

**Состояние сообществ водных беспозвоночных (планктон, бентос)
в условиях эксплуатации в водоёме форелевого хозяйства**

© 2015. М. А. Батурина, к.б.н., с.н.с., О. Н. Кононова, к.б.н., н.с.,
Р. Р. Рафиков, аспирант,
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
e-mail: baturina@ib.komisc.ru, kon@ib.komisc.ru, rafikov@ib.komisc.ru

Представлены результаты наблюдения за состоянием биоты искусственного водоёма в условиях функционирования форелевого хозяйства в одном из трёх водохранилищ Республики Коми. По гидрохимическим показателям Нювчимское водохранилище относится к категории олигосапробных водоёмов, а по качеству воды оценивается как «чистые воды». Однако было выявлено некоторое увеличение содержания органического вещества в донных отложениях в районе садков. В работе обсуждаются состав, количественные показатели развития, распределение зоопланктона и зообентоса по акватории водохранилища. По количественным показателям развития водных беспозвоночных трофический статус водоёма оценивался от олиго- до мезотрофного. Состав таксономических групп зообентоса, видовое разнообразие зоопланктона, количественные показатели развития биоты и рассчитанные на их основании индексы оценки качества поверхностных вод указывают на благополучное состояние экосистемы водохранилища. При этом в зоне расположения садков наблюдалось уменьшение числа групп бентоса (от 14 до 3 или полного отсутствия), снижение численности и биомассы планктона и бентоса (в 0,5–0,7 раза), повышение трофности водоёма (коэффициент трофности увеличился в 1,2 – 1,9 раза), доминирование эвтрофного вида *Polyarthra euryptera*. Эти факты указывают на наличие негативных процессов, происходящих в сообществах водных организмов в этой части водохранилища.

The results of the monitoring of the status of the biota in the artificial reservoir with functioning of cage salmon farm in one of the three reservoirs of the Republic of Komi presented. According to hydrochemical parameters Nuvchim reservoir belongs to the category oligosaprobic water bodies, and water quality is assessed as «clean water». However, it was found that the content of organic substance in bottom sediments in the cage salmon farms zone was slightly increased. The composition, quantitative indices of development, distribution of zooplankton and zoobenthos in this article discussed. The trophic status of the reservoir was estimated from oligo - to mesotrophic by quantitative indexes of water invertebrates`s development. The composition of zoobenthos`s taxonomic groups, species diversity of zooplankton, quantitative indicators of biota`s development and calculated indices assessing the quality of waters, indicate a prosperous condition of the ecosystem of the reservoir. In the zone of cage salmon farm the number of benthos`s groups decreased (from 14 to 3 or complete absence), abundance and biomass both plankton and benthos reduced (0,5 – 0,7 times), the trophic status of the water body increased (trophic coefficient has increased in 1,2 – 1,9 times), the eutrophic species *Polyarthra euryptera* dominated. These facts indicate the presence of negative processes taking place in communities of aquatic organisms in this part of the reservoir.

Ключевые слова: водохранилища, гидрохимические показатели, донные отложения, зоопланктон, зообентос, садковое хозяйство

Keywords: reservoir, hydrochemical analysis, bottom sediment, zooplankton, zoobenthos, cage salmon farms

Развитие аквакультуры в континентальных водах, наряду с экономической выгодой, создаёт целый ряд проблем, основной из которых является сложное и неоднозначное воздействие рыбоводных хозяйств на окружающую среду [1–3]. Основными источниками загрязнения водоёма при выращивании рыбы в садках являются корм и продукты метаболизма рыб [1], в связи с чем организация мониторинга на водоёмах с товарным выращиванием радужной форели по ряду базовых гидрохимических и гидробиологических параметров среды позволяет вовремя выявить негативные изменения, происходящие на акватории.

Цель работы – дать оценку состояния сообществ водных беспозвоночных (зоопланктон, зообентос) Нювчимского водохранилища для выявления изменений, происходящих в гидробиоценозе в зоне действующего форелевого хозяйства.

Материалы и методы отбора проб

Нювчимское водохранилище расположено в бассейне р. Сысола (приток второго порядка р. Северная Двина). Образовано в 1757 г. для технологических нужд чугунолитейного производства, путём перекрытия плотиной р. Нювчим, на расстоянии 6,4 км от устья.

В связи с разрушением плотины в 1979 г. водохранилище было спущено. После восстановления вновь введено в эксплуатацию в 1998 г. С 2006 г. на Нювчимском водохранилище выращивают радужную форель (*Parasalmo mykiss* Walbaum, 1792), с 2013 г. дополнительно – карпа (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758). Садковые площади хозяйства составляют 2570 м², где выращивается около 80 т разновозрастной форели в год [4].

На период исследований площадь водного зеркала водоёма составила 2,9 км², объём водной массы – 6,25 млн м³, наибольшая длина – 3,4 км, ширина – до 0,5 км, глубина – до 7,0 м (наиболее глубокий участок расположен у плотины). Рельеф дна волнистый, сложен глинистыми и песчаными грунтами.

Наблюдения за состоянием биоты Нювчимского водохранилища осуществляли в июле 2013 г. Для характеристики экосистемы водохранилища гидробиологический материал, пробы воды и донных отложений отбирали по всей акватории водоёма. Точки, которые удалены от зоны садков более чем на 500 м, обсуждаются в работе как контрольные. У дна и на поверхности портативным анализатором «Multi 340i/SET» (Германия) измеряли температуру воды, pH, концентрацию растворённого кислорода. Прозрачность воды определяли с помощью диска Секки. Химико-аналитические работы были проведены в стационарных условиях по общепринятым методикам (ГОСТ 17.1.5.01-80) в аккредитованной лаборатории

аналитической химии «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Сбор и обработку зоопланктона, зообентоса проводили согласно принятым в гидробиологии методам [5, 6]. Для оценки трофности водоёмов использовали: индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера, рассчитанный по биомассе (Н_в, бит/г) [7], коэффициент трофии E [8], показатель трофии E/O [7] и «шкалу трофности» С.П. Китаева [9]. Степень загрязнения вод рассчитывали по индексу сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека (S) [10]. Класс качества воды определяли по [11].

Вода в водохранилище в период исследований отличалась невысокой прозрачностью – 0,3–2,0 м (в среднем 1,4 м), верхние слои воды прогревались до 18,6–24,0 °С (в среднем 23,2 °С), на глубине температура составляла в среднем 21,6 °С. Газовый состав вод характеризовался нормальным содержанием растворённого кислорода у поверхности 6,4–8,3 мг/дм³ и некоторым его дефицитом на глубине 3,9–6,1 мг/дм³. Отмечена невысокая минерализация вод – 102,4 мг/дм³, при преобладании в ионном составе гидрокарбонатов (70,9–78,9 мг/дм³). Активная реакция среды слабощелочная: у поверхности в среднем 8,3 (7,4–9,1), у дна – 7,2–8,0. Наибольшие значения pH отмечали в зарослях прибрежных растений.

Гранулометрический состав грунта соответствовал средним и мелким пескам. Водная вытяжка донных отложений характеризовалась кислым pH (5,44–5,95) и повышенными

Таблица 1
Результаты химического анализа воды и донных отложений в Нювчимском водохранилище, июль 2013 г.

Показатели	K1	C	K2
вода			
Цветность, град	55	53	54
Окисляемость пер., мг/дм ³	10	10	9
Фосфор минеральный, мгP/л	< 0,030	< 0,030	< 0,030
Азот аммонийный, N-NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	< 0,020	< 0,020	< 0,020
Нитрат-ион, NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	< 0,044	< 0,044	< 0,044
Азот общий, N _{общ} , мг/дм ³	0,36	0,37	0,37
донные отложения			
Аммонийный азот, N-NH ₄ ⁺ , мкг/кг	нд	96,0	81,0
Азот нитратный, N-NO ₃ ⁻ , мкг/кг	нд	< 1	< 1
Азот нитритный, N-NO ₂ ⁻ , мкг/кг	нд	0,09	0,20
Фосфат-ион, PO ₄ ³⁻ , мкг/кг	нд	5100,0	6600,0
Органическое вещество, %	нд	>15	13,8
Углерод общий, C, %	нд	9,8	8,0
Азот общий, N, %	нд	0,79	0,64

Примечание: нд – нет данных; здесь и далее: K1 – > 500 м от садков, залив со стороны р. Дендель; C – около садков; K2 – > 500 м от садков, залив со стороны р. Нювчим.

Таблица 2

Средняя численность (N) и биомасса (B) зоопланктона (N, тыс. экз./м³, B, г/м³) и зообентоса (N, тыс. экз./м², B, г/м²) в Нювчимском водохранилище (июль, 2013 г.)

Группы	N	%	B	%
макробентос				
Oligochaeta	799,1	23,3	299,7	12,9
Mollusca	910,8	26,6	1310,2	56,5
Ephemeroptera, lv	248,9	7,3	213,5	9,25
Chironomidae, lv	1438, 5	41,93	430,7	18,6
прочие	32,8	0,93	65,1	2,8
всего	3430,0		2319,2	
мейобентос				
Cladocera	2584,8	21,5	308,8	72,4
Cyclopoida	8812,8	73,2	81,5	19,1
прочие	636,4	5,3	36,2	8,5
всего	12034,0		426,5	
<i>общий бентос:</i> тыс. экз./м ² г/м ²	15,5		2,7	
ПЛАНКТОН				
Cladocera	33,7±11,7	22,6	0,6±0,2	44,5
Copepoda	99,0±11,7	39,9	0,7±0,3	42,3
Rotifera	87,7±19,0	37,5	0,2±0,03	13,2
<i>общий планктон:</i> тыс. экз./м ³ г/м ³	220,5±38,3		1,5±0,4	

Примечание: жирным шрифтом выделены группы, доминирующие по показателям в общем бентосе или планктоне

ми концентрациями ионов кальция (101–610 мг/кг). Микроэлементный состав донных отложений для большинства элементов соответствовал региональным фоновым показателям [12]. Сопоставление значений компонентов основного химического состава грунтов показало, что содержание некоторых анализируемых элементов (N_{общ}, C_{общ}, органическое вещество) в зоне садков в 1,1–1,2 раза выше, чем на контрольных участках и возле плотины.

В период исследований существенных отличий гидрохимических показателей в зоне садков и на контрольных участках не установлено (табл. 1). Качество воды в водохранилище по классификации водоёмов (ГОСТ 17.1.2.04–77) оценивалось как «чистые воды», по большинству химических параметров водохранилище относится к олигосапробным водоёмам.

Зообентос. Всего в Нювчимском водохранилище на период исследования установлено 14 таксономических групп донных беспозвоночных (табл. 2). По всей акватории водоёма встречались Mollusca, Oligochaeta, Chiron-

omidae и низшие ракообразные (Cladocera, Cyclopoida). Средняя численность общего зообентоса в Нювчимском водохранилище в июле 2013 г. составила 15,5±6,1 тыс. экз./м², при биомассе 2,7±0,8 г/м². На всех участках наибольшую долю (42,7–81,6%) в общей численности зообентоса определяли представители мейобентоса (преимущественно Cyclopoida и Cladocera), а в общей биомассе – макробентоса (при доминировании Mollusca, Oligochaeta и Chironomidae).

В прибрежной зоне водохранилища (заросли макрофитов) состав фауны был разнообразнее (14 групп), чем на глубине в середине водоёма (7 групп), где при абсолютном доминировании копепод отмечали наибольшую численность (44,3 тыс. экз./м²), но наименьшую биомассу (2,6 г/м²) бентоса. В зарослевой зоне численность беспозвоночных колебалась от 16,3 до 21,5 тыс. экз./м², биомасса от 4,7 до 5,4 г/м². В общей численности преобладали как представители мейобентоса (Cladocera, Cyclopoida), так и макробентоса (Mollusca, Chironomidae), а в общей биомассе помимо этих групп значимую роль играли

на разных точках личинки Ephemeroptera или бентосные Cladocera.

Непосредственно зона садков (рис. 1) характеризовалась наименьшими показателями развития зообентоса ($1,6 \pm 0,6$ тыс. экз./м²; $0,4 \pm 0,3$ г/м²), по сравнению с контрольными точками в двух дальних заливах: К1 – со стороны р. Дендель ($6,6 \pm 1,9$ тыс. экз./м²; $1,8 \pm 0,9$ г/м²) и К2 – р. Нювчим ($26,9 \pm 1,8$ тыс. экз./м²; $3,3 \pm 0,8$ г/м²). При этом если по численности на отдалённых от садков точках преобладали представители мейобентоса, составляя от 59 до 84% общей численности (рис. 1), а у садков чис-

ленность размерных групп бентоса была близка, то по биомассе на всех точках доминировали представители макрозообентоса (от 88,8 до 94,4%): Mollusca – на контрольных точках и личинки Chironomidae – под садками.

Зоопланктон. В составе зоопланктона Нювчимского водохранилища найдено 62 таксона. Наибольшим разнообразием отличались Rotifera – 33 вида и формы и Cladocera – 22. По акватории водоёма широко распространены были как эвпланктонные: *Polyarthra euryptera* Wierzejski, *Bosmina longirostris* (O.F. Müller), *Bosmina coregoni* cf. *longispina* Leydig,

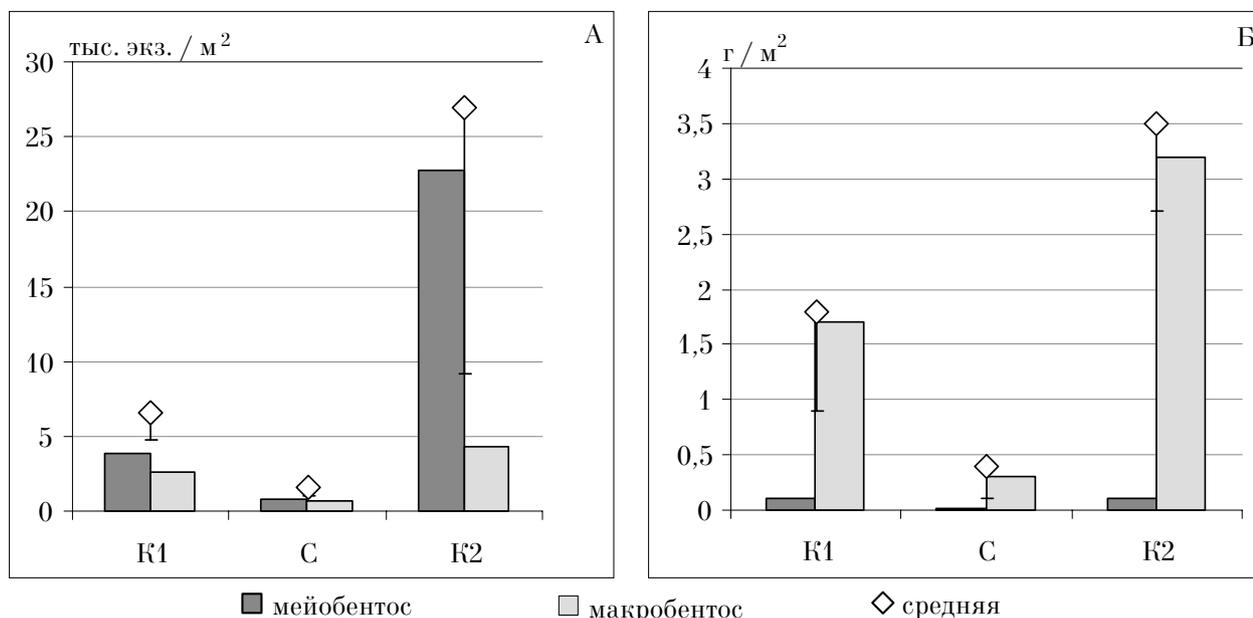


Рис. 1. Показатели средней численности (А) и биомассы (Б) зообентоса в Нювчимском водохранилище по точкам, июль 2013 г. (условные обозначения как в табл. 1).

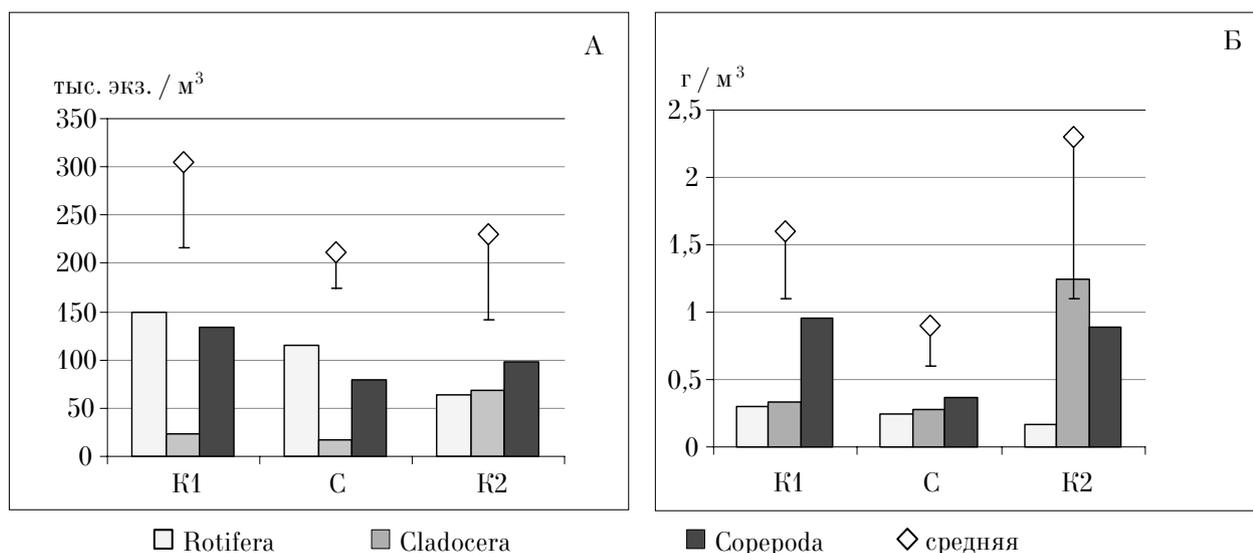


Рис. 2. Показатели средней численности (А) и биомассы (Б) зоопланктона в Нювчимском водохранилище по точкам, июль 2013 г. (условные обозначения как в табл. 1)

Mesocyclops leuckarti (Claus), так и литорально-фитофильные виды – *Ceriodaphnia pulchella* Sars, *Polyphemus pediculus* (Linnaeus), *Sida crystallina* (O.F. Müller), что, вероятно, связано с небольшими размерами и глубинами водоёма, наличием зарослей водных макрофитов. В составе зоопланктона были выявлены виды индикаторы как олиго-мезотрофных, так и мезо-эвтрофных условий [7].

Средняя численность зоопланктона в водохранилище составила $194,4 \pm 31,5$ тыс. экз./м³, биомасса – $1,3 \pm 0,3$ г/м³. Наибольшую численность ($305,3 \pm 89,5$ тыс. экз./м³) отмечали в точке К1 (залив со стороны р. Дендель) (рис. 2) за счёт массового развития коловраток (48,8%) и копепод (43,8%), наибольшую биомассу ($2,3 \pm 1,2$ г/м³) – в точке К2 (залив со стороны р. Нювчим), за счёт доминирования кладоцер (53,7%). В районе садков зарегистрированы наименьшие показатели количественного развития зоопланктона: $211,1 \pm 36,2$ тыс. экз./м³ и $0,9 \pm 0,3$ г/м³. Основу численности здесь составляли коловратки, при доминировании *P. euryptera*, биомассы – ювенильные формы *Cyclopoida*.

Обсуждение результатов

Проведённые исследования показали, что химический состав воды и донных отложений в Нювчимском водохранилище не зависел от места отбора проб, за исключением несколько повышенного содержания органического вещества в составе грунтов, которое накапливалось в зоне садков. Подобные факты отмечались и в литературе [1, 2, 13]: зарегистрированы изменения лишь в содержании биохимически лабильных компонентов и соединений фосфора (Р), которые особенно чётко проявлялись в придонных слоях воды под садками по сравнению с поверхностными (иногда содержание фосфора в районе садковых хозяйств было в 2 раза выше, чем в контроле).

Многими авторами [1, 2, 14, 15] подчёркивается, что при функционировании садков, за счёт остатков кормов и продуктов метаболизма рыб в водоёмах ускоряются процессы эвтрофирования и, как следствие, в экосистемах происходит ряд изменений. Например, стимулируется развитие фитопланктона [2, 13]; в структуре зоопланктона перестройки сопровождаются увеличением доли кладоцер и коловраток в общей биомассе и снижением доли копепод [7, 15], в зообентосе изменяется как качественный состав, так и снижаются коли-

чественные показатели развития [14], в дальнейшем накопление избытков органического вещества под садками может привести к дефициту кислорода и полной гибели донных беспозвоночных [16].

По уровню развития биомассы зоопланктона Нювчимское водохранилище можно отнести к олиготрофным, а биомассы зообентоса – мезотрофным водоёмам [9]. Оценка качества воды по зоопланктону с использованием индекса сапробности (S) показала, что воды водохранилища на всей акватории относятся ко II классу качества вод, т.е. чистым ($S=1,15-1,31$, в среднем $1,23$). По значению индекса видового разнообразия Шеннона, который учитывает не только состав видов в сообществе, но и их количественные характеристики, трофический статус вод соответствовал олиго-мезотрофному типу ($H_B=0,99-2,97$ (в среднем $2,27$ бит/г)). При интерпретации показателей, основанных на соотношении численности и биомассы зоопланктона и зообентоса, отмечали различия в зоне садков и на контрольных участках. Они прослеживались по вычисленным коэффициентам (зона садков/контроль), величина которых для зоопланктона составила $0,6-0,7$, а для зообентоса $< 0,5$ как по численности, так и по биомассе. Это означает, что количественные показатели развития гидробионтов в районе садков были значительно ниже таковых на контрольных участках, что, вероятно, указывает на наличие влияния хозяйства [17]. Согласно рассчитанным для зоопланктона коэффициентам ($E=0,2-2,8$ (в среднем $1,1$); $E/O=1,5-3,0$ (в среднем $2,3$)) воды водохранилища в период исследований можно было отнести к мезо-эвтрофным, при этом отмечалось, что коэффициенты трофности в районе садков в $1,2-1,9$ раза были выше таковых на контрольных участках.

Тем не менее анализ показателей развития зоопланктона не выявил структурных перестроек в сообществе, указывающих на повышение трофности в районе садков. Доля коловраток на всех участках составляла в общей биомассе не более 26%, наибольшие показатели биомассы кладоцер (83,9%) и копепод (68%) отмечались на контрольных участках. Однако к числу доминирующих по биомассе видов в большинстве исследованных точек относился эвтрофный вид *Polyarthra euryptera*. При этом в зообентосе число систематических групп и количественные показатели развития заметно уменьшались под садками. Зачастую олигохеты, моллюски и хиромиды были единственными представителя-

ми донной фауны на этом участке водохранилища или донная фауна отсутствовала в гидробиологических пробах.

Таким образом, несмотря на то что большинство биологических показателей – состав таксономических групп зообентоса, видовое разнообразие зоопланктона, количественные показатели развития биоты – указывали в целом на благополучное состояние экосистемы водохранилища, по ряду параметров можно судить о негативных процессах, происходящих в сообществах водных организмов, особенно в зоне расположения форелевого хозяйства.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Президиума РАН 15-12-4-43.

Литература

1. Рыжков Л.П., Дзюбук И.М., Горохов А.В., Марченко Л.П., Артемьева Н.В., Иешко Т.А., Рябинкина М.Г., Раднаева В.А. Качество и охрана вод, экологические аспекты состояния водной среды и биоты при функционировании садковых форелевых хозяйств // Водные ресурсы. 2011. Т. 38 (2). С. 239–247.
2. Стерлигова О.П., Китаев С.П., Ильмаст Н.В., Комулайнен С.Ф., Кучко Я.А., Павловский С.А., Савосин Е. С. Состояние заливов Онежского озера при товарном выращивании радужной форели // Поволжский экологический журнал. 2011. № 3. С. 386–393.
3. Read P.A., Fernandes T.F., Miller K.L. The derivation of scientific guidelines for best environmental practice for the monitoring and regulation of marine aquaculture in Europe // J. Appl. Ichthyol. 2001. V. 174. P. 146–152.
4. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2013 г.». Сыктывкар: ГБУ РК «ТФИ РК», 2014. 199 с.
5. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоёмов. Т. 1. Вводные и общие вопросы планктологии. Л.: Наука, 1969. 658 с.
6. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоёмов. М.: Наука, 1975. 240 с.
7. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озёрных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
8. Мяэметс А.Х. Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озёра. Л.: Наука, 1980. С. 54–64.
9. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 394 с.
10. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1974. 60 с.
11. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Роскомгидромета. Методические указания. Охрана природы. Гидросфера. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 67 с.
12. Атлас почв Республики Коми. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2010. 356 с.
13. Онищенко И.Н., Рыжков Л.П., Онищенко Н.А. Вохтозеро – водоём садкового рыбоводства // Учёные записки Петрозаводского гос. универ. Сер. Биол. 2013. С. 23–26.
14. Савосин Е.С. Состояние донной фауны заливов Онежского озера с товарным выращиванием радужной форели // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 6. С. 22–24.
15. Кучко Я.А., Кучко Т.Ю. Сообщество зоопланктона Онежского озера в районах размещения форелевых хозяйств как индикатор качества воды // Учёные записки Петрозаводского государственного университета, 2010. № 4. С. 9–12.
16. Pearson T. H., Rosenberg R. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment // Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 1978. V. 16. P. 229–311.
17. Рыжков Л.П. Патент № 2447435. Российская Федерация, С2 МПК G01N 33/18. Способ оценки влияния садковой аквакультуры на состояние водной экосистемы. 2010108018/05; заяв. 04.03.2010; опубл. 10.04.2012. Бюл. № 10.