

Научная статья  
УДК 597.552.3:591  
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-2-15-23>  
EDN GLDKGJ

## Состояние экосистемы озера Хедо (западная Карелия) в условиях рыбоводной деятельности

*О. П. Стерлигова, Е. С. Савосин<sup>✉</sup>, Я. А. Кучко, Д. С. Савосин, Н. П. Милянчук*

*Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук,  
Петрозаводск, Россия, [szhenya@list.ru](mailto:szhenya@list.ru)<sup>✉</sup>*

**Аннотация.** На основании собственных и литературных данных проанализировано состояние экосистемы оз. Хедо (Республика Карелия) в условиях роста антропогенной нагрузки, обусловленного использованием водоема под выращивание форели в рыбоводных садках. Сравнительный анализ гидрохимических данных до эксплуатации фермы (до 2005 г.) и после показал двукратное увеличение цветности воды (70–150°), что указывает на повышенное содержание органических загрязнений (гумус, торф, ил). Также в водоеме отмечается увеличение соединений азота и фосфора. Ранее концентрация общего фосфора не превышала 0,01 мг/л, в настоящее время она достигает 0,02 мг/л. Основным фактором, способствующим удовлетворительному состоянию оз. Хедо, является высокая проточность, в результате чего большая часть биогенов выносятся за его пределы. Приведены данные по основным гидробиологическим показателям озера (фито-, зоопланктон и зообентос). Отмечено, что если ранее водоем соответствовал мезогумозному олиготрофному типу, то в настоящее время он ближе к начальному уровню мезотрофии, чему, вероятно, способствует длительное садковое выращивание объекта аквакультуры. По показателям обилия организмов начальных трофических уровней водоем соответствует  $\alpha$ -мезотрофному типу. В озере обитает 8 видов рыб, и к ценным рыбам относятся сиг *Coregonus lavaretus* (L.) и ряпушка *Coregonus albula* (L.). Результаты исследований позволили уточнить общий объем производства товарной форели, не выводящий водоем за пределы суммарной биогенной нагрузки, который составил 300 т в год. Даны рекомендации по срокам проведения регулярной экологической экспертизы озера и корректировке объемов производства.

**Ключевые слова:** водная экосистема, форелевые хозяйства, цветность воды, биогенные элементы, фито-планктон, зоопланктон, макрозообентос, ихтиофауна

**Благодарности:** работа выполнена с использованием средств федерального бюджета в рамках государственного задания FMEN-2022-0007.

**Для цитирования:** Стерлигова О. П., Савосин Е. С., Кучко Я. А., Савосин Д. С., Милянчук Н. П. Состояние экосистемы озера Хедо (западная Карелия) в условиях рыбоводной деятельности // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 2. С. 15–23. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-2-15-23>. EDN GLDKGJ.

Original article

## State of ecosystem of Lake Khedo (Western Karelia) in conditions of fish breeding

*O. P. Sterligova, E. S. Savosin<sup>✉</sup>, Ya. A. Kuchko, D. S. Savosin, N. P. Milyanchuk*

*Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,  
Petrozavodsk, Russia, [szhenya@list.ru](mailto:szhenya@list.ru)<sup>✉</sup>*

**Abstract.** The article highlights the analyzes of the ecosystem of Lake Khedo (Republic of Karelia) under conditions of growing anthropogenic load caused by using the lake for breeding trout in fish cages based on the proper and literature data. Comparative analysis of hydrochemical data before the operation of the farm (until 2005) and after showed a twofold increase in water color (70–150°), which indicates an increased content of organic pollutants (humus, peat, silt). Also in the reservoir there are increased nitrogen and phosphorus compounds. Previously, the concentration of total phosphorus did not exceed 0.01 mg/l, today it reaches 0.02 mg/l. The main factor contributing to the satisfactory state of Lake Khedo is the high water flow rate, due to which most biogens are flown outside the lake. The data on the main hydrobiological indicators of the lake (phytoplankton and zoobenthos) are presented. It has been stat-

ed that if earlier the reservoir corresponded to the mesohumous oligotrophic type, at present it reaches the initial level of mesotrophy, which is probably facilitated by the long-term cage cultivation of the aquaculture object. In terms of the abundance of organisms of the initial trophic levels, the reservoir corresponds to  $\alpha$ -mesotrophic type. The lake is inhabited by 8 species of fish, and the valuable ones include whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) and vendace *Coregonus albula* (L.). The results of the research made it possible to clarify the total production of commercial trout, which amounted to 300 tons per year and doesn't exceed the total biogenic load. Recommendations on timing the regular ecological expertise of the lake and the adjustment of production volumes are given.

**Keywords:** water ecosystem, trout farms, water color, biogenic elements, phytoplankton, zooplankton, macrozoobenthos, ichthyofauna

**Acknowledgment:** the research was carried out with the use of federal budget funds within the framework of the state task FMEN-2022-0007.

**For citation:** Sterligova O. P., Savosin E. S., Kuchko Ya. A., Savosin D. S., Milyanchuk N. P. State of ecosystem of Lake Khedo (Western Karelia) in conditions of fish breeding. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2023;2:15-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-2-15-23>. EDN GLDKGJ.

### Введение

Изучение закономерностей сукцессий биотических сообществ в разнотипных водных экосистемах под влиянием антропогенных факторов является одной из фундаментальных задач гидробиологии [1–6]. Водная среда с населяющими ее организмами относится к особенно уязвимым компонентам биосферы и может значительно менять свои свойства под влиянием хозяйственной деятельности человека.

В настоящее время в Карелии функционирует 67 фермерских форелевых хозяйств, на которых в 2021 г. было выращено 36,6 тыс. т товарной продукции, которая лидирует по производству в России (до 80 %).

Интенсификация промышленного рыбозаведения приводит к росту антропогенной нагрузки на водные экосистемы и ускорению темпов их эвтрофирования. Корм и продукты метаболизма (фекалии, жидкие и твердые выделения) – это основные источники загрязнения и, как показали результаты

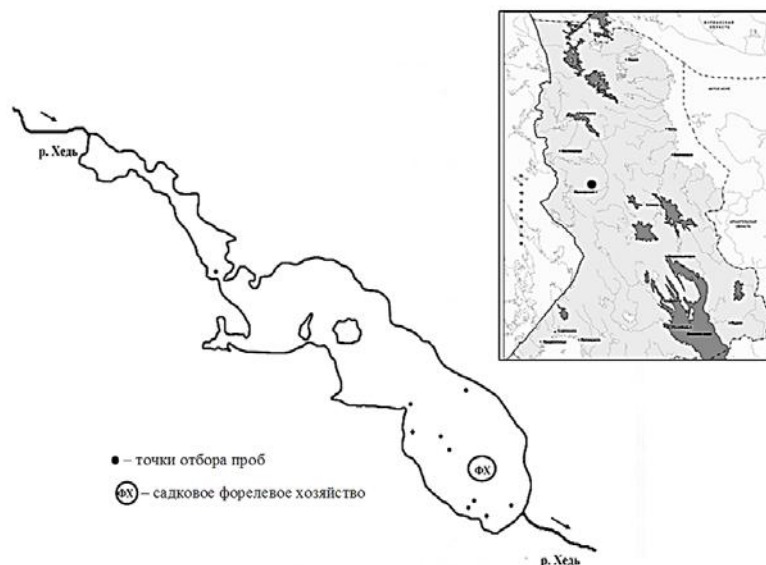
гидрохимических анализов, лимитирующими факторами служат биогенные элементы (азот и фосфор). Главной экологической задачей при выращивании гидробионтов является сохранение качества природных вод. В северных водных экосистемах, где процессы трансформации органических веществ замедлены, перепроизводство объектов аквакультуры может привести к необратимым последствиям.

Исследование экосистемы оз. Хедо представляет интерес в связи со слабой ее изученностью и функционированием на акватории озера садкового форелевого комплекса.

*Цель исследований:* оценка современного состояния экосистемы оз. Хедо в условиях длительного садкового производства радужной форели.

### Материал и методика

Оз. Хедо расположено в Муезерском районе Республики Карелия, относится к Баренцево-Беломорскому бассейну (рис.).



Карта-схема станций отбора проб на оз. Хедо

Map of sampling stations at Lake Hedo

Берега изрезанные, возвышенные, каменисто-песчаные. Площадь водосбора составляет 133 км<sup>2</sup>, озера – 8,6 км<sup>2</sup> (табл. 1).

Таблица 1  
Table 1

**Гидрологическая характеристика оз. Хедо**  
**Hydrological characteristics of Lake Hedo**

Показатель		Значение
Координаты		63°57' N, 31°34' E
Высота над уровнем моря, м		193
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>		133
Площадь зеркала озера, км <sup>2</sup>		8,6
Ширина, км	средняя	1,1
	наибольшая	8,3
Глубина, м	средняя	10,0
	наибольшая	26,0
Объем водной массы, млн м <sup>3</sup>		86,0
Коэффициент условного водообмена, период/год		0,5/2
Показатель удельного водосбора		1,6
Среднегодовой объем притока, км <sup>3</sup>		43,0
Среднегодовой расход воды, м <sup>3</sup> /с		17,4

Водоем глубоководный, максимальная глубина составляет 26 м, средняя – 10 м [6].

Исследования проводились в летне-осенний период 2021 г., пробы на гидрохимический и гидробиологический анализы отбирались около садков (20–30 м) и на удалении от них (1,0 км). Химический анализ воды определялся в ООО «Северная аналитическая лаборатория» (лиц. № РОСС. RU.0001.21AY63).

Озеро используется для любительского рыболовства и рыбоводства. Ближайший населенный пункт на его водосборе находится в пос. Муезерский в 20 км от озера.

Пробы перифитона отбирались по отработанной методике [7]. Для определения степени загрязнения воды были использованы индексы Пантле – Букка в модификации Сладечека [8] и трофический диатомовый – TDI [9].

Для отбора проб зоопланктона использовался батометр объемом 2 л, облавливались все слои воды с двукратной повторностью и интервалом в 1 м. Изучение сообщества проводилось с оценкой общей численности, биомассы, индекса видового разнообразия Шеннона [10], видового состава. Индивидуальные веса размерно-возрастных групп применялись при расчете биомассы [11]. Исследование органического загрязнения воды выполнялось по методу Пантле – Букка в модификации Сладечека с учетом рекомендаций для водоемов Карелии [12]. Трофический статус водоема оценивался по шкале С. П. Китаева [13]. При видовом определении использовался ряд руководств [14–16].

Сбор количественных проб макрозообентоса осуществлялся с использованием дночерпателя

ДАК-250 (модификация Экмана – Берджа с площадью захвата 1/40 м<sup>2</sup>) с последующей промывкой грунта через сито № 19 (ячейка 0,5 мм) и фиксации 8 %-м раствором формальдегида. На каждой станции отбирались 2 дночерпателя. Камеральная обработка проводилась по общепринятым руководствам [17, 18], при идентификации организмов использовались определители [15, 16, 19]. Названия видов приводятся в соответствии с базой данных Fauna Europe [20]. Анализ данных количественных проб макрозообентоса осуществлялся при помощи программ обработки данных Past, Excel [21]. Индексы Балушкиной, Майера [22], олигохетный индекс Гуднайта – Уитлея и хирономидный индекс (K) были использованы для определения величины загрязнения органическими веществами. Определение видов рыб, названия отрядов, семейств приводятся на основе Атласа пресноводных рыб России [23]. Определение видов рыб и их русские и латинские названия приводятся согласно ряду публикаций [24, 25]. Расчеты биогенной нагрузки были выполнены по разработанным методикам [3, 26–29], с учетом рекомендаций последних работ [29, 30].

**Результаты и обсуждение**

При анализе химического состава водных масс оз. Хедо использовались данные, полученные до строительства форелевой фермы (2004 г.) и после (2021 г.). Вода озера как ранее, так и в настоящее время является гидрокарбонатно-кальциевой, слабодиссоциированной. Большое технологическое значение в процессе выращивания имеет выявление критических значений общего фосфора. Из обзора литературных данных следует, что большинство исследо-

вателей принимают в качестве критической величины общего фосфора в 0,02 мг/л, что учитывается при проектировании мощности рыбоводных хозяйств. Повышенные концентрации фосфора (0,035 мг/л) могут вызвать переход водных экосистем к более высокому трофическому статусу [30–32].

В результате сравнительного анализа гидрохимических результатов установлено значительное увеличение цветности воды, которая в 1,5–2,0 раза превышает ПДК (до 100°), что указывает на наличие загрязнений (гумус, торф, ил) в воде. Значение общего фосфора составляло в 2004 г. менее 0,010 мг/л, в настоящее время – 0,02 мг/л, аммонийного азота было 0,13 мг/л, сейчас – 0,45 мг/л, показатели нитратного азота возросли от 0,02 до 0,20 мг/л. Все эти показатели приблизились к норме ПДК (ОСТ 15.372–87). Эти изменения связаны с функционированием форелевой фермы.

Таким образом, в предыдущие годы водоем соответствовал олиготрофному типу, в настоящее время он находится на начальном уровне мезотрофии [13, 30, 32, 33].

При описании процесса изменения экосистемы под влиянием деятельности человека решающее значение имеет состояние гидробионтов. Способность к ассимиляции органических веществ и их преобразованию для потребления организмами более высоких трофических уровней определяет необходимость тщательного изучения биоценозов фито/зоопланктона и бентоса [14, 17, 34].

Гидробиологические исследования на оз. Хедо ранее не проводились, и все данные приводятся впервые.

В составе фитопланктона определены представители Cyanophyta, Chrysophyta, Dinophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Chlorophyta, Cryptophyta. Средние значения численности фитопланктона ( $33 \cdot 10^4$  кл./л) и биомассы (0,28 г/м<sup>3</sup>) близки к другим водоемам Карелии. Большая часть отмеченных видов – эупланктонные организмы.

В обрастающих (фитоперифитон) отмечено более 50 видов, разнообразие видов обусловлено массовым развитием диатомовых водорослей с преобладанием *Tabellaria flocculosa* (Roth.) Kurtz., обусловленным особенностями исследуемого региона [35].

Выявлено большое число устойчивых видов-индикаторов органического загрязнения, что указывает на значительный потенциал самоочищающей способности водоема. Опасные зеленые и сине-зеленые водоросли встречались очень редко, а это наиболее важный показатель критической стадии эвтрофирования водных экосистем. Средние индексы сапробности изменялись от 0,7 до 1,6 по Пантле – Букку в модификации Сладечека и от 1,9 до 2,7 по TDI и располагались в пределах β-мезосапробной зоны.

В составе планктонной фауны озера определено 40 таксонов коловраток и низших ракообразных. Среди них Rotifera – 12 видов, Copepoda – 8 видов, Cladocera – 20 видов. По зоогеографической классификации отмечены космополитные (41 %) и голарктические виды (32 %), среди коловраток самыми распространенными были *Asplanchna priodonta* Gosse, *Keratella cochlearis* Gosse, *Kellicottia longispina* Kellicott и *Polyarthra dolychoptera* Idelson. Они являются обычными представителями планктонного комплекса водоемов умеренных широт.

Видовое богатство зоопланктона в озере создают Cladocera, что характерно для большинства водоемов Карелии. Наиболее многочисленны в пелагиали эвритопные виды – *Daphnia cristata* Sars, *Mesocyclops leuckarti* (Claus), *Limnospira frontosa* Sars, *Chydorus sphaericus* (O. F. Muller), *Bosmina coregoni* Baird, *B. longirostris* (O. F. Muller), *B. longispina* Leydig. Летом по биомассе доминируют ветвистоусые ракообразные – 75 %, циклопы составляют 15 %, каляниды – 7 %. Удельный вес коловраток составляет 3 % от общей биомассы. В осенний период, в сентябре, видовое богатство и количественные показатели значительно сокращаются, что объясняется снижением температуры. Индекс видового разнообразия зоопланктона составляет 1,84 бит/экз., что соответствует водным объектам со средним уровнем трофности [14], по уровню органического загрязнения (1,77) водоем принадлежит к третьему классу качества.

По обилию планктофауны оз. Хедо соответствует переходному β-мезотрофному типу, с колебаниями биомассы по станциям за вегетационный период от 1,1 до 2,7 г/м<sup>3</sup>. Достоверных различий в видовом богатстве и количественных характеристиках по станциям выявлено не было. Отмеченные колебания связаны с локальными гидрологическими условиями водоема.

Состав бентосного зооценоза в летне-осенний период исследований насчитывает 33 таксона рангом ниже рода. Из них Chironomidae – 19, Oligochaeta – 7, остальные – 7.

Комплекс организмов зообентоса формируют личинки хирономид (*Chironomus anthracinus* Zetterstedt, 1860, *Ch. plumosus* (Linnaeus, 1758), *Tanytarsus* sp., *Stictochironomus crassiforceps* (Kieffer, 1921)) и олигохеты семейства Enchytraeidae – *Cognettia glandulosa* (Michaelson, 1888). Эти организмы являются толерантными к загрязнению. В составе зообентоса озера на песчаных биотопах отмечены моллюски (Gastropoda, Bivalvia). Более 70 % таксонов представлено насекомыми (Coleoptera, Ephemeroptera, Diptera, Trichoptera). В летний период количественные значения бентоса в зоне глубин более 10 м изменялись от 80 экз./м<sup>2</sup> и 0,40 г/м<sup>2</sup> до 360 экз./м<sup>2</sup> и 3,35 г/м<sup>2</sup> в условиях заиленного грунта.

В литорали отмечено наибольшее видовое разнообразие, количественно выраженное биомассой 1,83 г/м<sup>2</sup> при численности 1 860 экз./м<sup>2</sup>. Средние величины биомассы в летний период составляли

1,86 г/м<sup>2</sup> при численности более 1 160 экз./м<sup>2</sup>, в осенний период – 1,62 г/м<sup>2</sup> при численности 940 экз./м (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Средняя численность и биомасса макрозообентоса оз. Хедо  
 Average abundance and biomass of macrozoobenthos in Lake Hedo

Таксон	Показатель*				
	N, экз./м <sup>2</sup>	N, %	B, г/м <sup>2</sup>	B, %	F, %
Лето					
Chironomidae	242	20,93	0,90	47,85	100,0
Oligochaeta	370	31,87	0,28	14,52	50,0
Bivalvia	125	10,75	0,32	17,20	25,0
Ceratopogonidae	153	13,18	0,11	5,91	37,5
Chaoboridae	190	16,37	0,10	5,38	25,0
Другие	80	6,90	0,17	9,14	50,0
Всего	1 160	100	1,86	100	–
Осень					
Chironomidae	140	14,86	0,34	21,00	100,0
Oligochaeta	235	24,95	0,15	9,26	50,0
Bivalvia	140	14,85	0,42	25,93	25,0
Ceratopogonidae	225	24,10	0,24	14,81	37,5
Gastropoda	120	12,74	0,39	24,05	25,0
Ephemeroptera	40	4,25	0,05	3,10	25,0
Другие	40	4,25	0,03	1,85	12,5
Всего	940	100	1,62	100	–

\* N, экз./м<sup>2</sup> – средняя численность; N, % – относительная численность; B, г/м<sup>2</sup> – средняя биомасса; B, % – относительная биомасса; F, % – встречаемость таксонов от общего числа проб.

Хирономидный индекс K, по Балушкиной [22], равен 1,84, что позволяет отнести оз. Хедо к умеренно загрязненным водным объектам.

По величине индекса Майера водоем принадлежит к 3 классу качества (умеренно загрязненный). Показатель Гуднайта – Уитлея (OI = 34 %), основанный на соотношении численности олигохет к общей численности, характерен для водоемов 2–3 класса качества с незначительным загрязнением.

Показатели сапробности варьировали от 1,67 в литоральной зоне до 3,57 в профундальной зоне с заиленными грунтами. По величине сапробности Пантле – Букка (2,88), полученным с использованием 12 таксонов макрозообентоса (виды-индикаторы), водоем принадлежит к α-мезосапробному типу [13].

При сравнении результатов, полученных с разных станций, значительных отличий по составу видов-индикаторов не выявлено, качественный состав бентофауны находится в прямой зависимости от представленного в каждом конкретном биотопе типа грунта. Так, глубоководные, заиленные участки характеризуются тотальным доминированием в пробе личинок хирономид подсемейства Chironominae и Tanypodinae, более мелководные, с песчано-илистыми или полностью песчаными грунтами, заселены преимущественно малощетин-

ковыми червями. По количественным показателям макрозообентоса оз. Хедо соответствует мезо-олиготрофному типу [13]. Вероятно, это связано с высокой проточностью водоема, приводящей к вымыванию органических веществ и снижению осадконакопления.

В озере обитает 8 видов рыб, принадлежащих к 5 семействам: европейская ряпушка *Coregonus albula* (L.), сиг *C. lavaretus* (L.), обыкновенная щука *Esox lucius* L., лещ *Abramis brama* (L.), плотва *Rutilus rutilus* (L.), налим *Lota lota* (L.), речной окунь *Perca fluviatilis* L., ерш *Gymnocephalus cernuus* (L.). К ценным видам относятся ряпушка и сиг, которые являются индикаторами состояния водных экосистем.

При определении объемов выращивания радужной форели учитывались следующие показатели: площадь водосбора, удельный водосбор, площадь водной поверхности, средняя глубина, максимальная глубина, прозрачность, коэффициент условного водообмена, отношение прозрачности к средней глубине, среднегодовой расход воды из истока, показатель стока, гидрохимический состав воды, гидробиологические показатели, качество корма и технология кормления.

Суммарная биогенная нагрузка при выращивании 300 т форели при средней глубине установки садков в 11 м составляет по азоту 1,40 г/м<sup>2</sup>, по фосфору 0,08 г/м<sup>2</sup>, что не превышает допустимых величин. Соответственно, был уточнен общий объем производства форели на оз. Хедо на уровне 300 т в год, чему способствует высокая проточность водоема, когда большая часть биогенов выносится за его пределы.

### **Заключение**

Проанализировано состояние экосистемы оз. Хедо в условиях садкового выращивания радужной форели. Сравнительный анализ гидрохимических показателей до эксплуатации фермы и после показал, что в озере возросла цветность воды, которая превысила ПДК в 2 раза (70–150°), что указывает на наличие загрязнений (гумус, торф, ил) в воде. В водоеме наблюдается увеличение биогенов (соединения азота и фосфора).

Впервые приведены и проанализированы гидробиологические показатели озера. Выявлено, что беспозвоночные играют существенную роль в динамике гидробионтов. Определено, что по структурным и количественным показателям развития

фитопланктона, зоопланктона и бентоса водоем ранее соответствовал олиготрофному типу. В настоящее время он находится на начальных стадиях мезотрофии, чему, вероятно, способствует длительное (с 2005 г.) выращивание форели в садках.

При проведении экологической экспертизы считаем целесообразным включение исследований по состоянию сообществ гидробионтов. В настоящее время такие исследования в Республике Карелия проведены только на 20 форелевых хозяйствах из 67 действующих, что составляет около 30 %, что недостаточно при значительных объемах выращивания форели (36,6 тыс. т/год) в водоемах Карелии.

Учитывая постоянный рост производства радужной форели в Республике Карелия, существует необходимость регулярного проведения экологических мониторинговых исследований на пресноводных экосистемах.

На оз. Хедо при длительной эксплуатации форелевого хозяйства необходимо проведение экологической экспертизы и корректировки объемов выращивания не менее одного раза в 3 года. Выявленные изменения в экосистеме оз. Хедо не носят катастрофического характера, но требуют дальнейшего изучения.

### **Список источников**

1. Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем / под ред. М. Б. Ивановой. СПб.: Наука, 2001. 147 с.
2. Дгебуадзе Ю. Ю. Чужеродные виды в Голарктике: некоторые результаты и перспективы исследований // Рос. журн. биол. инвазий. 2014. № 1. С. 2–8.
3. Китаев С. П., Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П. Методы оценки биогенной нагрузки от форелевых ферм на водные экосистемы. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2006. 40 с.
4. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
5. Павлов Д. С., Стриганова Б. Р. Биологические ресурсы России и основные направления фундаментальных исследований // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2005. С. 4–20.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Л.: Гидрометеиздат, 1972. Т. 2, ч. 1. 528 с.
7. Комулайнен С. Ф. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2003. 43 с.
8. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // *Advances in Limnology*. 1973. V. 7. 218 p.
9. Kelly M. G., Whitton B. A. The trophic Diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers // *J. of Applied Phycology*. 1995. N. 7. P. 433–444.
10. Мэггаран Э. Экологическое разнообразие. М.: Мир, 1992. 184 с.
11. Куликова Т. П., Сярки М. Т. Размерно-весовая характеристика массовых видов ракообразных и коло-
- враток Онежского озера. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 1994. 16 с.
12. Куликова Т. П. Зоопланктон озер Карелии // *Озера Карелии*. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2013. С. 144–147.
13. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
14. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
15. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. М.; СПб.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. Т. 1. Зоопланктон. 495 с.
16. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. М.; СПб.: Т-во науч. изд. КМК, 2016. Т. 2. Зообентос. 457 с.
17. Баканов А. И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов (обзор) // *Биология внутренних вод*. 2000. № 1. С. 68–72.
18. Жадин В. И. Методика изучения донной фауны и экологии донных беспозвоночных // *Жизнь пресных вод СССР*. М.; Л.: Наука, 1956. Т. 4. С. 17–41.
19. Timm T. A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe // *Lauterbornia*. 2009. V. 66. P. 1–235.
20. De Jong Y., Verbeek M., Michelsen V., et al. Fauna Europea – all European animal species on the web // *J. Biodiversity*. 2014. V. 2. P. 35–48.
21. Hammer O. P., Harper D. A., Ryan P. D. Palaeontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica*. 2001. V. 4 (1). 9 p.

22. Балушкина Е. В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. СПб.: Изд-во ЗИН РАН, 1997. С. 266–292.

23. Атлас промысловых рыб России. М.: Наука, 2002. Т. 1. С. 110–321. Т. 2. С. 62–66.

24. Решетников Ю. С., Попова О. А., Стерлигова О. П. и др. Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. 248 с.

25. Горбачев С. А. Методология и практика оценки ущерба водным биоресурсам от хозяйственной деятельности. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 383 с.

26. Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Кучко Я. А. и др. Состояние пресноводных водоемов Карелии с товарным выращиванием радужной форели в садках. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2018. 127 с.

27. Vollenweider R. A. Scientific fundamental of the eutrophication of lake and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factor in eutrophication // DESD Techn. Rep. 1968. V. 68. N. 27. P. 1–182.

28. Wallin M., Hakanson L. Nutrient loading models for estimating the environmental effects marine fish farm

Marine aquaculture and environment // Nord: 22. Norway. 1991. P. 39–56.

29. Михайленко В. Г., Стерлигова О. П. Некоторые экологические аспекты садкового выращивания радужной форели // Тр. КарНЦ РАН. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2021. № 12. С. 82–90.

30. Фрумин Г. Т., Куликович А. В., Горельшев А. Ю. Методы расчета допустимых фосфорных нагрузок на озера // Тр. КарНЦ РАН. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2021. Вып. 4. С. 163–168.

31. Beveridge M. Cage aquaculture. London, 1996. 346 p.

32. Миллис А., Линдпере А. В., Стараст Х. А. и др. Статистическая модель трофического состояния малых светловодных озер // Водные ресурсы. 1987. № 3. С. 50–59.

33. Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х. Р. Умирающие озера. Л.: Наука, 1990. 279 с.

34. Баранова С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биообразные водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: PiliesStudio, 2006. 498 с.

35. Комулайнен С. Ф., Сластина Ю. Л. Фитопланктон и фитоперифитон в озере Хедо, используемом для садкового форелеводства // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8, № 1. С. 36–47.

## References

1. Alimov A. F. *Elementy teorii funktsionirovaniia vodnykh ekosistem* [Elements of theory of aquatic ecosystems functioning]. Pod redaktsiei M. B. Ivanovoi. Saint-Petersburg, Nauka Publ., 2001. 147 p.
2. Dgebuadze Iu. Iu. Chuzherodnye vidy v Golarktike: nekotorye rezul'taty i perspektivy issledovaniia [Alien species in Holarctic: results and perspectives of research]. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*, 2014, no. 1, pp. 2–8.
3. Kitaev S. P., Il'mast N. V., Sterligova O. P. *Metody otsenki biogennoi nagruzki ot forelevykh ferm na vodnye ekosistemy* [Methods for assessing biogenic load from trout farms on aquatic ecosystems]. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2006. 40 p.
4. Odum Iu. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of ecology]. Moscow, Mir Publ., 1975. 740 p.
5. Pavlov D. S., Striganova B. R. *Biologicheskie resursy Rossii i osnovnye napravleniia fundamental'nykh issledovaniia* [Biological resources of Russia and main directions of fundamental research]. *Fundamental'nye osnovy upravleniia biologicheskimi resursami*. Moscow, T-vo nauch. izd. KMK, 2005. Pp. 4–20.
6. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki* [Resources of surface waters of USSR. Basic hydrological characteristics]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1972. Vol. 2, part 1. 528 p.
7. Komulainen S. F. *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniiu fitoperifitona v malykh rekakh* [Guidelines for study of phytoperiphyton in small rivers]. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2003. 43 p.
8. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. *Advances in Limnologie*, 1973, vol. 7, 218 p.
9. Kelly M. G., Whitton B. A. The trophic Diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *J. of Applied Phycology*, 1995, no. 7, pp. 433–444.
10. Megarran E. *Ekologicheskoe raznoobrazie* [Ecological diversity]. Moscow, Mir Publ., 1992. 184 p.
11. Kulikova T. P., Siarki M. T. *Razmerno-vesovaia kharakteristika massovykh vidov rakoobraznykh i kolovratok Onezhskogo ozera* [Size and weight characteristics of mass species of crustaceans and rotifers of Lake Onega]. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 1994. 16 p.
12. Kulikova T. P. *Zooplankton ozer Karelii* [Zooplankton of lakes of Karelia]. *Ozera Karelii*. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2013. Pp. 144–147.
13. Kitaev S. P. *Osnovy limnologii dlia gidrobiologov i ikhtiologov* [Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2007. 395 p.
14. Andronikova I. N. *Strukturno-funktsional'naiia organizatsiia zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipov* [Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types]. Saint-Petersburg, Nauka Publ., 1996. 189 p.
15. *Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii* [Determinator of zooplankton and zoobenthos in fresh waters of European Russia]. Moscow, Saint-Petersburg, T-vo nauch. izd. KMK, 2010. Vol. 1. Zooplankton. 495 p.
16. *Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii* [Determinator of zooplankton and zoobenthos in fresh waters of European Russia]. Moscow, Saint-Petersburg, T-vo nauch. izd. KMK, 2016. Vol. 2. Zoobentos. 457 p.
17. Bakanov A. I. *Ispol'zovanie zoobentosa dlia monitoringa presnovodnykh vodoemov (obzor)* [Use of zoobenthos for monitoring freshwater reservoirs (review)]. *Biologiya vnutrennykh vod*, 2000, no. 1, pp. 68–72.
18. Zhadin V. I. *Metodika izucheniiia donnoi fauny i ekologii donnykh bespozvonochnykh* [Methods of studying benthic fauna and ecology of benthic invertebrates]. *Zhizn' presnykh vod SSSR*. Moscow, Saint-Petersburg, Nauka Publ., 1956. Vol. 4. Pp. 17–41.

19. Timm T. *A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe*. Lauterbornia, 2009, vol. 66, pp. 1-235.
20. De Jong Y., Verbeek M., Michelsen V., et al. Fauna Europea – all European animal species on the web. *J. Biodiversity*, 2014, vol. 2, pp. 35-48.
21. Hammer O. R., Harper D. A., Ryan P. D. Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 2001, vol. 4 (1), 9 p.
22. Balushkina E. V. Primenenie integral'nogo pokazatelya dlia otsenki kachestva vod po strukturnym kharakteristikam donnykh soobshchestv [Application of integral indicator to assess quality of waters according to structural characteristics of benthic communities]. *Reaktsiia ozernykh ekosistem na izmenenie bioticheskikh i abioticheskikh uslovii*. Saint-Petersburg, Izd-vo ZIN RAN, 1997. Pp. 266-292.
23. *Atlas promyslovykh ryb Rossii* [Atlas of commercial fish of Russia]. Moscow, Nauka Publ., 2002. Vol. 1. P. 110-321. Vol. 2. P. 62-66.
24. Reshetnikov Iu. S., Popova O. A., Sterligova O. P. i dr. *Izmenenie struktury rybnogo naseleniia evtrofiruemogo vodoema* [Changes in structure of fish population of eutrophicated reservoir]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 248 p.
25. Gorbachev S. A. *Metodologiya i praktika otsenki ushcherba vodnym bioresursam ot khoziaistvennoi deiatel'nosti* [Methodology and practice of assessing damage to aquatic bioresources from economic activity]. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU, 2010. 383 p.
26. Sterligova O. P., Il'mast N. V., Kuchko Ia. A. i dr. *Sostoianie presnovodnykh vodoemov Karelii s tovarnym vyrashchivaniem raduzhnoi foreli v sadkakh* [State of freshwater reservoirs in Karelia with commercial cultivation of rainbow trout in cages]. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2018. 127 p.
27. Vollenweider R. A. Scientific fundamental of the eutrophication of lake and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factor in eutrophication. *DESD Techn. Rep.*, 1968, vol. 68, no. 27, pp. 1-182.
28. Wallin M., Hakanson L. *Nutrient loading models for estimating the environmental effects marine fish farm*. *Marine aquaculture and environment*. Nord: 22. Norway, 1991, pp. 39-56.
29. Mikhaïlenko V. G., Sterligova O. P. Nekotorye ekologicheskie aspekty sadkovogo vyrashchivaniia raduzhnoi foreli [Ecological aspects of cage rearing of rainbow trout]. *Trudy KarNTs RAN*. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2021. No. 12. Pp. 82-90.
30. Frumin G. T., Kulinkovich A. V., Gorelyshev A. Iu. Metody rascheta dopustimykh fosfornykh nagruzok na ozera [Methods for calculating allowable phosphorus loads on lakes]. *Trudy KarNTs RAN*. Petrozavodsk, Izd-vo KarNTs RAN, 2021. Iss. 4. Pp. 163-168.
31. Beveridge M. *Cage aquaculture*. London, 1996. 346 p.
32. Milius A., Lindpere A. V., Starast Kh. A. i dr. Statisticheskaia model' troficheskogo sostoiianiia malykh svetlovodnykh ozer [Statistical model of trophic state of small light-water lakes]. *Vodnye resursy*, 1987, no. 3, pp. 50-59.
33. Khenderson-Sellers B., Marklend Kh. R. *Umiraiushchie ozera* [Dying lakes]. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 279 p.
34. Baranova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. *Bioraznoobrazie vodoroslei – indikatorov okruzhaiushchei sredy* [Biodiversity of algae as indicators of environment]. Tel'-Aviv, PiliesStudio Publ., 2006. 498 p.
35. Komulainen S. F., Slastina Iu. L. Fitoplankton i fitoperifiton v ozere Khedo, ispol'zuemom dlia sadkovogo forelevodstva [Phytoplankton and phytoplankton in Lake Hedo used for cage trout breeding]. *Antropogennaia transformatsiia prirodnoi sredy*, 2022, vol. 8, no. 1, pp. 36-47.

Статья поступила в редакцию 31.01.2023; одобрена после рецензирования 10.03.2023; принята к публикации 11.05.2023  
The article is submitted 31.01.2023; approved after reviewing 10.03.2023; accepted for publication 11.05.2023

### Информация об авторах / Information about the authors

**Ольга Павловна Стерлигова** – доктор биологических наук; главный научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных; Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук; o.sterligova@yandex.ru

**Евгений Сергеевич Савосин** – кандидат биологических наук; научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных; Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук; szhenya@list.ru

**Ярослав Александрович Кучко** – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных; Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук; y-kuchko@mail.ru

**Olga P. Sterligova** – Doctor of Biological Sciences; Chief Researcher of the Laboratory of Ecology of Fish and Aquatic Invertebrates; Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences; o.sterligova@yandex.ru

**Evgeny S. Savosin** – Candidate of Biological Sciences; Researcher of the Laboratory of Ecology of Fish and Aquatic Invertebrates; Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences; szhenya@list.ru

**Yaroslav A. Kuchko** – Candidate of Biological Sciences; Senior Researcher of the Laboratory of Ecology of Fish and Aquatic Invertebrates; Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences; y-kuchko@mail.ru



**Денис Сергеевич Савосин** – кандидат биологических наук; научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных; Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук; sadenser@inbox.ru

**Николай Петрович Миланчук** – младший научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных; Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук; milyanchuk90@mail.ru

**Denis S. Savosin** – Candidate of Biological Sciences; Researcher of the Laboratory of Ecology of Fish and Aquatic Invertebrates; Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences; sadenser@inbox.ru

**Nikolay P. Milyanchuk** – Junior Researcher of the Laboratory of Ecology of Fish and Aquatic Invertebrates; Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences; milyanchuk90@mail.ru

