

## РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 574.52

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-36-47>

**Фитопланктон и фитоперифитон в озере Хедо, используемом для садкового форелеводства**

**Сергей Федорович Комулайнен<sup>1</sup>, Юлия Леонидовна Сластина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт биологии – обособленное подразделение ФГБУ науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Институт водных проблем Севера – обособленное подразделение ФГБУ науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

<sup>1</sup> [komsf@mail.ru](mailto:komsf@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5738-9489>

<sup>2</sup> [jls@inbox.ru](mailto:jls@inbox.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7227-9328>

**Аннотация.** Приведены данные о формировании фитопланктона и фитоперифитона в озере Хедо (Республика Карелия, бас. Белого моря) в условиях воздействия стоков форелевой фермы. Целью настоящей статьи является оценка того, насколько информативными являются структурные параметры фитопланктона и фитоперифитона, и оценка целесообразности их использования для биологического мониторинга качества воды. Влияние антропогенного воздействия на сообщества водорослей было проанализировано с точки зрения богатства видов, видового разнообразия, экологии видов, биомассы и концентрации хлорофилла. Пока поступающие в озеро стоки форелевой фермы не вызывают коренных изменений в структуре сообществ. Результаты химического анализа воды указывают на низкий уровень антропогенного влияния. Хотя зафиксировано небольшое повышение концентрации взвешенного вещества и тяжелых металлов в воде вблизи садков. Структура альгоценозов определяются, в первую очередь, гидрографическими и гидрологическими особенностями озера. По составу массовых видов она типична для холодноводных, олиготрофных водоемов бореальной и субарктической зон, с низкой минерализацией, не испытывающих значительную антропогенную нагрузку. Биотические индексы и гидрохимические показатели, измеренные для озера, указывают на низкую степень загрязнения и позволяют относить его воды ко II классу чистоты. Достаточно высокие для региона значения численности и биомассы фитопланктона и фитоперифитона в озере Хедо позволяют судить о благоприятных условиях для их формирования в озере и устойчивости сообществ.

**Ключевые слова:** пресноводная экосистема, озеро Хедо, форелеводство, мониторинг, фитопланктон, фитоперифитон

**Благодарности:** Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственных заданий № 0221-2014-0005 и № 0221-2014-0038.

**Для цитирования:** 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. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-36-47>

## SECTION 2. POLLUTION

Original paper

**Phytoplankton and phytoperiphyton in lake Khedo used for cages trout**

**Sergey F. Komulaynen<sup>1</sup>, Julia L. Slastina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup> Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

<sup>1</sup> [komsf@mail.ru](mailto:komsf@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5738-9489>

<sup>2</sup> [jls@inbox.ru](mailto:jls@inbox.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7227-9328>

**Abstract.** Data are reported about the formation of phytoplankton and phytoperiphyton communities in Lake Khedo (Karelia republic, White Sea catchment) under the effect of effluent discharges from a trout farm. The purpose of this paper is to assess how informative phytoperiphyton structural parameters are, and to assess the feasibility of using them for biological monitoring of river quality. The influence of anthropogenic impacts on periphyton communities was analyzed in terms of species richness, species diversity, species ecology values, biomass and chlorophyll concentration. At present, effluents discharged into the lake from the trout farm cause no profound transformations in the structure of

aquatic organism communities. The results of the chemical analysis of water indicate a low level of anthropogenic influence. Although a slight increase in the concentration of suspended matter and heavy metals in the water near the cages was recorded. The structure of algae communities is due primarily to specific hydrographic location and hydrological characteristics of lake. The composition and ratio of most common species of algae communities in the lake is typical for cold-water, oligotrophic reservoirs of the boreal and subarctic zones, with low mineralization, not experiencing a significant anthropogenic load. The biotic indices and hydrochemical indicators indicated mainly a low degree of pollution, so the lake waters could be classified as belonging to water purity class II. Relatively high values of the abundance and biomass of phytoplankton and phytoplankton, in the Lake Khedo comparing to the average values for the studied region make it possible to conclude on the favorable conditions in the lake and on the stability of communities.

**Key words:** freshwater ecosystem, Lake Khedo, cultivation, monitoring, phytoplankton, phytoplankton

**Acknowledgments:** Financial support for research was carried out from the federal budget for the implementation of state assignments № 0221-2014-0005 and № 0221-2014-0038.

**For citation:** Komulaynen, S. and Slastina, J., 2022. Phytoplankton and phytoplankton in lake Khedo used for cages trout *Anthropogenic Transformation of Nature*, 8(1). pp. 36–47. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-36-47> (in Russian)

## Введение

Сокращение запасов и падение уловов ценных видов рыб интенсифицировали работы, направленные на их культивирования. Одним из таких способов является садковое рыбоводство. В Республике Карелии промышленным выращиванием радужной форели (*Parasalmo mykiss* (Walbaum)) начали заниматься в 80-е гг. В 2020 году здесь действовало 73 рыбоводных хозяйства, на которых было выращено 36441,1 тонны разновозрастной рыбы [3].

Активизация промышленного рыборазведения приводит к возрастанию антропогенной нагрузки на водные системы и ускорению темпов их эвтрофикации. Отрицательные последствия могут быть уменьшены разработкой целостной системы водоохраных мероприятий на основе данных, полученных в результате мониторинга.

Широкое применение при мониторинге методов биоиндикации связано с тем, что химические и физические методы дают возможность установить только наличие загрязнения, но не его последствия в экосистеме в целом, а тем более не позволяют оценить ее влияние на биоту [14].

Водоросли – наиболее чувствительный и надежный индикатор водных экосистем при различных видах антропогенных воздействий. Преимущество альгологических исследований при мониторинге объясняется коротким жизненным циклом водорослей, что позволяет даже при проведении ограниченных по времени наблюдений не только определить современное состояние водоемов, но и оценить возможные изменения [27].

Цель настоящей работы – оценить современное состояние озера Хедо на основе анализа структуры водорослевых сообществ, характер их возможных изменений под влиянием стоков с рыбоводной фермы.

## Материал и методика

Исследования были выполнены в озере Хедо (Рис. 1), которое находится на территории Муезерского района республики Карелия (63°57'28" с.ш.; 31°36'22" в.д.).

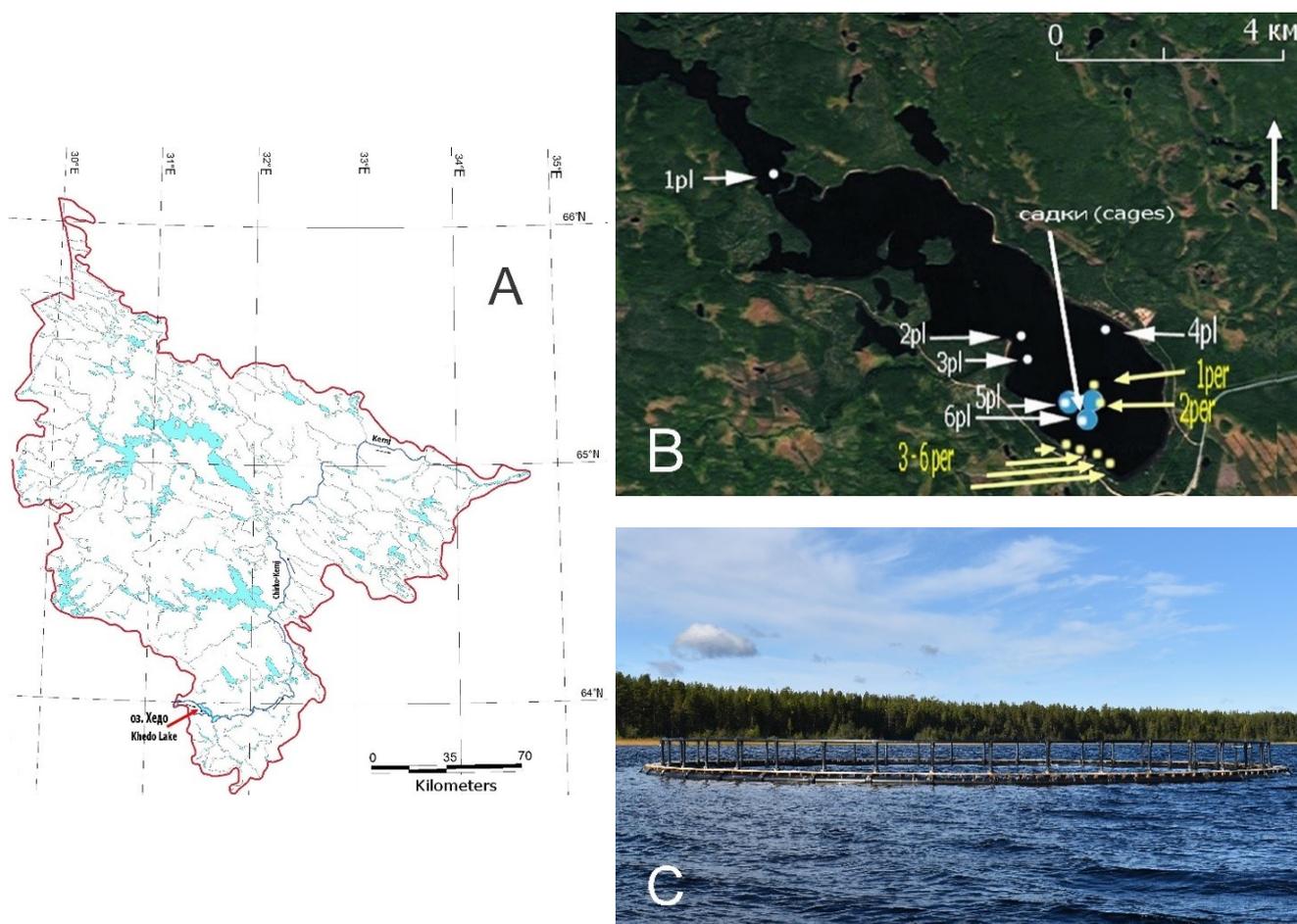
Озеро длиной 8,1 и максимальной шириной 1,0 км, располагается на высоте 193,2 метров над уровнем моря. Форма озера лопастная, продолговатая: оно вытянуто с северо-запада на юго-восток. Озеро глубоководное с максимальной глубиной 26 м, средней – 10 м. Площадь озера – 8,6 км<sup>2</sup>, а водосборного бассейна, с невысокой для региона заболоченностью (около 7%), – 133 км<sup>2</sup>. Берега изрезанные, каменисто-песчаные, преимущественно возвышенные. Через озеро протекает река Хедь – приток третьего порядка реки Кемь (бассейн Белого моря), которая имеет 18 притоков суммарной длиной 38 км. Среднегодовой объем притока водных масс, 43,0 км<sup>3</sup>. Среднегодовой расход воды в истоке – 17,4 м<sup>3</sup>/сек. Средняя скорость ветра в период наблюдения была около 4,0 м/сек., что соответствует скорости дрейфового течения – 6,8 см/сек.

С 2005 года на озере функционирует форелевая ферма «ЛОИСТО». Производительность ее в настоящее время составляет около 300 тонн товарной форели в год. Показатель условного водообмена, равен 0,5, т.е. водные массы озера заменяются водой с водосбора один раз в 2 года.

Пробы были отобраны 10 июня 2021 г. при температуре воды от 10 до 10,2°C. Расположение станций было выбрано с тем расчетом, чтобы оценить структуру альгофлоры в наибольшем числе биотопов, которые как мы предполагали отличаются по уровню антропогенной нагрузки (табл. 1).

Пробы отбирались по стандартной методике [4, 9]. При их анализе определяли видовой состав, численность и биомассу водорослей, отмечали доминирующие виды, к которым относили виды с относительной численностью или биомассой > 10% от суммарной. Определение хлорофилла в фитопланктоне проводили стандартным спектрофотометрическим методом [21, 23].

Система таксонов водорослей приведена по схеме, принятой в серии «Süsswasserflora von Mitteleuropa» с уточнением названий некоторых видов согласно современным сводкам. Экологическую принадлежность водорослей устанавливали согласно работе С.С. Бариновой с соавт. [2].



**Рис. 1. А – карта водосборного бассейна реки Кемь с расположением оз. Хедо (отмечено красной стрелкой); В – карта-схема озера с расположением станций отбора проб фитопланктона (pl) и фитоперифитона (per); С – садки на озере**

**Fig. 1. A – map of the catchment area of the Kem River with the location of the lake, Khedo (marked with a red arrow); B – map-scheme of the lake with the location of the phytoplankton (pl) and phytoplankton (per) sampling stations; C – cages on the lake**

Таблица 1

**Характеристика станций отбора проб в озере Хедо (10.06.2021)**

Table 1

**Characteristics of sampling stations in Lake Khedo (10.06.2021)**

Фитопланктон // phytoplankton		Фитоперифитон // phytoplankton	
1pl	Контроль // control	1per	канат у садков // rope at the cages
2pl	литораль, песчаная коса // littoral, sandy promontory	2per	конструкции садков // cage designs
3pl	литораль, устья ручья // littoral, the mouth of a stream	3per, 4per, 5per, 6per	бочки, канаты и конструктивные элементы пирса у берега // barrels, ropes and structural elements of the pier near the shore
4pl	литораль напротив деревни // littoral opposite the village		
5pl, 6pl	Садки // cages		

Для определения роли отдельных таксонов в формировании альгоценозов вычислялось средневзвешенное относительное обилие видов по численности (N%) и биомассе (B%). Для оценки разнообразия использовали индекс Шеннона–Уивера [24], который рассчитывали по численности водорослей, а качества воды индекс сапробности Пантле и Букка [22] в модификации Сладечека – P&B [25]. Кроме того рассчи-

тывали трофический диатомовый индекс – TDI [16], который дает наилучшие результаты при слабом и умеренном загрязнении.

Кластерный анализ выполнен по данным об относительной численности видов. Группирование станций проводилось при помощи алгоритма Евклидовой дистанции с использованием метода Варда (Method Warda, пакет программ Statistica).

Анализ гидрохимических проб был выполнен в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН по соответствующим методикам [1, 10], а концентрацию тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (спектрофотометр AA-7000 Shimadzu, Япония) с пламенной атомизацией [26] в аналитической лаборатории института Леса КарНЦ РАН.

### Результаты

Воды озера Хедо характеризуются низкой минерализацией воды, гидрокарбонатно-кальциевого типа, относительно не высокой для региона концентрацией органических веществ и цветностью, слабокислой pH (табл. 2).

Таблица 2

**Средние значения концентрации взвешенного вещества (ВО), цветности воды (ЦВ), pH, электропроводности ( $\chi$ ), перманганатной окисляемости (ПО), концентрации общего фосфора (P), азота (N) и хлора (Cl) на исследованных участках озера Хедо (июнь 2021 г.). Значения указаны в формате среднее  $\pm$  стандартное отклонение (M  $\pm$  SD)**

Table 2

**Average values of suspended solid (SS), color of water (C), pH, electrical conductivity ( $\chi$ ), permanganate oxidizability (PO), concentration of total phosphorus (P), nitrogen (N) and chlorine (Cl) in the studied areas of Lake Khedo (June 2021). The values are in the format mean  $\pm$  standard deviation (M  $\pm$  SD)**

Параметры // Options	Контроль (pl. 1) // Control (pl. 1)	Садки (pl. 5) // Cages (pl. 5)
	M $\pm$ SD	
ВО, мг/л // SS, mg/L	0,8 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,2
ЦВ, градусы // C, degrees..	80 $\pm$ 5	77 $\pm$ 2
pH	6,4 $\pm$ 0,8	6,4 $\pm$ 0,2
$\chi$ , мкСм/см // $\chi$ , $\mu$ S/cm	15,1 $\pm$ 1,2	15,3 $\pm$ 0,2
РО, мгО/л // PO, mgO/L	12,9 $\pm$ 5,2	13,8 $\pm$ 0,2
Робщ., мкг/л // Ptot., $\mu$ gP/L	13 $\pm$ 0,8	15 $\pm$ 0,4
Нобщ., мгN/л // Ntot., mgN/L	0,4 $\pm$ 0,2	0,4 $\pm$ 0,1
Cl, мг/л // Cl, mg/L	0,7 $\pm$ 0,3	0,6 $\pm$ 0,2

Содержание общего фосфора и азота в озере близко к региональному фону для поверхностных вод Карелии и позволяет характеризовать озеро как мезотрофное [27]. Следует при этом учитывать, что биогены, поступающие с фореелевого комплекса, могут эффективно разбавятся, благодаря достаточно высокой проточности озера, либо утилизироваться. Представляется также что, одиночные измерения концентрации биогенных веществ дают лишь картографическую иллюстрацию состояния окружающей среды, и для правильной количественной оценки воздействия рыбоводства режим отбора проб должен охватывать как большее число проб, так и станций [15].

Концентрация хлора (консервативного показателя хозяйственно-бытового загрязнения) в воде, также как и концентрации цинка и свинца (табл. 3) в озере значительно ниже значений, отмеченных для водоемов Республики Карелия, подвергаемых антропогенному воздействию (Лозовик, Платонов, 2005). Более высокое содержание цинка и свинца вблизи садков можно объяснить поступлением топлива от лодочных моторов.

Альгологические исследования в озере Хедо ранее не проводились. Нами в фитопланктоне и фитоперифитоне озеро Хедо определено 76 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 7 отделам (табл. 4, 5).

Таблица 3

**Средние значения концентрации тяжелых металлов в воде оз. Хедо. Значения указаны в формате среднее  $\pm$  стандартное отклонение (M  $\pm$  SD)**

Table 3

**Average values of the concentration of heavy metals in the water of the lake. Khedo. The values are in the format mean  $\pm$  standard deviation (M  $\pm$  SD)**

Элемент // Element	Контроль (pl. 1) // Control (pl. 1)	Садки (pl. 5) // Cages (pl. 5)
	M $\pm$ SD (мкг/л)	
Zn	0,55 $\pm$ 0,14	0,60 $\pm$ 0,17
Pb	0,47 $\pm$ 0,03	0,62 $\pm$ 0,15

Таблица 4

Таксономический состав, относительная численность (А%) и встречаемость водорослей на станциях отбора проб (F) фитопланктона (pl) и фитоперифитона (per) в озере Хедо

Table 4

Taxonomic composition, relative abundance (A%) and occurrence of algae at the sampling stations (F) of phytoplankton (pl) and phytoperiphyton (per) in Lake Khedo

Таксоны // Taxa	pl		per	
	A%	F	A%	F
Cyanophyta				
<i>Aphanocapsa</i> sp.	2,57	1,2,4	1,00	2,3
<i>Calothrix parietina</i> Thuret 1886			0,50	2
<i>Merismopedia punctata</i> Meyen 1839	1,30	2		
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing 1846	1,00	3	0,33	2,3
<i>Oscillatoria tenuis</i> Agardh ex Gomont 1892			0,67	2
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis et Komarek 1988	0,38	1–3		
<i>Tolypothrix distorta</i> Kützing 1843	0,00		0,33	2
Chrysophyta				
<i>Chrysococcus</i> sp.	3,45	1–3,6		
<i>Dinobryon bavaricum</i> O.E. Imhof 1890	8,08	1–6	0,27	1,4
<i>Dinobryon divergens</i> O.E. Imhof 1890	3,07	1–6	0,38	1,2,4
<i>Dinobryon suecicum</i> Lemmermann 1904	0,38	1,0		
<i>Kephyrion spirale</i> (Lackey) Conrad 1939	3,27	1–6		
<i>Kephyrion ovum</i> Pascher 1913	12,95	1–6		
<i>Mallomonas akrokomos</i> Ruttner 1913	0,37	3,5,6	0,05	2
<i>Mallomonas crassisquama</i> (Asmund) Fott 1962	0,32	1,2	0,00	
Dinophyta				
<i>Peridinium aciculiferum</i> Lemmermann, 1900	0,15	3	0,13	2,4
<i>Peridinium cinctum</i> (O.F. Müller) Ehrenberg 1832	2,20	1–6	0,30	2,4
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann 1899	0,22	2,0	0,00	
Bacillariophyta				
<i>Achnanthes minutissima</i> Kützing 1833			2,87	1,3,6
<i>Asterionella formosa</i> Hassall 1850	9,47	1–6	0,80	1–6
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen 1979	2,83	3	2,08	1–4
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg 1838			0,25	6
<i>Cymbella elginensis</i> Krammer 1981			1,10	2,5,6
<i>Cymbella silesiaca</i> Blesch 1864			0,33	2,3
<i>Diatoma tenuis</i> Agardh 1812	2,22	1,2		
<i>Eunotia pectinalis</i> (Kützing) Ehrenberg 1864			4,58	2–6
<i>Eunotia serra</i> var. <i>diadema</i> (Ehrenberg) Patrick 1958			0,08	3
<i>Eunotia septentrionalis</i> Østrup 1897	0,58	6		
<i>Fragilaria arcus</i> (Ehrenberg) Cleve 1898			1,83	2,4
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres 1925 var. <i>capucina</i>			4,00	1,2,4,5
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>amphicephala</i> (Grunow) Lange-Bertalot 1844			0,17	5
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow 1868			0,33	2
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot 1980			1,45	2–6
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni 1891	0,10	5	0,62	5,6
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing 1849			5,53	1–6
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg 1832			5,95	
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg 1832			0,33	
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh 1831			0,50	1,2
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing 1844			0,12	2,4
<i>Navicula gottlandica</i> Grunow 1880			0,33	2
<i>Navicula menisculus</i> Schoemann 1867			0,02	1
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing 1844			0,02	2
<i>Navicula</i> sp.	0,75	5	0,50	5,6
<i>Neidium dubium</i> (Ehrenberg) Cleve 1894			0,02	4
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W. Smith 1853	0,20	1		
<i>Nitzschia linearis</i> W. Smith 1853			0,78	1,2,4,6
<i>Nitzschia</i> sp. 1	2,27	1–5	0,33	4,6

Таксоны // Taxa	pl		per	
	A%	F	A%	F
<i>Nitzschia</i> sp. 2	0,28	3		
<i>Nitzschia</i> sp. 3	0,07	3		
<i>Nitzschia</i> sp. 4	0,07	3		
<i>Pinnularia major</i> (Kützing) Rabenhorst 1853			0,17	3
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve 1891			0,17	3
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg 1843			0,17	6
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing 1844	8,73	1–6	7,02	1–6
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth.) Kützing 1844	1,70	1–6	46,13	1–6
Euglenophyta				
<i>Euglena</i> sp	0,43	2	0,02	4
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F. Stein 1878	0,35	3	0,10	1,2
<i>Trachelomonas rugulosa</i> F. Stein 1878	0,07	3		
Chlorophyta				
<i>Chlamydomonas ehrenbergii</i> Gorozhankin 1891	1,22	3,4	0,07	4
<i>Chlamydomonas proboscigera</i> Korshikov 1927	0,33	6		
<i>Chlamydomonas</i> sp.	0,87	1,0		
<i>Chlorella</i> sp.	0,72	1,2		
<i>Chlorococcus</i> sp.	0,58	1		
<i>Cladophora fracta</i> (O.F. Müller) Kützing 1843			4,00	3
<i>Closterium acutum</i> Brébisson 1848	0,15	3		
<i>Draparnaldia glomerata</i> (Vaucher) C. Agardh 1812				6
<i>Elakatothrix genevensis</i> (Reverdin) Hindák 1962	0,37	2,3		
<i>Lagerheimia citrififormis</i> (J.W. Snow) Collins 1909	0,20	1,0		
<i>Microspora amoena</i> (Kützing) Rabenhorst 1868			0,43	5,6
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová 1969	24,90	1–6	0,53	1–6
<i>Mougeotia</i> sp.			0,13	5
<i>Oedogonium</i> sp.			0,33	1
<i>Oocystis</i> sp.	0,52	1,2		
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson 1835	0,00		0,12	2
Cryptophyta				
<i>Cryptomonas</i> sp.	0,12	2		
<i>Rhodomonas</i> sp.	0,22	3		

Таблица 5

**Роль отделов водорослей в структуре фитопланктона (pl) и фитоперифитона (per)  
и в альгофлоре в целом в озере Хедо**

Table 5

**The role of algae divisions in the structure of phytoplankton (pl) and phytoperiphyton (per)  
and in the algaflora in general in Lake Khedo**

Отделы // Divisions	pl		per		Альгофлора в целом // Total algaflora	
Cyanophyta	4(1)	9,3	5	9,8	7(1)	9,2
Chrysophyta	8(1)	18,6	3	5,9	8(1)	10,5
Dinophyta	3	7,0	2	3,9	3	3,9
Bacillariophyta	13(5)	30,2	31(2)	60,8	37(5)	48,7
Euglenophyta	3(1)	7,0	2(1)	3,9	3(1)	3,9
Chlorophyta	10(4)	23,3	8(2)	15,7	16(6)	21,1
Cryptophyta	2(2)	7,0	-	0,0	2(2)	2,6
Альгофлора в целом // Total algaflora	43(14)	100,0	51(5)	100,0	76(16)	100,0

\*Примечание. В скобках количество таксонов, определенные до рода.

\*Note. In parentheses, the number of taxa determined before the genus.

В планктоне идентифицировано 29 видов водорослей, еще 14 форм определены до рода. Наиболее разнообразны в планктоне были диатомовые и зеленые водоросли (53,4% от общего числа видов), что типич-

но для малых водоемов региона [5]. Средние значения численности и биомассы фитопланктона (табл. 6) на исследованных участках также сходны с ранее отмеченными в водоемах Карелии [8].

Таблица 6

Основные показатели структуры фитопланктона озера Хедо: St – станции, Sp – число видов, H – индекс Шеннона; A – численность; B – биомасса,  $\Sigma$  Хл – хлорофилл a

Table 6

The main indicators of the structure of the phytoplankton of Lake Khedo: St – stations, Sp – the number of species, H – the Shannon index; A – abundance; B – biomass,  $\Sigma$  Cl – chlorophyll a

St	Sp	H*	A,		B,		$\Sigma$ Хл, мг/м <sup>3</sup> mg/m <sup>3</sup>
			10 <sup>4</sup> кл/л (Cell/L)	Доминирующие виды // Dominant species	г/м <sup>3</sup> g/m <sup>3</sup>	Доминирующие виды // Dominant species	
1	22	2,7	17,1	<i>Dinobryon bavaricum</i> , <i>Asterionella formosa</i> <i>Monoraphidium contortum</i>	0,27	<i>Dinobryon bavaricum</i> , <i>Peridinium cinctum</i>	3,71
2	23	2,5	29,5	<i>Monoraphidium contortum</i>	0,24	<i>Peridinium cinctum</i> , <i>Peridinium inconspicuum</i>	4,87
3	25	2,5	46,9	<i>Aulacoseira italica</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Monoraphidium contortum</i>	0,44	<i>Aulacoseira italica</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Chlamydomonas ehrenbergii</i>	4,75
4	13	2,3	15,0	<i>Asterionella formosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Monoraphidium contortum</i>	0,14	<i>Dinobryon bavaricum</i> , <i>Peridinium cinctum</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Chlamydomonas ehrenbergii</i>	4,29
5	17	2,1	38,5	<i>Kephyrion ovum</i> , <i>Asterionella formosa</i> <i>Monoraphidium contortum</i>	0,32	<i>Dinobryon bavaricum</i> <i>Peridinium cinctum</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i>	4,34
6	14	2,0	49,5	<i>Kephyrion ovum</i> , <i>Asterionella formosa</i> <i>Monoraphidium contortum</i>	0,24	<i>Dinobryon bavaricum</i> <i>Peridinium cinctum</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i>	4,87

\*Примечание. Индекс Шеннона (H) здесь и в таблице 7 рассчитывали по численности.

\*Note. The Shannon index (H) here and in Table 7 was calculated from the abundance

Фитоперифитон в озере более разнообразен (табл. 7), но и его структуру определяют виды в той или иной пропорции, постоянно присутствующие в водоемах региона. Всего в обрастаниях определен 51 вид водорослей. Видовое богатство альгофлоры пе-

рифитона также определяют диатомовые водоросли. Среди которых доминирует *Tabellaria flocculosa*, вид типичный для олиготрофных водоемов европейского севера [18].

Таблица 7

Основные показатели структуры фитоперифитона озера Хедо: St – станции, Sp – число видов, H – индекс Шеннона; A – численность; B – биомасса,  $\Sigma$  Хл - хлорофилл

Table 7

The main indicators of the structure of the phytoperiphyton of Lake Khedo: St – stations, Sp – number of species, H – Shannon index; A – abundance; B – biomass

St	Sp	H	A		B	
			10 <sup>4</sup> кл/см <sup>2</sup> // Cell/cm <sup>2</sup>	Доминирующие виды // Dominant species	мкг/см <sup>2</sup> // µg/cm <sup>2</sup>	Доминирующие виды // Dominant species
1	15	1,44	6,1	<i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Gomphonema parvulum</i> ,	2,1	<i>Tabellaria flocculosa</i>
2	30	2,66	2,2	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> ,	0,3	<i>Tabellaria flocculosa</i>
3	18	2,17	1,7	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Gomphonema truncatum</i> , <i>Cladophora fracta</i>	5,2	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Cladophora fracta</i>
4	20	1,41	7,3	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> ,	1,3	<i>Tabellaria flocculosa</i>
5	14	1,09	5,4	<i>Tabellaria flocculosa</i>	1,7	<i>Tabellaria flocculosa</i>
6	19	2,24	4,7	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Draparnaldia glomerata</i>	6,5	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Draparnaldia glomerata</i>

Общим для двух типов альгоценозов является таксономическая однородность группировок. Основное фитоценотическое значение и в группировках фитопланктона и фитоперифитона имеет небольшое число видов при значительной выравненности структуры. Структура альгоценозов сформирована видами, заметно различающимися по размеру: от нескольких микрон до нескольких сантиметров. Поэтому списки видов, доминирующих по численности и биомассе, заметно различаются. Диаграмма, построенная по

результатам кластерного анализа (рис. 2) подчеркивает специфичность структуры фитопланктона и фитоперифитона в озере. Различия в структуре исследованных альгоценозов не удивительно, так как только один вид (*Tabellaria fenestrata*) входит в состав их доминирующих комплексов. Оба кластера (А и В) состояли из шести сайтов, объединяющих соответственно станции отбора проб фитопланктона и фитоперифитона. Причем пробы, отобранные у садков, оказались в одних сайтах, соответственно А1 и В1.

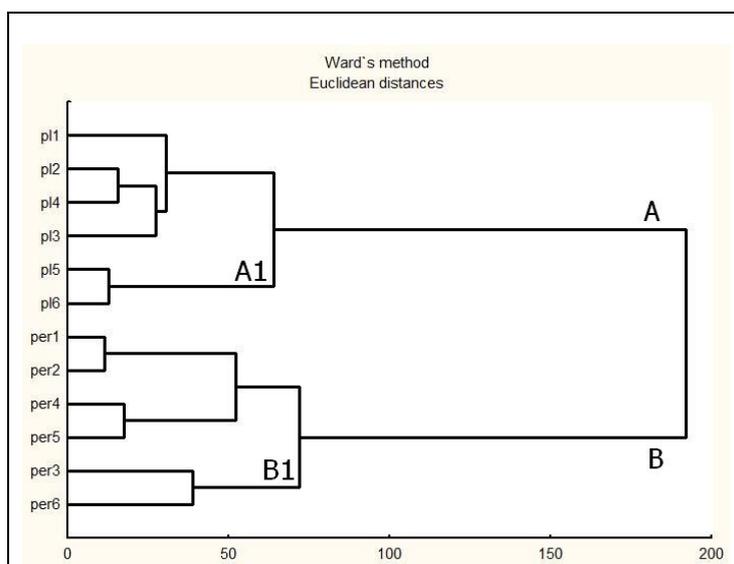


Рис. 2. Дендрограмма сходства видового состава фитопланктона (pl) и фитоперифитона (per) в озере Хедо

Fig. 2. Dendrogram of the similarity of the species composition of phytoplankton (pl) and phytoplankton (per) in Lake Khedo

Многие из выявленных таксонов (59 – около 78 %) являются индикаторами одной или нескольких характеристик среды. Наибольший биоиндикационный вклад принадлежит диатомовым (32 таксон) и зеленым (10 таксонов) водорослям.

Большая часть выявленных в альгофлоре озера видов это планктонные формы (35, или 60,3% от общего количества таксонов). К бентосным видам относятся 7 (12,1%), а к обрастателям 16 (27,6%) таксонов.

По приуроченности к температурному режиму преобладали, индифферентны (66,7%). Единично отмечены эвритермные, теплолюбивые и холодноводные виды.

Индикация отношения к динамике водных масс и кислородному режиму показала, что состав индикаторных видов на две трети (66,7%) сформирован обитателями вод с замедленным течением, умеренно насыщенных кислородом. Видов, предпочитающих богатые кислородом проточные воды, а также обитателей стоячих вод выявлено значительно меньше, соответственно 20,0 и 13,3%.

Среди видов – индикаторов кислотности водной среды преобладали алкалофилы (т.е. широко распространенные при pH более 7,0) и индифференты (по 38,7%). Число ацидофилов значительно меньше (22,6%).

По отношению к минерализации 62,8% перечня индикаторных видов – это индифференты, т.е. типичные обитатели пресных вод. Галофилы, предпочитающие воды с большой минерализацией, составляли только 16,3% видов – индикаторов солености воды. Доля галофобов более заметна (20,9%).

Согласно системе Ватанабе (Баринава и др., 2019) по отношению к степени загрязнения воды органическими веществами преобладали эврисапробы (65,2% индикаторных видов) – водоросли, устойчивые к органическому загрязнению, обычно развивавшиеся в слабо- и умеренно загрязненных водах. Обитателей чистых и слабо загрязненных вод – сапроксенов – значительно меньше (30,4%). Сапрофилы, преобладающие в водах с сильным органическим загрязнением, наименее заметны – 4,3%.

Значительное число индикаторов сапробности позволило корректно провести сапробиологический анализ альгоценозов. В составе фитопланктона и фитоперифитона выявлены виды индикаторы сапробности – от ксеносапробной до полисапробной (табл. 8).

Обитатели чистых вод – ксено-, олигосапробионты и обитатели переходной между ними ( $\chi$ -о, о- $\chi$ ) зоны – выявлены в количестве 24 и формируют 46,1% от общего числа найденных видов-индикаторов сапробности. К обитателям загрязненных и грязных вод отно-

сится всего 1 вид (*Chlamydomonas ehrenbergii*). Более половины индикаторов сапробности (52%) являются видами с высокой степенью толерантности к содер-

жанию органических веществ и могут успешно вегетировать как в чистых, так и в насыщенных органикой водах.

Таблица 8

### Виды индикаторы-сапробности в фитопланктоне и фитоперифитоне озера Хедо

Table 8

#### Abundance of saprobity indicator species in the phytoplankton and phytoperiphyton of Lake Khedo

Сообщество // Community	Виды индикаторы-сапробности // Saprobity indicator species									Всего // Total species
	$\chi$	$\chi$ - $\alpha$ , $\alpha$ - $\chi$	$\alpha$	$\chi$ - $\beta$	$\alpha$ - $\beta$ , $\beta$ - $\alpha$	$\beta$	$\beta$ - $\alpha$	$\alpha$ - $\alpha$	$\alpha$	
Фитопланктон // Phytoplankton	1		6	1	8	3		5	1	25
Фитоперифитон // Phytoperiphyton	7	5	10	3	5	4	1	7	1	
Всего видов // Total species	5	5	14	3	11	5	1	7	1	52
%	9,6	9,6	26,9	5,8	21,2	9,6	1,9	13,5	1,9	100,0

\*Примечание.  $\chi$  – ксеносапробионт;  $\chi$ - $\alpha$  – ксено-олигосапробионт;  $\alpha$ - $\chi$  – олиго-ксеносапробионт;  $\alpha$  – олигосапробионт;  $\chi$ - $\beta$  – ксено-бета-мезосапробионт;  $\alpha$ - $\beta$  – олиго-бета-мезосапробионт;  $\beta$ - $\alpha$  – бета-олигосапробионт;  $\alpha$ - $\alpha$  – олиго-альфа-мезосапробионт;  $\beta$  – бета-мезосапробионт;  $\beta$ - $\alpha$  – бета-альфа-мезосапробионт;  $\alpha$  – альфа-мезосапробионт.

\*Note.  $\chi$  – xenosaprobiont;  $\chi$ - $\alpha$  – xeno-oligosaprobiont;  $\alpha$ - $\chi$  – oligo-xenosaprobiont;  $\alpha$  – oligosaprobiont;  $\chi$ - $\beta$  – xeno-beta-mesosaprobiont;  $\alpha$ - $\beta$  – oligo-beta-mesosaprobiont;  $\beta$ - $\alpha$  – beta-oligosaprobiont;  $\alpha$ - $\alpha$  – oligo-alpha-mesosaprobiont;  $\beta$  – beta-mesosaprobiont;  $\beta$ - $\alpha$  – beta-alpha-mesosaprobiont;  $\alpha$  – alpha-mesosaprobiont.

Разнообразие в альгофлоре  $\alpha$ - $\beta$ ,  $\beta$ , и  $\beta$ - $\alpha$ -сапробов отражает достаточно высокую концентрацию в озере органического вещества, и высокий потенциал самоочищающей способности водоема. Однако поскольку среди доминантов и субдоминантов преобладают оли-

госапробы, неудивительно, что значения индексов указывают на принадлежность озера к олигосапробной зоне (Табл. 9). На это же указывают значения трофического диатомового индекса.

Таблица 9

### Значения индексов сапробности, рассчитанные по фитопланктону и фитоперифитону для озера Хедо

Table 9

#### Saprobe index values calculated from phytoplankton and phytoperiphyton for Lake Khedo

Сообщество // Community	Индекс // Index	Значение // Meaning
Фитопланктон // Phytoplankton	P&B	1,4–1,6
	TDI	2,2–2,6
Фитоперифитон // Phytoperiphyton	P&B	0,7–0,9
	TDI	1,9–2,7

Следует, учитывать, что в водоемах происходит сезонная флуктуация видового богатства и смена основных альгологических комплексов. Отбор проб был выполнен в начале июня, а на севере Карелии это еще весна. Для весенней альгофлоры в большинстве водоемов характерно доминирование ксено- и олигосапробов [12, 13, 17].

#### Заключение

Ранее нами уже исследовалась структура альгоценозов при оценке состояния водных экосистем с товарным выращиванием форели и их результаты были позже обобщены. Было показано, что на первом этапе таксономическое разнообразие в водных экосистемах возрастает за счет внедрения широковалентных видов. Однако в дальнейшем структура альгоценозов упрощается и видовое разнообразие снижается. Было отмечено также, что галофобно-ацидофильно-

индифферентный комплекс, типичный для альгофлоры обогащается алкалофильными и галофильными видами, предпочитающими повышенное содержание органических веществ. Одновременно наблюдается замещение арктоальпийских видов бореальными и космополитами [11].

Озеро Хедо характеризуется низкой освоенностью водосбора. Точечные источники загрязнения в бассейне озера отсутствуют. Каких-то изменений в химическом составе воды, которые можно однозначно связать с деятельностью форелевой фермы, не выявлено. Дополнительные биогены поступающие с кормами благодаря высокой проточности и ветровой эрозии могут выноситься из озера.

Таксономический состав исследованных сообществ и набор доминирующих видов в озере типичен для водоемов республики Карелии. Он определяется в первую очередь географическим положением исследуемого водоема.

дованного региона. Все определенные в составе группировок виды в той или иной пропорции постоянно встречаются в водоемах региона, что указывает на определяющую роль климата в формировании альгоценозов. Выявленная таксономическая структура, когда основу списка составляют диатомовые, зеленые и сине-зеленые водоросли, отражает специфику альгофлоры водоемов Карелии [5]. Хотя непродолжительность периода наших наблюдений не позволяет считать список видов достаточно полным. Дальнейшие более детальные исследования помогут дополнить видовой состав и выявить сезонную динамику видовой структуры, численности и биомассы сообществ.

Численность и биомасса фитопланктона, фитоперифитона, и концентрация хлорофилла позволяют судить о достаточно высокой степени их развития в озере, жизненной активности и устойчивости, а трофический статус озера Хедо как промежуточный между слабо-олиготрофным и слабо-мезотрофным.

Географическим положением озера определяет соотношение эколого-географических групп водорослей. Самые многочисленные виды водорослей в планктоне и перифитоне на исследованных участках являются широко распространенными, индифферентными по отношению к большинству экологических факторов видами. Некоторое отличие от альгофлоры других водоемов региона связано с более высоким разнообразием алкалофилов в сравнении с ацидофилами. Ранее эта тенденция отмечалась нами при увеличении антропогенной нагрузки [19, 20]. Однако в озере Хедо может объясняться невысокой заболоченностью водосбора.

Пространственная неоднородность в структуре фитопланктона и фитоперифитона, связана с особенностями гидрологического режима в пелагиали и литорали озера.

Достаточно высокое разнообразие и индикаторные свойства водорослей исследованных сообществ, дают основания для получения надежных и адекватных оценок экологического состояния и качества воды водных экосистем. Судя по составу индикаторных видов, вода в озере условно чистая и пригодна для всех видов водопользования. Средние значения индексов сапробности не выходят за пределы показателей  $\beta$ - и  $\alpha$ -сапробных зон и находились в пределах  $1,98 \pm 0,02$  –  $2,01 \pm 0,01$  и близки к отмечаемым ранее в водоемах не подвергаемых антропогенному влиянию.

Мы считаем целесообразным включение в программу мониторинга анализ типичных для внутренних водоемов гидробиоценозов. Тем более что определение ряда биотических показателей, наряду с традиционными абиотическими, уже предусмотрено нормативными природоохранными документами. Исследования планктона и перифитона рекомендуются для мониторинга окружающей среды, поскольку это может снизить потребность в частых отборах проб воды и затратах на мониторинг.

Результаты проведенной работы показывают, что при подробном исследовании даже одного водоема, сочетающем изучение структуры альгоценозов наряду с гидрохимическим анализом, приоткрываются фундаментальные вопросы гидробиологии. Одновремен-

но расширяются наши представления о биоразнообразии альгоценозов и биоресурсном потенциале водоемов, накапливается необходимое количество материала для выявления основных подходов к оценке качества их вод. Они, несомненно, дополняют выводы, полученные при мониторинге базовых параметров среды: аммонийный азот, общий азот, минеральный фосфор, общий фосфор, кислород, взвешенные вещества, перманганатная окисляемость, pH, количество и качество используемого корма.

#### Сведения об авторском вкладе:

С.Ф. Комулайнен – проведение полевых исследований; идентификация водорослей в фитоперифитоне и составление списка видов; оценка обилия, разработка структуры статьи; написание выводов и результатов работы; вычитка и корректировка финального варианта публикации.

Ю.Л. Сластина – проведение полевых исследований; идентификация водорослей в фитопланктоне и составление списка видов; оценка обилия, подготовка первого варианта рукописи.

#### Contribution of the authors:

S.F. Komulaaynen – carrying field works; identification of algae in phytoperiphyton and compilation of a list of species; abundance assessment; formulation of the structure of the paper; writing of the results of research; proofreading and correcting the final version of the paper.

J.L. Slastina – carrying field works; identification of algae in phytoplankton and compilation of a list of species; abundance assessment; writing of the results of research; preparation of the first version of the manuscript.

#### Список использованной литературы

1. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / под ред. П.А. Лозовика, Н.А. Ефременко. СПб.: История, 2017. 272 с.
2. *Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.* Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2020 г. / под ред. А.Н. Громцев (главный редактор), О.Л. Кузнецов, А.Е. Курило, Е.В. Веденцова. Петрозаводск: Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия, 2021. 277 с.
4. *Комулайнен С.Ф.* Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. 43 с.
5. *Комулайнен С.Ф., Чекрыжева Т.А., Вислянская И.Г.* Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 78 с.
6. *Лозовик П.А., Платонов А.В.* Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района // *Геоэкология*. 2005. № 6. С. 527–532.
7. *Лозовик П.А., Шкиперова О.Ф., Зобков М.Б., Платонов А.В.* Геохимические особенности поверхностных вод Карелии и их классификация по химиче-

ским показателям // Труды КарНЦ РАН. № 9. 2006. С. 130–143.

8. Озера Карелии. Справочник / под ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 463 с.

9. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В.А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

10. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 1 / под ред. Боевой Л.В. Ростов-на-Дону: НОК, 2009. 1044 с.

11. Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В., Кучко Я.А., Комулайнен С.Ф., Савосин Е.С. Барышев И.А. Состояние пресноводных водоемов Карелии с товарным выращиванием радужной форели в садках. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2018. 127 с.

12. Чекрыжева Т.А., Калинин Н.М. Структура и сезонная динамика фитопланктонных сообществ в открытой и закрытой литорали Онежского озера (Пиньгуба, Пухтинская бухта) // Труды КарНЦ РАН. № 12. 2016. С. 83–95. <http://dx.doi.org/10.17076/ecco363>

13. Anissimova O.V., Kezlya E.M. Season Dynamics of Algal Dominant Community in Small Lakes of Central Chernozem Nature Reserve (Forest Steppe Zone) // Moscow University Biological Sciences Bulletin, 2013, Vol. 68 (3) P. 104–107. <https://doi.org/10.3103/S0096392513020028>

14. Barinova S. Essential and Practical Bioindication Methods and Systems for the Water Quality Assessment. // International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 2017. Vol. 2 (3). P. 79–89. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2017.02.555588>

15. Honkanen T., Helminen H. Impacts of Fish Farming on Eutrophication: Comparisons among Different Characteristics of Ecosystem // Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie. 2000. Vol. 85(5–6). P. 673–686. <https://doi.org/10.1002/1522-2632>

16. Kelly M. G., Whitton B. A. The trophic Diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers // J. // Journal of Applied Phycology. 1995. Vol. 7. №. 4. P. 433–444. <https://doi.org/10.1007/BF00003802>

17. Komulaynen S. Short- and long term changes in phytoplankton structure and production in small streams of Eastern Fennoscandia // Oceanological and Hydrobiological Studies. 2007. Vol. 36(1). P. 189–198.

18. Komulaynen S. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia. // Studi Trentini di Scienze Naturali. 2009. №. 84. P. 153–160.

19. Komulaynen S., Morozov A. Variations in phytoplankton structure in small rivers flowing over urbanized areas // Water Resource. 2007. Vol. 34(3). P. 332–339.

20. Komulaynen S., Chekryzheva T. Response of algal communities to anthropogenic changes in mineralization // Botanica lithuanica. 2013. Vol. 19(1). P. 57–66. <https://doi.org/10.2478/botlit-2013-0010>

21. Lorenzen C.J., Jeffrey S.W. Determination of chlorophyll in seawater // UNESCO Technical Papers in Marine Sciences. Paris: UNESCO, 1980 № 35. P. 3–20.

22. Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserfach. 1995. Bd. 96 (18). 604 p.

23. SCOR-UNESCO Working Group №17. Determination of photosynthetic pigments in sea water // Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO, 1966. P. 9–18.

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

25. Sladeczek V. System of water quality from the biological point of view // Achieves für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie. I. 1973. № 7. 218 p.

26. Suomen Standardisoimisliitto. Water analysis. Metal content of biological material determined by atomic absorption spectrometry. Digestion. Standard SFS 5075. Helsinki. 1990. 134 p.

27. K Whitton B.A. Use of Benthic Algae and Bryophytes for Monitoring Rivers // Journal of Ecology and Environment. 2013. 36(1). P. 95–100. <https://doi.org/10.5141/eoenv.2013.012>

## References

1. Lozovik, P., Efremenko, N. (eds.), 2017. *Analiticheskie, kineticheskie i raschetnihe metodih v gidrokhimicheskoj praktike* [Analytical, kinetic, and computational methods in hydrochemical practice] Saint Petersburg, Nestor-Istoriya. 272 p. (in Russian).

2. Barinova, S., Medvedeva, L. and Anissimova, O., 2006. *Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayuthei sredy* [Diversity of algal indicators in environmental assessment]. Tel-Aviv, Pilies Studio. 498 p. (in Russian).

3. Gromcev, A., Kuznecov, O., Kurilo, A. and Vedencova, E., (eds.), 2021. *Gosudarstvenniy doklad o sostoyanii okruzhayuthej sredih Respubliki Kareliya v 2020 g.* [State Report on the State of the Environment of the Republic of Karelia in 2020]. Petrozavodsk, Ministerstvo prirodnihk resursov i ehkologii Respubliki Kareliya. 277 p. (in Russian).

4. Komulainen, S., *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu fitoperifitona v malykh rekakh* [Methodological Recommendations for Studying Phytoplankton in Small Rivers]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS. 2003. 43 p. (in Russian).

5. Komulaynen, S., Chekryzheva, T. and Vislyanskaya, I., 2006. *Al'goflora ozer i rek Karelii. Taksonicheskiy sostav i ekologiya* [Algaflora of lakes and rivers of Karelia. Taxonomic composition and ecology]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS. 78 p. (in Russian).

6. Lozovik, P. and Platonov, A. 2005. Determining regional maximal allowable concentrations of pollutants: case study of Karelian hydrographic region. *Geoekologiya*. (6), pp. 527–532.

7. Lozovik, P., Shkiperova, O., Zobkov, M. and Platonov, A., 2006. Geochemical features of Karelian surface waters and their classification by chemical characteristics. *Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. (9), Petrozavodsk, pp. 130–143.

8. Filatov, N. and Kukharev, V., (eds.), 2013. *Ozera Karelii. Spravochnik* [Lakes of Karelia. Reference Book]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS. 464 p. (in Russian).

9. Abakumov, V., (ed), 1983. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii* [Guide on the Methods of Hydrobiological Analysis of Surface Water and Bottom Sediments], Leningrad, Gidrometeoizdat. 239 p. (in Russian).
10. Boeva, L., (ed), 2009. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi. Ch. 1* [Guide on the Chemical Analysis of Continental Surface Water. Part 1]. Rostov on Don, NOK, 1044. 239 p. (in Russian).
11. Sterligova, O., Il'mast, N., Kuchko, Ya., Komulainen, S. and Savosin, E., 2018. *Sostoyanie 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, Karelian Research Centre of RAS. 127 p. (in Russian).
12. Chekryzheva, T. and Kalinkina, N., 2016. Structure and seasonal dynamics of phytoplankton community in the opening and closing of the littoral areas of the Onega Lake (bay Pinguba, bay Puchtinskaya). *Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, (12), pp. 83–95. <http://dx.doi.org/10.17076/eco363> (in Russian).
13. Anissimova, O., Kezlya, E., 2013. Season Dynamics of Algal Dominant Community in Small Lakes of Central Chernozem Nature Reserve (Forest Steppe Zone) *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, 68(3), pp. 104–107. [https://doi.org/10.3103/S00963925\\_13020028](https://doi.org/10.3103/S00963925_13020028)
14. Barinova, S., 2017. Essential and Practical Bioindication Methods and Systems for the Water Quality Assessment. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2(3), pp. 79–89. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2017.02.555588>
15. Honkanen, T. and Helminen, H., 2000. Impacts of Fish Farming on Eutrophication: Comparisons among Different Characteristics of Ecosystem. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 85(5-6), pp. 673–686. <https://doi.org/10.1002/1522-2632>
16. Kelly, M. and Whitton, B., 1995. The trophic Diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology*, 7 (4), pp. 433–444. <https://doi.org/10.1007/BF00003802>
17. Komulainen, S., 2007. Short- and long term changes in phytoplankton structure and production in small streams of Eastern Fennoscandia *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 36(1), pp. 189–198.
18. Komulainen, S., 2009. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia. *Studi Trentini di Scienze Naturali*, (84), pp. 153–160.
19. Komulainen, S. and Morozov, A., 2007. Variations in phytoplankton structure in small rivers flowing over urbanized areas. *Water Resource*, 34(3), pp. 332–339.
20. Komulainen, S. and Chekryzheva, T., 2013. Response of algal communities to anthropogenic changes in mineralization. *Botanica lithuanica*, 19(1), pp. 57–66. <https://doi.org/10.2478/botlit-2013-0010>
21. Lorenzen, C., and Jeffrey, S., 1980. Determination of chlorophyll in seawater. *UNESCO Technical Papers in Marine Sciences*, (35). Paris, UNESCO. pp. 3–20.
22. Pantle, R. and Buck, H., 1995. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserfach*, Bd. 96. 18. 604 p.
23. SCOR-UNESCO Working Group №17. Determination of photosynthetic pigments in sea water Monographs on Oceanographic Methodology. Paris, UNESCO. 1966. pp. 9–18.
24. Shannon, C. and Weaver, W. 1963. A mathematical theory of communication. Urbana, The University of Illinois Press. 117 p.
25. Sladeczek, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Achieves für Hydrobiologie - Beiheft Ergebnisse der Limnologie*. 7 (1), pp. 1–218.
26. Suomen Standardisoimisliitto. Water analysis. Metal content of biological material determined by atomic absorption spectrometry. Digestion. Standard SFS 5075. Helsinki. 1990. 134 p.
27. Whitton, B., 2013. Use of Benthic Algae and Bryophytes for Monitoring Rivers. *Journal of Ecology and Environment*. 36 (1), pp. 95–100. <https://doi.org/10.5141/ecoenv.2013.012>

Статья поступила в редакцию 10.03.2022; одобрена после рецензирования 03.04.2022; принята к публикации 07.04.2022.

The article was submitted 10.03.2022; approved after reviewing 03.04.2022; accepted for publication 07.04.2022.