes in the structure and quality of indicators in zooplankton in increasing trophic level of lakes, *Izmeneniya struktury ekosistem ozer v usloviyah vozrastayushey antropogennoy nagruzki*. L.: Nauka, 1988. P. 221–241.

Makrushin A. V. Biological analysis of water quality. L.: ZIN AN SSSR, 1974. 59 p.

Moiseeva I. G. Alekseev V. R. Fauna of cladocerans and in littoral zone of small lakes in the North-West of the USSR: *Trudy ZIN AN SSSR*. 1986. T. 152. P. 116–128.

Myaemets A. H. The qualitative composition of pelagic zooplankton as an indicator of trophic lake, *Izuchenie i osvoenie vodoemov Pribaltiki i Belorussii: tezisy dokladov 20-y nauch. konf.* Riga: Izd-vo Tartu, 1979. T. 1. P. 12–15.

Lakes of Karelia. Catalog, pod red. N. Ncopepods . Filatova, V. I. Kuhareva. Petrozavodsk: KarNCRAN, 2013. 464 p.

The key of zooplankton and zoobenthos in freshwater ponds of European Russia. Vol. 1. Zooplankton, pod red. V. R. Alekseeva, P. Ya. Calolihina. M.: Tovarischestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2010. 495 p.

Pidgayko M. L. Zooplankton of water bodies in the European part of the USSR. L.: Nauka, 1984. 207 p.

Reshetnikov Yu. S. Changing lake ecosystems, *Izmenenie struktury rybnogo naseleniya evtrofiruemogo vodoema*. M.: Nauka, 1982. P. 5–12.

Guide on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems, pod red. V. A. Abakumova. SPb.: Nauka, 1992. 318 p.

Rylov V.M. Cyclopoida of freshwater ponds. M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1948. T. 3. Vyp. 3. 319 p.

Salazkin A. A. The main types of humid zone lakes and their biological and production characteristic. M.: *Izv. GosNIORH*, 1976. T. 108. 194 p.

Timakova M. V. Rotifers and crustaceans of Lake Pertozero (structure, dynamics, productivity): avtoref. disp. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 1997. 24 p.

Hakkari L. Zooplankton species as indicators of environment, *Aqua Fennica*. Helsinki. 1972. P. 46–54.

Pejler B. On long – term stability of zooplankton composition, *Scr. Limnol. Uppsala*. 1975. Bd. II. P. 107–117.

Ruttner-Kolisko A. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers, *Arch. Hydrobiol. Ergebn. Limnol. Struttgart*, 1977. H. 8. S. 71–78.

Shannon C. E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: Univ. Illinois Press, 1963. 117 p.