

УДК 574.455(504.455)

СТРУКТУРА И ИНДИКАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФИТОПЕРИФИТОНА ОЗЕРА ИМАНДРА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

С. Ф. Комулайнен

*Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)*

Приведены результаты исследования водорослей фитоперифитона озера Имандра (Мурманская область). Определен видовой состав, рассмотрены структурные особенности сообществ, получены количественные характеристики. В фитоперифитоне определено 114 видов водорослей, принадлежащих к 7 отделам, 46 семействам, 79 родам. Преобладают Bacillariophyta (55,3 % общего числа видов), Chlorophyta (26 %) и Cyanophyta (8 %). Доля остальных отделов в сумме не превышает 4 % от общего числа видов. Установлено, что состав ведущих семейств и флористические спектры фитоперифитона зависят от гидрологических условий на станциях исследуемого участка. Численность водорослей перифитона на исследованных участках изменялась от 195,2 до 13 010,2 10^3 кл./см², а биомасса – от 6,8 до 202,7 мг/см². Основу численности на большинстве исследованных участков формируют диатомовые водоросли, а основу биомассы – зеленые и диатомовые водоросли. К доминирующим отнесены 14 видов (12,3 %), из которых 7 преобладают по численности, а 12 по биомассе, формируя от 35 до 74 % от суммарной численности и от 48 до 81 % от суммарной биомассы. По географическому распространению доминируют космополиты, по отношению к солености – индифференты, по отношению к pH среды – индифференты и алкалофилы, по местообитанию – бентосные виды. Показатели сапробности, согласно методам Ватанабе и Сладечека, показывают умеренный уровень органического загрязнения. В целом распределение каждой группы показателей коррелирует с измеряемыми физико-химическими переменными.

Ключевые слова: фитоперифитон; численность; биомасса; экология; озеро Имандра

Для цитирования: Комулайнен С. Ф. Структура и индикационные возможности фитоперифитона озера Имандра (Мурманская область) // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 9. С. 139–148. doi: 10.17076/lim2380

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0007).

S. F. Komulaynen. STRUCTURE AND INDICATOR CAPABILITIES OF PHYTOPERIPHYTON IN LAKE IMANDRA, MURMANSK REGION

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
(11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)*

The article presents the results of a study of periphytic algae in Lake Imandra, Murmansk Region, including information on the species composition, structural features of communities, and quantitative characteristics. The phytoepiphyton comprises 114 species of algae belonging to 7 divisions, 46 families, and 79 genera. Bacillariophyta (55.3 % of the total number of species), Chlorophyta (13.2 %), and Cyanophyta (22.8 %) predominate. The rest of the divisions collectively account for not more than 4% of the total number of species. The composition of the leading families and the floral spectra of the phytoepiphyton were found to depend on the site-specific hydrological conditions. The abundance of periphytic algae in the studied sites varied from 195.2 to 13 010.2 10^3 cells/cm², and the biomass from 6.8 to 202.7 mg/cm². Diatoms form the bulk of both the abundance in most of the studied sites, while biomass is mainly generated by green algae and diatoms. Fourteen species (12.3 %) are classified as dominants, 7 of them dominating in abundance and 12 in biomass, and accounting for 35 to 74 % of the total abundance and for 48 to 81 % of the total biomass. The following groups dominate: in terms of geographic extent – cosmopolites, in relation to salinity – indifferent species, in relation to pH – indifferent and alkaliphilic species, and in relation to habitats – benthic species. Saprobity, based on metrics suggested by Watanabe and Sládeček, is indicative of a moderate level of organic pollution. Overall, these indicators adequately reflect the distribution of algal communities over the river habitats. We found that the distribution of each group of indicators aligns with the measured physico-chemical variables.

Keywords: attached algae; abundance; biomass; ecology; Lake Imandra

For citation: Komulaynen S. F. Structure and indicator capabilities of phytoepiphyton in Lake Imandra, Murmansk Region. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 9. P. 139–148. doi: 10.17076/lim2380

Funding. Financial support for the research was provided from the federal budget for the implementation of state assignment to KarRC RAS (FMEN-2022-0007).

Введение

Озера как источник водоснабжения и энергии, объекты рекреации, рыболовства и рыбноводства занимают важное место среди природных ресурсов Мурманской области. В то же время они очень уязвимы, интегрируя изменения, связанные с увеличением антропогенной нагрузки. Их рациональное использование и минимизация негативного воздействия промышленного освоения водосбора невозможно без знаний закономерностей функционирования экосистемы водоемов. Такие знания требуют изучения структуры отдельных компонентов экосистемы и характера их взаимодействия.

Лимнологические исследования в регионе, включающие и анализ их альгофлоры, были начаты еще в XIX веке [Komulaynen, 2007]. Они активизировались в конце XX в., когда вблизи промышленных центров возникли зоны экологического неблагополучия. Примером многолетнего комплексного исследования стало оз. Иmandра. Альгологические исследования здесь в основном были сфокусированы на

водорослях планктона [Шаров, 2004; Денисов, Кашулин, 2013] и диатомеях донных отложений [Вокуева, Денисов, 2022]. В то же время анализу структуры фитоперифитона уделялось относительно мало внимания, хотя в ряде работ [Денисов и др., 2016] отмечено его таксономическое разнообразие. Причем известно, что группировки водорослей обрастаний служат чувствительным биоиндикатором изменений окружающей среды и вносят значительный вклад в общую продукцию автотрофов [Wetzel, 1979].

Целью настоящей работы являлся анализ таксономического состава, обилия и экологии фитоперифитона (эпилитона), формирующегося в литоральной зоне озера. Полученные данные необходимы для оценки современного состояния озера и для разработки программы экологического мониторинга.

Материалы и методы

Озеро Иmandра (67°21'–68°04' с. ш. и 31°52'–33°27' в. д.) – самый крупный водоем на Кольском полуострове. Длина озера 109 км,

средняя ширина 3,19 км, площадь 880,4 км², а площадь водосбора 12 300 км². Водоем разделен узкими протоками на три достаточно самостоятельных плеса – Большую, Экостровскую и Бабинскую Имандру. Географическое положение озера, сложная форма и режим питающих рек до начала индустриализации региона определяли его гидрохимический режим, типичный для субарктических водоемов Кольского полуострова.

С 30-х годов XX века озеро Имандра начало испытывать многофакторное антропогенное воздействие. Это стало следствием формирования на водосборе мощного индустриального комплекса, включающего горнодобывающую, горнометаллургическую промышленность и железорудное производство. Кроме того, строительство на реке Нива, единственном стоке из озера, трех ГЭС превратило озеро в Имандро-Пиренгское водохранилище, что резко изменило режим внутренних течений и нарушило естественный ход колебаний уровня воды. После введения в строй в 1973 г. на перешейке, разделяющем Экостровскую и Бабинскую Имандру, Кольской АЭС в губу Молочная стала сбрасываться подогретая вода [Dauvalter et al., 2025].

Материалом для настоящего исследования послужили пробы, отобранные в период с 25 по 28 августа 2023 г. на литорали Экостровской (ЭИ) и Бабинской (БИ) Имандры (рис.). Первая характеризуется как мезотрофная, а вторая близка к олиготрофному статусу, хотя губа Молочная, куда сбрасываются подогретые воды, описывается как переходная к мезо-олиготрофному статусу [Терентьева и др., 2017].

В период отбора проб температура воды на исследованных участках изменялась от 15 до 22 °С. Причем ее максимальные значения отмечены не в зоне поступления подогретых вод (ст. 4, 5), а на станциях 12–15. Это можно объяснить доминированием в августе 2023 г. южных и юго-западных ветров (58 %). Прозрачность воды изменялась от 5 до 7 м, минерализация от 58 до 70 мг/л, а pH колебался в пределах 7,1–7,3.

Пробы отбирались на каменистой литорали, где отсутствовала высшая водная растительность. На каждом из 15 выбранных участков пробы перифитона отбирали с пяти камней площадью примерно 10×15 см. Таким образом, на каждой станции площадь, с которой отбирался материал, составила около 750 см². В дальнейшем пробы анализировались по отработанной методике [Комулайнен, 2024].

Камеральная обработка проб включала таксономическую идентификацию, подсчет численности и замер индивидуальных объемов клеток водорослей с помощью микроскопа Olympus CX41 с цифровой камерой Esra (D30-D3Cplus). Классификация таксонов водорослей приведена по схеме, принятой в *Süßwasserflora von Mitteleuropa* с уточнением названий некоторых видов согласно современным сводкам. Порядки и семейства расположены в списке по системе, принятой в использованных определителях, а роды и виды в родах – по алфавиту.

Биомассу водорослей вычисляли счетно-объемным методом на основе определения индивидуального объема клеток. Это позволило оценить роль отдельных таксонов в формировании биомассы фитоперифитона.



Карта-схема оз. Имандра и расположение станций отбора проб
Schematic map of Lake Imandra and the location of sampling stations

Для оценки роли отдельных таксонов в формировании группировок вычисляли также частоту встречаемости (pF, %), доминирования (DF, %) и среднее относительное обилие видов по численности (N, %) и биомассе (B, %). Виды с удельным относительным обилием $\geq 10\%$ в перифитоне на отдельных участках отнесены к доминирующим. Стабильность структуры группировок оценивали с использованием индексов видового разнообразия (Пантле – Букка) и доминирования (Симпсона), а сходство – по коэффициенту Серенсена.

Экологическая характеристика и географическая приуроченность приводятся в основном по данным из работы С. С. Бариновой с соавт. [2006] и дополнена сведениями из других работ. Качество вод и их трофность оценивали по методу Пантле и Букка (IPB) и с применением трофического диатомового индекса – TDI.

Результаты и обсуждение

В фитоперифитоне озера Имандра определено 114 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 35 семействам, 67 родам и 7 отделам. Ниже приводится их список (в скобках указаны номера станций).

Отдел Cyanophyta/Cyanobacteria

Семейство Merismopediaceae Elenkin: *Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) Cronberg et Komarek – (2–4), *Coelosphaerium kuetzingianum* Nageli – (2, 13), *Synechocystis aquatilis* Sauvageau – (2), *Woronichinia naegiliana* (Unger) Elenkin – (3, 4, 6); **Семейство Microcystaceae Elenkin:** *Gloecapsa* sp. – (2), *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing – (2–6, 12); **Семейство Chroococcaceae Nägeli:** *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nageli – (3); **Семейство Scytonemataceae Rabenhorst ex Bornet et Flahault:** *Scytonema crispum* Bornet ex De Toni – (8); **Семейство Rivulariaceae Kützing ex Bornet et Flahault:** *Calothrix kossinskaja* Poljanskij – (6), *C. parietina* Thuret ex Bornet et Flahault – (15), *Dichothrix gypsophila* (Kützing) Bornet et Flahault – (1–15); **Семейство Microchaetaceae Lemmermann:** *Tolypothrix elenkinii* Hollerbach – (1–5, 9), *T. tenuis* Kützing ex Bornet et Flahault – (1–15); **Семейство Stigonemataceae Borzy:** *Stigonema informe* Kützing ex Bornet et Flahault – (15), *Stigonema mammosum* (Lyngbye) Agardh ex Bornet et Flahault – (1, 2, 5–7, 10); **Семейство Nostocaceae C. A. Agardh:** *Dolichospermum flos-aquae* (Brebisson) Waecklin et al. – (4), *Dolichospermum lemmermannii* (Richter) Waecklin et al. – (6, 15), *D. spiroides* (Klebahn) Waecklin et al. – (4, 6, 9, 13), *Fischerella muscicola* Gomont – (3), *Nodularia*

spumigena Mertens ex Bornet et Flahault – (1–5), **Семейство Pseudoanabaenaceae Anagnostidis et Komarek:** *Limnothrix planktonica* (Wołoszyńska) Meffert – (4), *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek – (3); **Семейство Phormidiaceae Anagnostidis et Komarek:** *Phormidium incrustatum* Gomont ex Gomont – (1), *Phormidium* sp. – (1), *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis et Komarek – (12, 15); **Семейство Oscillatoriaceae (S. F. Gray) Harvey ex Kirchner:** *Oscillatoria limosa* Agardh ex Gomont – (1, 3, 6).

Отдел Chrysophyta

Семейство Dinobryonaceae Ehrenberg: *Dinobryon bavaricum* O. E. Imhof – (1, 2, 13, 14), *D. divergens* O. E. Imhof – (1, 12);

Отдел Bacillariophyta

Семейство Stephanodiscaceae Gleser & Makarova: *Cyclotella meneghiniana* Kützing – (3, 6), *C. radiosa* (Grunow) Lemmermann – (1–5, 7, 9, 11), *C. rossii* Håkansson – (1, 4, 5), *C. stelligera* Cleve et Grunow – (1, 4, 11), *Stephanodiscus hantzschii* Grunow – (14) *S. minutulus* (Kützing) Cleve & Möller – (3), *S. rotula* (Ehrenberg) Hendey – (2, 3); **Семейство Melosiraceae Kützing:** *Melosira lineata* (Dillwyn) Agardh – (3), *M. varians* Agardh – (5); **Семейство Aulacoseiraceae R. M. Crawford:** *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen – (1–4, 9–11, 13), *A. italica* (Ehrenberg) Simonsen – (1–3, 7, 10, 15), *A. subarctica* (Otto Müller) E. Y. Haworth – (3, 13); **Семейство Rhizosoleniaceae Petit De Toni:** *Rhizosolenia longiseta* Zacharias – (13, 15); **Семейство Fragilariaceae Hustedt:** *Fragilaria capucina* Desmazieres – (1–15), *F. crotonensis* Kitton – (4–7, 9–13), *F. ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot – (1–6, 9–13), *Ceratoneis arcus* (Ehrenberg) Kützing – (1, 11), *Diatoma tenue* Agardh – (1), *D. vulgaris* Bory – (8, 9, 11, 13), *Meridion circulare* (Greville) Agardh – (13, 14), *Asterionella formosa* Hassall – (1), *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing – (1–15), *T. flocculosa* (Roth) Kützing – (1–15); **Семейство Eunotiaceae Kützing:** *Eunotia pectinalis* (Kützing) Ehrenberg – (11); **Семейство Achnantheaceae Kützing:** *Cocconeis placentula* Ehrenberg – (5, 7, 8, 11–13), *Eucocconeis flexella* (Kütz.) Brun – (5, 7, 8, 10, 11), *Achnanthes lanceolata* (Brebisson) Grunow – (1, 8), *A. minutissima* Kützing – (1–15); **Семейство Naviculaceae Kützing:** *Stauroneis anceps* Ehrenberg – (4, 12), *Navicula cryptocephala* Kützing – (1, 2, 6, 9, 11), *N. lanceolata* (Agardh) Ehrenberg – (3, 4), *N. radiosa* Kützing – (3, 12–15), *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni – (1–3), *Pinnularia gibba* Ehrenberg var. *gibba* – (3–6, 8, 9, 12), *P. nobilis* (Ehrenberg) Ehrenberg – (1–15), *P. viridis* (Nitzsch) Ehrenberg – (1, 3–7, 9–11, 14, 15), *Neidium dubium*

(Ehrenberg) Cleve – (4), *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing – (6), *Cymbella affinis* Kützing – (1–15), *C. aspera* (Ehrenberg) Peragallo – (15), *C. cessatii* (Rabenhorst) Grunow – (4, 5), *C. cistula* (Ehrenberg) Kirchner – (1), *C. cymbiformis* Agardh – (14), *C. helvetica* Kützing – (3), *C. lanceolata* (Ehrenberg) Kirchner – (1, 15), *C. naviculiformis* (Auerwald) Cleve – (5), *C. silesiaca* Blesch – (1, 4, 5), *C. turgida* (Ehrenberg) Hassall, – (1–15), *C. tumida* (Brébisson) van Heurck – (1–15), *C. tumidula* Grunow – (3), *Gomphonema acuminatum* Ehrenberg – (1–15), *G. clavatum* Ehrenberg – (2, 6, 11, 13), *G. parvulum* (Kützing) Kützing – (4–6, 11, 12), *G. truncatum* Ehrenberg – (1–15), *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt – (3, 4, 12, 13); **Семейство Epithemiaceae Grunow:** *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson – (1–15), *E. sorex* Kützing – (1–5, 9–11, 13, 14), *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller – (1–15); **Семейство Bacillariaceae Ehrenberg:** *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith – (4, 5), *N. linearis* (Agardh) W. Smith 1853 – (5, 6, 9); **Семейство Surirellaceae Kützing:** *Cymatopleura solea* (Brébisson) W. Smith – (4), *Surirella splendida* (Ehrenberg) Kützing 1844 – (1, 2, 5, 12).

Отдел Cryptophyta

Семейство Cryptomonadaceae Ehrenberg: *Cryptomonas* sp. – (6), **Семейство Pyrenomonadaceae G. Novarino & I. A. N. Lucas:** *Rhodomonas lacustris* Pascher et Ruttner – (6).

Отдел Dinophyta

Семейство Ceratiaceae Lindemann: *Cerati-um hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin – (1, 2, 4, 15), *Peridinium aciculiferum* Lemmermann – (3, 14), *P. gosslaviense* Woloszyńska – (3); **Семейство Gymnodiniaceae Lankester:** *Gymnodinium* sp. – (3).

Отдел Euglenophyta

Семейство Euglenaceae Klebs: *Euglena* sp. – (1, 6), *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg – (1, 3–6).

Отдел Chlorophyta

Семейство Hydrodictyaceae Cohn: *Pedias-trum borianum* (Turpin) Meneghini – (2, 4), *P. tetras* (Ehrenberg) Ralfs – (4); **Семейство Scenedesma-ceae Oltmanns:** *Scenedesmus bijugatus* Kützing – (1, 3, 4); **Семейство Microsporaceae Bohlin:** *Microspora amoena* (Kützing) Rabenhorst – (1–4, 8, 12–15), **Семейство Chaetophoraceae Greville:** *Chaetophora elegans* (Roth) C. Agardh – (9); **Семейство Coleochaetaceae Nägeli:** *Coleochaete scutata* Brébisson – (1); **Семейство Oedogoniaceae De Bory ex Hirn:** *Oedogonium* sp. – (1, 4, 6, 7, 11–13), *Bulbochaete* sp. – (3, 4, 8–15); **Семейство Mougeotiaceae Palla:** *Mougeotia* sp. (3); **Семейство Desmidiaceae Ralfs:** *Closterium acerosum* Ehrenberg ex Ralfs – (14, 15), *Cl. parvulum* Nägeli var. *Parvulum* – (9), *Cosmarium botrytis* Meneghini ex Ralfs – (10, 13), *Co. impressulum* Elfving – (10), *Co. punctulatum* Brébisson – (6, 9), *Co. reniforme* (Ralfs) W. Archer – (6, 9).

Выявленная альгофлора характеризуется значительной асимметрией на уровне отделов (табл. 1). Основа видового состава (94,8 %) сформирована представителями трех отделов: Cyanophyta, Bacillariophyta и Chlorophyta (104 вида). Водоросли остальных отделов включают только 10 видов. Большинство определенных видов типичны для альгофлоры перифитона Восточной Финляндии и постоянно присутствуют в водных экосистемах Мурманской области [Комулайнен, 2020].

Отдел Bacillariophyta, включающий 62 вида из 11 семейств, определяет видовое богатство, что является характерным для структуры фитоперифитона пресноводных систем. Ведущее положение в нем занимает семейство Naviculaceae (26 видов). Главная роль в формировании эпилитона принадлежит зигоморфным изопольным водорослям из родов *Tabellaria*,

Таблица 1. Таксономическая структура и пропорции альгофлоры перифитона озера Имандра
Table 1. Taxonomic structure and proportions of algoflora of the periphyton of Lake Imandra

Отделы Phylum	Fm		Gn		Sp		dSp	
	Sp	Sp%	Sp	Sp%	Sp	Sp%	Sp	Sp%
Цианопхита	11	31,4	20	29,9	27	23,7	0	0
Хризопхита	1	2,9	1	1,5	2	1,8	0	0,0
Бацилларифита	10	28,6	29	43,3	62	54,4	11	78,6
Криптофита	2	5,7	2	3,0	2	1,8	0	0
Динофита	2	5,7	3	4,5	4	3,5	0	0
Еугленопхита	1	2,9	2	3,0	2	1,8	0	0
Хлорофита	8	22,9	10	14,9	15	13,2	3	21,4
Всего Total	35	100	67	100	114	100	14	100

Примечание. Fm – семейства, Gn – роды, Sp – виды, dSp – доминирующие виды.

Note. Fm – families, Gn – genera, Sp – species, dSp – dominant species.

Fragilaria, *Achnanthes* и *Navicula*. Центрические диатомовые (семейства Melosiraceae, Stephanodiscaceae, Aulacoseiraceae и Rhizosoleniaceae) по числу видов занимают подчиненное положение в группировках обрастаний. В альгофлоре перифитона определено только шесть видов из родов *Cyclotella*, *Melosira*, *Aulacoseira* и *Rhizosolenia*. Однако некоторые из них достаточно постоянны: *Aulacoseira italica* (pF = 40,0 %) и *A. islandica* (pF = 53,3 %). Причем *A. islandica* – холодолюбивый, stenotherмный вид, часто достигающий массового развития в планктоне северных водоемов, доминирует в обрастаниях на одной из станций (ст. 10).

Обилие большинства синезеленых водорослей (Cyanophyta, Cyanoprokaryota), которые принадлежат к 11 семействам и 20 родам, невысоко, и ни один из видов не доминирует в альгоценозах. К особенностям эпилитона относилось разнообразие гормогониевых водорослей (59,1 %), среди которых постоянны водоросли родов *Dichothrix*, *Tolypothrix*, *Stigonema*. Эти таксоны успешно функционируют не только в водных, но и в наземных экосистемах, что позволяет формировать устойчивые группировки в водоеме, для которого характерны перепады уровня воды и обсыхание субстрата. Они не входят в доминирующий комплекс, но в некоторых пробах их численность достигала 20 % от суммарной. Отмечены в альгоценозах и виды синезеленых водорослей, способные вызывать цветение: *Dolichospermum lemmermannii*, *D. flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* и *Planktothrix agardhii*.

Среди 15 выявленных видов зеленых водорослей (Chlorophyta), относящихся к 7 семействам и 10 родам, только три таксона постоянны в альгоценозах перифитона. Во-первых, это не определенные до вида нитчатые зеленые водоросли из родов *Bulbochaete* (pF = 66,7 %) и *Oedogonium* (pF = 46,7 %). Они характерны для обрастаний в экосистемах Крайнего Севера и повсеместно присутствуют в олиготрофных водоемах бореальной зоны. Их постоянное присутствие в перифитоне свидетельствует о сходстве условий формирования альгофлоры. Следует также учесть, что обильное развитие именно нитчатых водорослей может создавать биопомехи в технических системах. Во-вторых, это *Microspora amoena* – вид, обычный как для планктонных, так и для донных альгоценозов в конце лета, который отмечен на 9 участках. Частое присутствие и разнообразие в альгоценозах десмидиевых водорослей свидетельствует об отсутствии значительных нарушений, вызванных антропогенной деятельностью на исследованных участках.

Водоросли отделов Chrysophyta, Dinophyta и Euglenophyta малоразнообразны, и хотя некоторые из таксонов типичные обитатели планктона (*Ceratium hirundinella*, *Dinobryon bavaricum* и *Trachelomonas volvocina*), достаточно постоянны в перифитоне (pF = 27–40 %).

Уровень сходства видового состава фитоперифитона на исследованных участках достаточно высок. Об этом свидетельствует значение коэффициента Серенсена, которое изменялось от 43 до 94 %, составляя в среднем 59 %. Общими для всех исследованных участков были 14 видов: *Dichothrix gypsophila*, *Tolypothrix tenuis*, *Fragilaria capucina*, *Tabellaria flocculosa*, *T. fenestrata*, *Achnanthes minutissima*, *Cymbella affinis*, *C. tumida*, *C. turgida*, *Gomphonema acuminatum*, *G. truncatum*, *Pinnularia nobilis*, *Epithemia adnata* и *Rhopalodia gibba*. Кроме того, еще 22 вида отмечены на половине исследованных участков. В то же время 38 видов (33,3 %) зарегистрированы только на одной и 20 (17,5 %) – на двух станциях. Это объясняет достаточно высокие значения индексов разнообразия Шеннона.

Характерной чертой фитоперифитона является четкое выделение группы доминантных видов. Доминирующий комплекс на отдельных исследованных участках включает от 1 до 5 таксонов (табл. 2). Причем часто разные виды доминируют по численности и биомассе. Это объясняется морфологическими особенностями водорослей, встречающихся в обрастаниях, представленных видами, заметно различающимися по размерам и объемам клеток.

К доминирующим видам отнесены 14 (12,3 %), из которых 7 доминируют по численности, а 12 по биомассе, формируя от 35 до 74 % от суммарной численности и от 48 до 81 % от суммарной биомассы. Причем 8 видов-доминантов (*Achnanthes minutissima*, *Fragilaria capucina*, *Tabellaria flocculosa*, *T. fenestrata*, *Cymbella affinis*, *C. tumida*, *C. turgida*, *Rhopalodia gibba*) были встречены на всех исследованных участках.

Значение численности водорослей в перифитоне достаточно высоко, а биомасса, как правило, заметно ниже наблюдаемой в конце биологического лета в водоемах региона. Это объясняется тем, что зеленые нитчатые водоросли не достигали высокого обилия, а ведущую роль в альгоценозах играли мелко-клеточные диатомеи: *Achnanthes minutissima* и *Fragilaria capucina* (pF = 60 и 67 % соответственно). Численность водорослей перифитона на исследованных участках изменялась от 195,2 до 13010,2 10^3 кл./см², а биомасса – от 6,8 до 202,7 мг/см².

В сложении биомассы основная роль также чаще принадлежит диатомовым водорослям.

Таблица 2. Общее количество видов (Sp), список доминирующих видов, индексы разнообразия (H), средние значения численности (N) и биомассы (B) для фитоперифитона исследованных участков озера Имандра

Table 2. Total number of species (Sp), list of dominant species, diversity indices (H), average abundance and bio-mass values for phytoperiphyton of the studied areas of Lake Imandra

Ст. St.	Sp	Численность / Abundance (N)			Биомасса / Biomass (B)		
		H	$\times 10^3$ кл./см ² $\times 10^3$ cells/cm ²	Доминанты / Dominant (N > 10 %)	H	мг/см ² mg/cm ²	Доминанты / Dominant (B > 10 %)
1	48	3,14	195,2	<i>Fragilaria capucina</i>	2,43	6,8	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Microspora amoena</i> <i>Coleochaete scutata</i>
2	41	2,92	1301,1	<i>Fragilaria capucina</i> <i>Cymbella affinis</i> <i>C. tumidula</i>	2,47	28,5	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Rhopalodia gibba</i> <i>Microspora amoena</i>
3	50	3,16	3252,5	<i>Fragilaria capucina</i> <i>Achnanthes minutissima</i>	2,34	106,9	<i>Fragilaria ulna</i> <i>Rhopalodia gibba</i> <i>Microspora amoena</i> <i>Mougeotia</i> sp.
4	49	3,14	3577,8	<i>Fragilaria capucina</i>	2,55	85,2	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Rhopalodia gibba</i> <i>Cymatopleura solea</i>
5	41	2,83	6505,3	<i>Fragilaria capucina</i> <i>Cymbella affinis</i>	2,46	99,6	<i>Fragilaria ulna</i> <i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Rhopalodia gibba</i>
6	38	2,95	7155,5	<i>Fragilaria capucina</i> <i>Cymbella affinis</i>	2,79	85,5	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Fragilaria ulna</i> <i>Rhopalodia gibba</i> <i>Epithemia adnata</i>
7	22	2,49	8456,5	<i>Fragilaria capucina</i> <i>Achnanthes minutissima</i>	2,34	109,6	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Rhopalodia gibba</i>
8	22	2,62	2602,3	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Fragilaria capucina</i> <i>Achnanthes minutissima</i>	2,41	41,6	<i>Tabellaria flocculosa</i>
9	31	2,56	2276,8	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>T. fenestrata</i> <i>Fragilaria capucina</i> <i>Achnanthes minutissima</i> <i>Cymbella affinis</i>	2,45	44,7	<i>Tabellaria fenestrata</i> <i>T. flocculosa</i> <i>Fragilaria ulna</i> <i>Rhopalodia gibba</i>
10	25	2,51	13 010,2	<i>Aulacoseira islandica</i> <i>Achnanthes minutissima</i> <i>Cymbella affinis</i>	2,68	202,7	<i>Aulacoseira islandica</i> <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>T. flocculosa</i>
11	31	2,47	2927,3	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Achnanthes minutissima</i> <i>Cymbella affinis</i>	2,60	41,1	<i>Aulacoseira islandica</i> <i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Fragilaria ulna</i>
12	29	2,60	3577,8	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Achnanthes minutissima</i> <i>Cymbella affinis</i>	2,45	85,1	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Didymosphenia geminata</i> <i>Microspora amoena</i>
13	33	2,72	1951,5	<i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Achnanthes minutissima</i> <i>Cymbella affinis</i>	2,44	53,1	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Didymosphenia geminata</i> <i>Rhopalodia gibba</i> <i>Microspora amoena</i>
14	24	2,42	1301,3	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Achnanthes minutissima</i> <i>Cymbella affinis</i>	2,20	27,3	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Rhopalodia gibba</i> <i>Microspora amoena</i>
15	29	2,39	2114,1	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Cymbella affinis</i>	2,40	40,2	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Rhopalodia gibba</i> <i>Bulbochaete</i> sp.

Наиболее часто по биомассе доминировали *Tabellaria flocculosa* и *Rhopalodia gibba*, индекс доминирования для которых равен соответственно 93,3 и 66,7 % по биомассе. Реже встречаются сообщества, в которых по биомассе преобладают зеленые водоросли (*Bulbochaete* sp. и *Microspora amoena*).

Экологический анализ структуры перифитона позволил выявить группировки водорослей, различающиеся по отношению к основным характеристикам (рН, соленость, органическое загрязнение, температура и др.), а также по способности обитать в потоке и по требовательности к концентрации кислорода в воде.

Большая часть выявленных видов – это бентосные в широком смысле формы, т. е. связанные с субстратом (40 % от общего количества таксонов), еще 31 % видов встречаются как в планктоне, так и в донных альгоценозах. Многие из этих таксонов (49,1 %) относят к прикрепленным (перифитонным) формам [Wetzel, 1979]. В перифитоне озера Имандра среди них нитчатые зеленые и синезеленые водоросли, а также разнообразные диатомеи родов *Tabel-laria*, *Cocconeis*, *Cymbella*, *Gomphonema* и ряда других. Наряду с донными формами в перифитоне в значительных количествах обнаружены планктонные формы (33 вида).

По приуроченности к температурному режиму в фитоперифитоне преобладали индифференты (72,0 %). Отмечены также эвритермные и холодноводные виды.

В биогеографическом отношении состав выявленных водорослей характеризуется высоким разнообразием космополитов (77 %), количество которых существенно превышает число арктоальпийских и бореальных видов.

Среди идентифицированных нами таксонов водорослей более 70 являются индикаторами acidификации и минерализации. Среди видов – индикаторов кислотности наиболее разнообразны алкалифилы (43,7 %) и индифференты (29,6 %). Особенностью структуры перифитона в озере Имандра является отсутствие комплекса ацидофильных форм. Это диатомеи родов *Eunotia*, *Frustulia* и *Pinnularia*, широко распространенные в водоемах с высокой заболоченностью водосборов, с высокой цветностью и с pH ниже 7. Диатомеи рода *Tabel-laria*, которые также входят в эту группу, хотя и встречаются на всех исследованных участках, но и их относительное обилие не превышает 40 %. В то время как во многих водоемах Восточной Финляндии их относительная численность и биомасса может превышать 90 % от суммарной. Это можно объяснить подщелачиванием вод в озере до 7,5.

По отношению к минерализации 77,1 % из перечня индикаторных видов – это индифференты, т. е. типичные обитатели пресных вод. Галофилы, предпочитающие воды с повышенной минерализацией, и галофобы составляют примерно по 10 %.

Среди индикаторов загрязнения воды органическими веществами (по системе Т. Ватанабе) в фитоперифитоне преобладали эврисапробы (58,7 %) – водоросли, устойчивые к органическому загрязнению, обычно развивавшиеся в слабо и умеренно загрязненных водах. Обитателей чистых и слабозагрязненных вод – сапроксенов – заметно меньше (40 %).

Значительное число в фитоперифитоне индикаторов сапробности по системе Сладечека (95 таксонов) позволило корректно провести сапробиологический анализ. Обитатели чистых вод – ксено- и олигосапробионты, а также обитатели переходной между ними (χ -о, о- χ) зоны выявлены в количестве 35 видов и формируют 36,8 % от общего числа найденных видов – индикаторов сапробности. Более половины индикаторов сапробности (54,7 %) являются видами с высокой степенью толерантности к содержанию органических веществ (χ - β , о- β , β , β -о, о- α) и могут успешно вегетировать как в чистых, так и в загрязненных органикой водах. Только 8 видов-индикаторов (*Stephanodiscus hantzschii*, *Melosira varians*, *Diatoma tenue*, *D. vulgaris*, *Fragilaria crotonensis*, *Amphora ovalis*, *Epithemia adnata*, *Closterium acerosum*) относятся к обитателям загрязненных и грязных вод (8,5 %). Рассчитанные по фитоперифитону индексы сапробности изменяются от 1,3 до 1,7, а значения трофического диатомового индекса (TDI) – от 1,7 до 2,1. Это объясняется доминированием в перифитоне ксеноолиго- и олигосапробных видов, что позволяет отнести исследованные участки к олигосапробной зоне.

Заключение

На исследованных участках литорали озера Имандра в перифитоне выявлено 114 видов водорослей. Фитоперифитон сформирован видами, характерными для ненарушенных экосистем северных водоемов.

Таксономический состав фитоперифитона с учетом средних значений индексов разнообразия и плотности формируемых группировок позволяет судить о достаточно высокой степени развития фитоперифитона, его жизненной активности, саморегуляции и относительной устойчивости.

Структура фитоперифитона исследованных участков озера Имандра в таксономическом, географическом и экологическом отношении достаточно гомогенна. Ее структура определяется в первую очередь географическим положением, топографией водосбора, морфометрией и гидрологическими характеристиками озера и исследованных участков литорали. Она отражает естественную биотопическую однородность исследованных участков.

Показатели видового разнообразия для всех исследованных участков достаточно высоки, а параметры количественного развития (численность, биомасса) – умеренные. Все это говорит в пользу представления о том, что в целом исследованные участки водоема

находятся в удовлетворительном (хорошем) состоянии.

Проведенные нами исследования не позволяют считать представленный список видов достаточно полным. Дополнить список видового состава, выявить сезонную динамику видовой структуры, численности и биомассы фитоперифитона помогут дальнейшие исследования в озере Имандра. Тем более что исследования выполнены только в южной части озера в течение короткого периода. Таксономическое богатство может значительно увеличиться также при изучении альгоценозов изолированных заливов, в которые поступают воды многочисленных водотоков.

Сапробиологический анализ фитоперифитона не выявил заметных пространственных различий в качестве воды на исследованных участках. Санитарно-биологический анализ качества вод показал, что исследованные участки согласно системе оценки качества вод по сапробности водорослей относятся к олигосапробной зоне самоочищения, II классу чистоты воды – практически чистые воды по классификации Сладечека.

Явного влияния теплового сброса КАЭС на структуру фитоперифитона нами не отмечено. Это может быть связано с тем, что большинство точек отбора располагались на значительном расстоянии от сбросного канала. Кроме того, очевидно, что на мелководье прибрежной зоны теплая вода быстро охлаждается под влиянием температуры воздуха.

Литература

Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.

Вокуева С. И., Денисов Д. Б. Пространственно-временная динамика диатомовых комплексов озера Имандра (Россия, Мурманская область) // Вопросы современной альгологии. 2022. № 2(29). С. 75–82. doi: 10.33624/2311-0147-2022-2(29)-75-82

Денисов Д. Б., Валькова С. А., Кашулин Н. А. Экологические особенности перифитона и зообентоса водных экосистем Хибинского горного массива (Кольский полуостров) // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 1/2. С. 165–175. doi: 10.21443/1560-9278-2016-1/2-165-175

Денисов Д. Б., Кашулин Н. А. Современное состояние водорослевых сообществ планктона в зоне влияния Кольской АЭС (оз. Имандра) // Труды Кольского научного центра РАН. Прикладная экология Севера. 2013. № 3(16). С. 70–96.

Комулайнен С. Ф. Альгоценозы бентоса и перифитона // Методы гидробиологических исследований внутренних вод / Ред. А. В. Крылов. Борок: ИБВВ РАН; Ярославль: Филигрань, 2024. С. 185–216.

Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон рек Мурманской области структура и использование при мониторинге // Труды Кольского научного центра РАН. Прикладная экология Севера. 2020. № 8. С. 58–68. doi: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.006

Терентьева И. А., Кашулин Н. А., Денисов Д. Б. Оценка трофического статуса субарктического озера Имандра // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 1/2. С. 197–204. doi: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.94-108

Шаров А. Н. Фитопланктон водоемов Кольского полуострова. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН; 2004. 113 с.

Dauvalter V. A., Sandimirov S. S., Denisov D. B., Demin V. I., Kashulin N. A., Terentyev P. M., Valkova S. A., Vandysh O. I., Koroleva I. M., Kudryavtseva L. P., Zubova E. M., Petrova O. V., Cherepanov A. A. Ecological state of Lake Imandra. Hydrological and geochemical conditions // Water Resources. 2025. Vol. 52(S1). P. S1–S147. doi: 10.1134/S0097807825700010

Komulaynen S. F. Algological studies of fluvio-lacustrine systems in the northern European part of Russia // Int. J. Algae. 2007. Vol. 9(2). P. 139–149. doi: 10.1615/InterJAlgae.v9.i2.40

Wetzel R. G. Periphyton measurements and applications // Methods and measurements of periphyton communities: A review / American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1979. P. 3–33.

References

Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. Diversity of algal indicators in environmental assessment. Tel Aviv: Pilies Studio; 2006. 498 P. (In Russ.)

Dauvalter V. A., Sandimirov S. S., Denisov D. B., Demin V. I., Kashulin N. A., Terentyev P. M., Valkova S. A., Vandysh O. I., Koroleva I. M., Kudryavtseva L. P., Zubova E. M., Petrova O. V., Cherepanov A. A. Ecological state of Lake Imandra. Hydrological and geochemical conditions. *Water Resources*. 2025;52(S1):S1–S147. doi: 10.1134/S0097807825700010

Denisov D. B., Kashulin N. A. The phytoplankton communities under the Kola nuclear power plant impact (Lake Imandra). *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Kola Science Centre of RAS*. 2013;3(16):70–96. (In Russ.)

Denisov D. B., Val'kova S. A., Kashulin N. A. Ecological peculiarities of periphyton and zoobenthos of freshwater ecosystems of the Khibiny massif (the Kola Peninsula). *Vestnik MGTU = Vestnik of MSTU*. 2016;19(1/2):165–175. (In Russ.). doi: 10.21443/1560-9278-2016-1/2-165-175

Komulaynen S. F. Algocenoses of benthos and periphyton. In the book. *Metody gidrobiol. issledovaniy vnutrennikh vod = Methods of hydrobiol. studies of inland waters*. Borok: IBVV RAS; Yaroslavl: Filigran'; 2024. P. 185–216. (In Russ.)

Komulaynen S. F. Algological studies of fluvio-lacustrine systems in the northern European part of Russia. *Int. J. Algae*. 2007;9(2):139–149. doi: 10.1615/InterJAlgae.v9.i2.40

Komulaynen S. F. Phytoperiphyton in rivers of the Murmansk Region: structure and use in monitoring. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions*

of the Kola Science Centre of RAS. 2020;8:58–68. (In Russ.). doi: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.006

Sharov A. N. Phytoplankton from the lakes of the Kola Peninsula. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2004. 113 p. (In Russ.)

Terentyeva I. A., Kashulin N. A., Denisov D. B. Estimate of the trophic status of subarctic Imandra Lake. *Vestnik MGTU = Vestnik of MSTU*. 2017;20(1-2):197–204. (In Russ.). doi: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.94-108

Vokueva S. I., Denisov D. B. Spatial and temporal dynamics of diatom assemblages of Lake Imandra (Russia, Murmansk Region). *Voprosy sovremennoi al'gologii = Issues of Modern Algology*. 2022;2(29):75–82. (In Russ.). doi: 10.33624/2311-0147-2022-2(29)-75-82

Wetzel R. G. Periphyton measurements and applications. *Methods and measurements of periphyton communities: A review*. Philadelphia; 1979. P. 3–33.

Поступила в редакцию / received: 16.04.2026; принята к публикации / accepted: 04.08.2026.
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Комулайн Сергей Федорович

д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник
лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных

e-mail: biology@krc.karelia.ru, komsf@mail.ru

CONTRIBUTOR:

Komulaynen, Sergey

Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher