

ФИТОПЕРИФИТОН ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ» (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ, РОССИЯ)

С. Ф. Комулайнен

Институт биологии Карельского научного центра РАН, Россия
e-mail: komsf@mail.ru

Поступила в редакцию: 13.03.2018

Исследования фитоперифитона были выполнены в водоемах и водотоках заповедника «Кивач» (Республика Карелия, Россия) и включали анализ таксономического состава, экологии и пространственной динамики. Выявлено 156 видов, разновидностей и форм водорослей из 5 отделов: Cyanophyta (Cyanoprokaryota) (21), Ochrophyta (96), Dinophyta (2), Euglenophyta (2), Chlorophyta (35). В статье обсуждаются основные принципы формирования структуры фитоперифитона. На основе анализа таксономического состава и структуры сообществ прикрепленных водорослей выявлены черты сходства их состава. Структура перифитона сформирована видами, заметно различающимися по размеру: от нескольких микрон до нескольких сантиметров. В фитоперифитоне доминируют типичные прикрепленные формы *Tabellaria flocculosa*, *Eunotia pectinalis*, *Cocconeis placentula* и *Achnanthes minutissima*. В то же время биомассу обрастаний формируют нитчатые зеленые водоросли *Cladophora glomerata*, *Mougeotia* sp., *Zygnema* sp. и *Bulbochaete* sp. Отмечено, что в эколого-географических спектрах водорослей преобладают широко распространенные олигогалобные виды, ацидофильные или индифферентные по отношению к pH среды. Относительное значение индикаторных видов в формировании группировок позволяет отнести воды исследованных водотоков и водоемов ко второму классу чистоты вод. Численность и биомасса водорослей изменялись в пределах $0.1\text{--}1301.1 \times 10^4$ кл./см² и 0.01–34.70 мг/см², соответственно.

Ключевые слова: водоемы, водотоки, заповедник «Кивач», таксономия, фитоперифитон, экология

Введение

Состояние окружающей среды в Республике Карелия в последние годы оценивается как стабильное. Случаи экстремально высокого загрязнения поверхностных вод суши не регистрируются (Громцев и др., 2016). Однако антропогенная трансформация водных объектов и их водосборов не прекращается. Это связано с продолжающейся рубкой леса, активным дорожным и дачным строительством и строительством новых ГЭС. Организация особо охраняемых природных территорий (ООПТ) – это эффективный способ обеспечения экологического равновесия и сохранения ценных природных комплексов. Применительно к водным объектам важно сохранение не просто чистой воды, а водных экосистем с населяющей их флорой и фауной (Revenga et al., 2005; Dudgeon, 2010; Komulainen, 2010). Это требует постоянного мониторинга, который должен включать инвентаризацию сообществ водных организмов, анализ особенностей их функционирования в естественных условиях и при различных видах антропогенного воздействия.

Водоросли в водных экосистемах занимают ведущее положение в структуре гидробиоценозов по количеству видов и их численности, создают большую часть суммарной первичной продукции

и лежат в основе пищевых цепей. Благодаря способности быстро реагировать на изменения условий среды водоросли и их группировки являются надежным объектом при оценке антропогенного влияния (Stevenson & Smol, 2003). Для малых водоемов и рек среди альгоценозов предпочтение часто отдается фитоперифитону, структурные характеристики которого представляются информативными при решении теоретических и прикладных задач типизации водоемов и проведении мониторинга (Kelly, 2013).

Цель работы: определение особенностей состава и сравнительная оценка количественных и структурных характеристик фитоперифитона в условиях разнотипных водоемов и водотоков заповедника «Кивач». Оценка современного состояния водных экосистем и получение фоновых данных для организации экологического мониторинга в регионе.

Материал и методы

Заповедник «Кивач», образованный в 1931 г., расположен между 62°13'41" и 62°21'14" с.ш. и 33°47'27" и 34°0'02" в.д. и в настоящее время представляет собой лесной массив протяженностью 12 км с севера на юг и 14 км с запада на восток. На долю рек и озер приходится около 10

км² (10% территории). Ориентировка речных долин, озерных и болотных котловин совпадает с направлением складок и разломов кристаллического фундамента (Ивантер, Тихомиров, 1988).

На территории заповедника расположены 14 озер. Озера Гимойлаampi, Мусталаampi, Рагуйлаampi и Чудесная Ламба – это типичные лесные озера, питание которых осуществляется за счет атмосферных осадков. Пандозеро – проточное озеро в системе реки Суна. Озера соединены хорошо развитой гидрографической сетью рек, постоянных ручьев и временных водотоков, действующих в весенний период и во время ливневых паводков. Основной водоток – река Суна – одна из крупнейших рек южной Карелии. Вторая по величине река на территории заповедника – Сандалка, лишившаяся стока из озера Сандал и питающаяся за счет стоков из болот, впадает в реку Суну в полукилометре южнее границы заповедника. На характер стока этих рек повлияли дамбы, устроенные при строительстве Кондопожской и Пальеозерской ГЭС в 1936 г. Они отрезали верховье водотоков и заметно снизили объем стока (Литвиненко, 1999). Существенная трансформация водной системы произошла также после прекращения в 1973 г. лесосплава на реке Суне и связанных с ней озерах. В результате произошло резкое снижение уровня воды и проточности озер. Источниками многочисленных ручьев являются болота (ручей Ческин), лесные озера (ручей Гимойоя) либо они имеют родниковое происхождение (ручей Опытный).

Альгофлора реки Суны впервые была исследована в 1927 г. В статье В.К. Чернова (1927) приводятся результаты обследования нижнего течения реки, расположенного за пределами заповедника. Отмечено доминирование в перифитоне нитчатых синезеленых (*Nostoc palmelioides* Kützing, *Oscillatoria sancta* Kützing, *Phormidium* spp.), зеленых (*Spirogyra* sp., *Oedogonium* spp., *Ulothrix zonata* (Weber & Mohr) Kützing) и желтозеленых (*Vaucheria* spp.) водорослей.

В.С. Порецким (1927) выполнены наблюдения за структурой и пространственной динамикой водорослевых обрастаний в районе водопада «Кивач». Автором отмечено влияние скорости течения воды на развитие различных водорослей и установлено, что в обрастаниях постоянными являются диатомовые водоросли, массовыми из которых в период наблюдения были *Ceratoneis arcus* (Ehrenberg) Kützing, *Eunotia pectinalis* Lange-Bertalot & U. Rumrich, *E. veneris* (Kützing) De Toni, *Gomphonema*

parvulum (Kützing) Kützing, *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing и *T. flocculosa* (Roth) Kützing.

Анализу структуры зеленых водорослей порядка Zygnematales в водоемах заповедника посвящена работа А.Ф. Лукницкой (2004), выполненная на основе сборов 1993 г. Автором приводится список 75 видов и внутривидовых разновидностей водорослей, относящихся к 19 родам.

Первый раз отбор проб фитоперифитона был выполнен в августе 2009 г. в реке Суна ниже водопада «Кивач», в верхнем течении реки Сандалка и ручья Ческин, а также в озере Гимойлаampi (Комулайнен и др., 2011). Было определено 65 видов и показано, что видовое богатство перифитона определяют диатомовые водоросли, в то время как основу биомассы формируют зеленые.

Материалом для настоящей статьи послужили сборы, выполненные в августе 2013 г. на 17 станциях в реках Суна, Сандалка, трех ручьях и пяти озерах (рис. 1) с камней (эпилитон) и макрофитов (эпифитон) по стандартным методикам (Комулайнен, 2003).

Расположение станций отбора проб было выбрано с тем расчетом, чтобы оценить закономерности формирования структуры альгоценозов на участках, различающихся по морфометрии и гидрологическому режиму. На каждой станции кроме качественных отбирали 3–5 количественных проб в зависимости от разнообразия субстратов. При составлении списка водорослей использованы результаты более ранних исследований 2009 г.

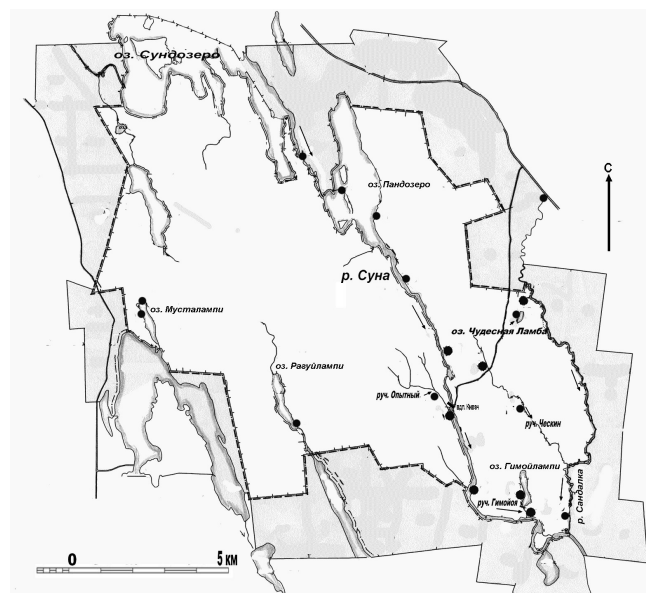


Рис. 1. Карта заповедника Кивач и расположение станций отбора проб.

Fig. 1. Map of the State Nature Reserve «Kivach»; dots show the selected study sites.

Одновременно проводился отбор проб речных вод для химического анализа, который включал определение основных параметров (цветность, содержание общего фосфора, электропроводность и рН) и был выполнен в лаборатории гидрохимии ИВПС Кар НЦ РАН.

Определение водорослей проводили с использованием микроскопа Olympus CX41 с цифровой камерой Eспа (D30-D3Cplus). При идентификации водорослей использовались отечественные и зарубежные определители пресноводных водорослей. Цианобактерии (синезеленые водоросли): Komárek & Fott (1983), Komárek & Anagnostidis (1998, 2005), Komárek (2013); диатомовые: Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a,b); золотистые: Starmach (1985); динофитовые: Киселев (1954); зеленые: Косинская (1952, 1960), Паламарь-Мордвинцева (1982, 1984), Мошкова (1986), Рундина (1998); красные: Eloranta & Kwandrans (2007); эвгленовые: Попова (1955). В общее число таксонов включены несколько нитчатых водорослей, находящихся в стерильной стадии и определенных до рода: *Mougeotia* sp. ster., *Zygnema* sp. ster., *Bulbochaete* sp. ster. и *Oedogonium* sp. ster.

Единой классификации водорослей до настоящего времени не существует, поэтому при составлении аннотированного списка водоросли расположены согласно схеме, принятой в выпусках «Süßwasserflora von Mitteleuropa» с уточнением названий некоторых видов по современным сводкам. В списке порядки, семейства и рода расположены по порядку, принятому в использованных определителях, а виды в родах по алфавиту.

Для оценки роли отдельных таксонов в формировании группировок вычисляли частоту встречаемости (pF), частоту доминирования (DF), средневзвешенное относительное обилие видов по численности (N %) и биомассе (B %). Виды с удельным относительным обилием $\geq 10\%$ в перифитоне конкретной реки и отдельных станций отнесены к доминирующему комплексу.

Стабильность структуры фитоперифитона устанавливалась с использованием индексов видовой разнообразия (Shannon & Weaver, 1963) и доминирования (Simpson, 1949). Качество вод и их трофность определялись по методу, предложенному Пантле и Букк (Pantle & Buck, 1955) и дополнялись применением Трофического диатомового индекса TDI (Kelly & Whitton, 1995). Сведения об экологической принадлежности водорослей взяты из работы С.С. Бариновой с соавторами (2006).

Концентрацию тяжелых металлов в воде и в нитчатых водорослях (*Mougeotia* sp. и *Zygnema* sp.) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (спектрофотометр «АА-7000 Shimadzu», Япония) с пламенной атомизацией (Suomen Standardisoimisliitto, 1990).

При кластерном анализе использовались данные об относительной численности видов. Группирование рек проводилось при помощи алгоритма Евклидовой дистанции с использованием метода Варда (Ward's method, пакет программ Statistica). Статистический анализ проводился с использованием пакетов программ Excel и Statistica

Результаты и обсуждение

Высокая озерность и заболоченность территории, доминирование карбонатных пород, слабое антропогенное воздействие формируют особенности химического режима исследованных водотоков и водоемов. Для них характерны низкая минерализация воды и ее гидрокарбонатно-кальциевый тип. Для большинства водоемов отмечена нейтральная реакция среды (рН 6.0–7.4) и только в озерах Гимойлампи и Чудесная Ламба значение рН снижается до 5.5 и 5.6. Цветность, как правило, меньше 40 градусов, достигая максимума в реке Сандалке и ручье Ческин, соответственно 160 и 270 градусов. Содержание общего фосфора не превышает 50 мкг Р/л и близко к региональным фоновым значениям для поверхностных вод Республики Карелия (Лозовик и др., 2006).

Концентрация тяжелых металлов в воде близка к наблюдаемой в не подверженных антропогенному влиянию водоемах и водотоках региона (Платонов, Лозовик, 2003). Только концентрации Zn в озере Гимойлампи и ручье Ческин (49 и 65 мкг/л) оказались выше средних значений, отмеченных ранее для водных объектов бассейна Онежского озера.

Видовое богатство и соотношение различных таксономических групп в альгоценозах является одним из основных показателей их структуры. Всего за период исследований в перифитоне исследованных водных объектов заповедника «Кивач» выявлено 156 видов водорослей рангом ниже рода, принадлежащих к пяти отделам, 8 классам, 16 порядкам, 38 семействам и 79 родам (табл. 1). В пробах, отобранных в водоемах, определено 93, а в водотоках – 123 вида.

Таблица 1. Список таксонов, выявленных в фитоперифитоне обследованных водоемов
Table 1. The list of taxa recorded in phytoplankton on chosen station

| Таксоны | Водные объекты |
|--|----------------|
| Отдел Cyanophyta (Cyanoprokaryota) | |
| Класс Cyanophyceae | |
| Порядок Chroococcales | |
| Семейство Merismopediaceae | |
| <i>Woronichinia naegeliana</i> (Unger) Elenkin | 2, 5, 9 |
| Семейство Microcystidaceae | |
| <i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing | 2, 5 |
| Порядок Synechococcales | |
| Семейство Chamaesiphonaceae | |
| <i>Chamaesiphon confervicolus</i> A. Braun | 2 |
| Порядок Nostocales | |
| Семейство Scytonemataceae | |
| <i>Scytonema crispum</i> (C. Agardh) Bornet | 2 |
| Семейство Rivulariaceae | |
| <i>Dichothrix gypsumphila</i> (Kützing) Bornet & Flahault | 2, 9 |
| Семейство Microchaetaceae | |
| <i>Tolypothrix elenkinii</i> Hollerbach | 2 |
| <i>Tolypothrix saviczii</i> Kossinskaja | 2 |
| <i>Tolypothrix tenuis</i> (Kützing) ex Bornet et Flahault | 8 |
| Семейство Nostocaceae | |
| <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault | 5, 9 |
| <i>Anabaena</i> sp. | 2, 9 |
| <i>Dolichospermum lemmermannii</i> (Richter) Wacklin, Hoffmann & Komárek | 7 |
| <i>Nostoc commune</i> Vaucher ex Bornet et Flahault | 2 |
| Порядок Stigonematales | |
| Семейство Hapalosiphonaceae | |
| <i>Hapalosiphon pumilus</i> Kirchner ex Bornet & Flahault | 2, 8 |
| Семейство Stigonemataceae | |
| <i>Stigonema mamillosum</i> (Lyngbye) C. Agardh ex Bornet & Flahault | 2 |
| Порядок Oscillatoriales | |
| Семейство Pseudanabaenaceae | |
| <i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn | 2 |
| Семейство Phormidiaceae | |
| <i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komarek | 2, 4, 6, 10 |
| Семейство Oscillatoriaceae | |
| <i>Oscillatoria limosa</i> Agardh ex Gomont | 4, 5 |
| <i>Oscillatoria tenuis</i> Agardh ex Gomont | 2 |
| <i>Oscillatoria</i> sp. 1 | 9 |
| <i>Oscillatoria</i> sp. 2 | 2, 7 |
| <i>Oscillatoria</i> sp. 3 | 2 |
| Отдел Ochrophyta | |
| Класс Chrysophyceae | |
| Порядок Ochromonadales | |
| Семейство Dinobryonaceae | |
| <i>Dinobryon bavaricum</i> O.E. Imhof | 2, 9 |
| <i>Dinobryon divergens</i> O.E. Imhof | 2 |
| <i>Dinobryon suecicum</i> Lemmermann | 2 |
| <i>Mallomonas</i> sp. | 2 |
| Класс Xanthophyceae | |
| Порядок Vaucheriales | |
| Семейство Vaucheriaceae | |
| <i>Vaucheria</i> sp. | 2 |
| Класс Bacillariophyceae | |
| Порядок Centrales | |
| Семейство Melosiraceae | |
| <i>Melosira varians</i> Agardh | 2, 5, 7, 9 |
| Семейство Thalassiosiraceae | |
| <i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen | 2 |
| <i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen | 2, 5, 9 |
| <i>Aulacoseira subarctica</i> (O. Müller) Haworth | 2, 3 |
| <i>Cyclotella comensis</i> Grunow | 2 |

| Таксоны | Водные объекты |
|--|-------------------|
| <i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing | 2 |
| <i>Cyclotella radiosa</i> (Grunow) Lemmermann | 2, 5 |
| <i>Cyclotella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Van Heurck | 2, 7 |
| <i>Cyclostephanos dubius</i> (Fricke) Round | 2 |
| Порядок Pennales | |
| Семейство Fragilariaceae | |
| <i>Tetracyclus glans</i> (Ehrenberg) Mills | 8, 9 |
| <i>Diatoma hyemalis</i> (Roth) Heiberg | 9 |
| <i>Meridion circulare</i> (Greville) C. A. Agardh | 2 |
| <i>Asterionella formosa</i> Hassall | 2, 9 |
| <i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing | 2, 5, 7, 9 |
| <i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing | 1, 2, 4–8, 10 |
| <i>Fragilaria arcus</i> (Ehrenberg) Cleve | 5 |
| <i>Fragilaria capucina</i> Desmazières var. <i>capucina</i> | 2, 5, 7, 9 |
| <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot | 2 |
| <i>Fragilaria construens</i> f. <i>binodis</i> (Ehrenberg) Hustedt | 2 |
| <i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton | 2 |
| <i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot | 2 |
| <i>Fragilaria virescens</i> Ralfs | 2 |
| <i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot | 1–8, 10 |
| Семейство Eunotiaceae Kützing | |
| <i>Eunotia lapponica</i> Grunow ex A. Cleve | 4, 9 |
| <i>Eunotia pectinalis</i> (Kützing) Rabenhorst var. <i>pectinalis</i> | 1–4, 6, 8–10 |
| <i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>undulata</i> (Ralfs) Rabenhorst | 5 |
| <i>Eunotia sudetica</i> O. Müller | 2 |
| Семейство Achnantheaceae | |
| <i>Achnanthes minutissima</i> Kützing | 2, 4, 9 |
| <i>Achnanthes subatomoides</i> (Hustedt) Lange-Bertalot & Archibald | 2 |
| <i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg | 2–4, 7 |
| <i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>placentula</i> | 2, 4, 5–8, 10 |
| <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck | 2 |
| Семейство Naviculaceae | |
| <i>Navicula angusta</i> Grunow | 4, 6, 9 |
| <i>Navicula bryophila</i> Boye Petersen | 2 |
| <i>Navicula cincta</i> (Ehrenberg) Ralfs | 8, 9 |
| <i>Navicula cryptocephala</i> Kützing | 1, 2, 5 |
| <i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot | 2, 5 |
| <i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg | 4 |
| <i>Navicula exigua</i> (Gregory) Grunow | 2, 3, 8 |
| <i>Navicula margalithii</i> Lange-Bertalot | 2 |
| <i>Navicula menisculus</i> Schumann | 2 |
| <i>Navicula radiosa</i> Kützing | 2 |
| <i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing | 2, 4, 8, 9 |
| <i>Navicula vulpina</i> Kützing | 3 |
| <i>Navicula</i> sp. | 2 |
| <i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg | 9 |
| <i>Anomoeoneis vitrea</i> (Grunow) Ross | 2 |
| <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni var. <i>rhomboides</i> | 1, 2, 4, 6, 8, 10 |
| <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> (Rabenhorst) De Toni | 2 |
| <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>viridula</i> (Brébisson) Cleve | 2 |
| <i>Neidium iridis</i> (Ehrenberg) Cleve | 9 |
| <i>Diploneis elliptica</i> (Kützing) Cleve | 3 |
| <i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst | 2, 9 |
| <i>Cymbella affinis</i> Kützing | 2 |
| <i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg) Kirchner | 2, 3, 7 |
| <i>Cymbella cymbiformis</i> C. Agardh | 3, 5 |
| <i>Cymbella elginensis</i> Krammer | 2 |
| <i>Cymbella gracilis</i> (Ehrenberg) Kützing | 2, 4, 9 |
| <i>Cymbella hebridica</i> (Grunow) Cleve | 2 |
| <i>Cymbella helvetica</i> Kützing | 2–4, 9 |
| <i>Cymbella heteropleura</i> (Ehrenberg) Kützing | 2 |
| <i>Cymbella prostrata</i> (Berkeley) Cleve | 2 |
| <i>Cymbella silesiaca</i> Bleisch | 2–4, 9 |

| Таксоны | Водные объекты |
|--|-------------------|
| <i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing | 2, 4 |
| <i>Amphora</i> sp. | 4 |
| <i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg | 2–5 |
| <i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg | 2, 7 |
| <i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>minutissimum</i> Hustedt | 2 |
| <i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing | 2, 4, 5, 9 |
| <i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg | 2, 3, 6, 7, 9, 10 |
| <i>Gomphonema ventricosum</i> Gregory | 1, 2 |
| <i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) M. Schmidt | 2 |
| <i>Pinnularia interrupta</i> W. Smith | 2, 3 |
| <i>Pinnularia molaris</i> (Grunow) Cleve | 2 |
| <i>Pinnularia major</i> (Kützing) Rabenhorst | 4,5,9 |
| <i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg | 4, 5, 9 |
| <i>Pinnularia</i> sp. | 2 |
| Семейство Bacillariaceae | |
| <i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W. Smith | 2 |
| <i>Nitzschia capitellata</i> Hustedt | 4 |
| <i>Nitzschia linearis</i> (C. Agardh) W. Smith | 3, 4 |
| <i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith | 3–5 |
| Семейство Epithemiaceae | |
| <i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson | 2–4, 7, 9 |
| <i>Epithemia sorex</i> Kützing | 2, 7 |
| <i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller | 2, 3, 7, 9 |
| Семейство Surirellaceae | |
| <i>Cymatopleura elliptica</i> (Brébisson) W. Smith | 2, 8 |
| <i>Surirella biseriata</i> Brébisson | 9 |
| <i>Surirella elegans</i> Ehrenberg | 2, 4 |
| <i>Surirella minuta</i> Brébisson | 5 |
| <i>Surirella ovalis</i> Brébisson | 2 |
| <i>Surirella robusta</i> Ehrenberg | 2, 9 |
| <i>Stenopterobia curvula</i> (W. Smith) Krammer | 9 |
| Отдел Dinophyta | |
| Класс Dinophyceae | |
| Порядок Peridinales | |
| Семейство Peridiniaceae | |
| <i>Peridinium cinctum</i> (O.F. Müller) Ehrenberg | 9 |
| <i>Ceratium hirundinella</i> (O.F. Müller) Dujardin | 2, 9 |
| Отдел Euglenophyta | |
| Класс Euglenophyceae Schoenichen | |
| Порядок Euglenales Bütschli | |
| Семейство Euglenaceae Carter | |
| <i>Trachelomonas intermedia</i> Dangeard | 7–9 |
| <i>Trachelomonas volvocina</i> Ehrenberg | 5, 7, 9 |
| Отдел Chlorophyta Reichenbach | |
| Класс Chlorophyceae Wille | |
| Порядок Chlorococcales Pascher | |
| Семейство Hydrodictyaceae Cohn 1880 | |
| <i>Pediastrum tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs | 2 |
| Семейство Botryococcaceae Wille | |
| <i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> Nägeli | 2 |
| Семейство Oocystaceae Bohlin | |
| <i>Oocystis lacustris</i> Chodat | 5, 7 |
| <i>Nephrocytium limneticum</i> (G.M. Smith) G.M. Smith | 7 |
| Семейство Chlorellaceae | |
| <i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs | 2 |
| Семейство Scenedesmaceae | |
| <i>Willea irregularis</i> (Wille) Schmidle | 7,8 |
| <i>Scenedesmus ecornis</i> (Ralfs) Chodat | 2, 5 |
| Порядок Microsprales | |
| Семейство Microsporaceae | |
| <i>Microspora amoena</i> (Kützing) Rabenhorst | 2, 4 |
| Порядок Oedogoniales | |
| Семейство Oedogoniaceae | |

| Таксоны | Водные объекты |
|---|----------------|
| <i>Bulbochaete</i> sp. | 8 |
| <i>Oedogonium</i> sp. | 5, 7, 9 |
| Класс Ulvophyceae | |
| Порядок Cladophorales | |
| Семейство Cladophoraceae | |
| <i>Cladophora glomerata</i> (Linnaeus) Kützing | 2, 5, 7, 9 |
| Порядок Ulotrichales | |
| Семейство Ulotrichaceae | |
| <i>Ulothrix zonata</i> (Weber & Mohr) Kützing | 2 |
| Класс Conjugatophyceae | |
| Порядок Zygnematales | |
| Семейство Zygnemataceae | |
| <i>Zygnema</i> sp. | 2, 5, 7 |
| <i>Mougeotia</i> sp. | 1, 2, 5 |
| Семейство Closteriaceae | |
| <i>Closterium delpontei</i> (Klebs) Wolle | 1, 6, 8 |
| <i>Closterium diana</i> e Ehrenberg | 2, 5, 6, 8, 10 |
| <i>Closterium kuetzingii</i> Brébisson | 2, 7 |
| <i>Closterium moniliferum</i> (Bory) Ehrenberg | 6, 7 |
| <i>Closterium strigosum</i> Brébisson | 9 |
| Семейство Desmidiaceae | |
| <i>Pleurotaenium minutum</i> (Ralfs) Hilse | 9 |
| <i>Staurastrum cingulum</i> (W. & G.S. West) G.M. Smith | 6 |
| <i>Staurastrum paradoxum</i> Meyen | 2, 9 |
| <i>Cosmarium brebissonii</i> Meneghini | 9 |
| <i>Cosmarium margaritifera</i> m Meneghini | 2, 5, 6, 10 |
| <i>Cosmarium</i> sp. | 2 |
| <i>Euastrum bidentatum</i> Nägeli | 5, 6, 7 |
| <i>Euastrum denticulatum</i> Gay | 2, 7 |
| <i>Euastrum pulchellum</i> Brébisson | 7 |
| <i>Micrasterias apiculata</i> Meneghini | 2, 5, 6, 10 |
| <i>Micrasterias truncata</i> Brébisson | 2 |
| <i>Hyalotheca dissiliens</i> Brébisson | 6, 7, 9 |
| <i>Desmidium swartzii</i> C. Agardh | 2, 5 |
| <i>Bambusina brebissonii</i> Kützing ex Kützing | 6, 7, 9 |
| Семейство Mesotaeniaceae | |
| <i>Cylindrocystis brebissonii</i> Meneghini | 6, 7, 9 |
| <i>Netrium digitus</i> (Brébisson) Itzigsohn & Rothe | 6, 7 |

Примечание: обозначения водных объектов: р. Сандалка (1), р. Суна (2), руч. Ческин (3), руч. Опытный (4), оз. Пандозеро (5), оз. Чудесная Ламба (6), оз. Гимойлампи (7), оз. Мусталампи (8), оз. Рагуйлампи (9), руч. Гимойя (10).

Note: designation of the selected water bodies and watercourses: Sandalka River (1), Suna River (2), Cheskin Brook (3), Opytnyj Brook (4), Pandozero Lake (5), Chudesnaya Lamba Lake (6), Gimoyjlampi Lake (7), Mutkalampi Lake (8), Ragujlampi Lake (9), Gimoyjoja Brook (10).

Выявленная альгофлора характеризуется сильной асимметрией на уровне отделов. Отдел Ochrophyta, включающий 96 видов из трех классов, находится на первом месте по видовому богатству. Ведущее положение в отделе занимает класс Bacillariophyceae, что является общей чертой структуры фитоперифитона пресноводных систем республики Карелия в целом и бассейна Онежского озера (Комулайнен, 2004б; Комулайнен и др., 2006; Комулайнен, 2009; Генкал, Комулайнен, 2015; Генкал и др. 2015), также как высокое разнообразие пеннатных диатомей. Центрические диатомовые (семейства Thalassiosiraceae и Melosiraceae) по числу видов занимают подчиненное по-

ложение в группировках обрастаний. В альгофлоре перифитона рек определено 9 видов родов *Cyclotella*, *Cyclostephanos*, *Melosira* и *Aulacoseira*. Среди них наиболее обычны *Melosira varians* Agardh и *Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen (pF = 31.6%). Водоросли классов Chrysophyceae и Xanthophyceae малообразны и имеют низкую встречаемость (pF = 5.3–10.5%).

Зеленые водоросли (Chlorophyta), представленные 35 видами, относящимися к 6 порядкам, 13 семействам и 24 родам, уступают по видовому разнообразию только диатомовым. Основу видового богатства составлял класс Conjugatophyceae (65.7%) благодаря раз-

нообразию водорослей семейств Desmidiaceae и Closteriaceae. Десмидиевые и кластериевые при достаточно высоком разнообразии встречаются в альгоценозах перифитона единично и не играют большой роли в формировании его структуры. Наиболее постоянны в сообществах были нитчатые зеленые водоросли *Ulothrix zonata* (pF = 31.6), *Cladophora glomerata* (Linnaeus) Kützing (pF = 36.8), *Zygnema* sp. (pF = 31.6) и *Mougeotia* sp. (pF = 42.1). Они относятся к «повсеместно распространенным» (по: Рундина, 1998), в олиготрофных водоемах бореальной зоны таксонам, в том числе в водных экосистемах республики Карелия (Komulainen, 2008). Их доминирование в перифитоне исследованных рек подчеркивает схожесть условий формирования альгофлоры.

Встречаемость большинства из выявленных видов синезеленых водорослей (Cyanophyta, Cyanoprokaryota), которые в систематическом отношении принадлежат к трем порядкам (Chroococcales – 22.4%; Oscillatoriales – 51.1%; Nostocales – 26.5%), восьми семействам и 19 родам, была невысокой. К числу распространенных в изученных местообитаниях можно отнести только *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault (pF = 21.1%) и *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komarek (pF = 26.3%), а десять определенных таксонов найдены в обрастаниях лишь один раз.

Водоросли остальных отделов (Dinophyta и Euglenophyta) представлены в фитоперифитоне всего пятью видами, которые встречаются в альгоценозах перифитона спорадически и единичны.

Набор ведущих семейств указывает на северное положение региона. Среди них основными по фитоценотическому значению являются Fragilariaceae – 14 видов, Naviculaceae – 48 и Desmidiaceae – 15. Суммарно они включают 77 таксонов, что составляет 49.4% от общего числа видов. Группа ведущих родов (19.9%) состояла из *Navicula* Bory – 13, *Cymbella* Agardh – 10 и *Fragilaria* Ehrenberg – 8 видов.

Структура группировок перифитона исследованных водотоков достаточно разнообразна в систематическом отношении: 17 видов водорослей (*Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Aulacoseira italica*, *Fragilaria arcus* (Ehrenberg) Cleve, *F. capucina* Desmazières, *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, *T. flocculosa* (Roth) Kützing, *Achnanthes minutissima* Kützing,

Cocconeis placentula Ehrenberg, *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson, *Eunotia pectinalis* (Kützing) Rabenhorst, *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni, *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller, *Microspora amoena* (Kützing) Rabenhorst, *Mougeotia* sp., *Zygnema* sp., *Bulbochaete* sp., *Cladophora glomerata*) отнесены нами к численным доминантам, из них 15 видов доминируют в перифитоне водотоков и 12 в водоемах (табл. 2).

Только три вида (*Tabellaria flocculosa*, *Eunotia pectinalis*, *Cocconeis placentula*) имеют встречаемость более 50%, в то же время пять видов доминируют только на одном из 17 исследованных участков. Размах колебаний численности водорослей в перифитоне достигал нескольких порядков: она изменялась от 0.1×10^4 кл./см² до 1301.5×10^4 кл./см² в водотоках и от 0.1×10^4 кл./см² до 310.0×10^4 кл./см² в водоемах.

Структура фитоперифитона сформирована видами, заметно отличающимися по размеру: от нескольких микрон до нескольких сантиметров, поэтому списки видов, доминирующих по численности и биомассе, заметно отличаются. Биомасса доминирующих видов изменялась от 0.01 мг/см² до 34.7 мг/см² субстрата в водотоках и от 0.01 мг/см² до 1.2 мг/см² в водоемах. К видам, доминирующим по биомассе, отнесены 11 видов, из них только шесть видов доминируют в водоемах и семь – в водотоках.

В водоемах наблюдаются более низкие значения плотности фитоперифитона, чем в водотоках. Это объясняется, тем, что в карельских небольших лесных озерах каменистая литораль, где создаются оптимальные условия для формирования обрастаний, отсутствует. Эпифитон же всегда менее разнообразен и имеет меньшую биомассу в сравнении с эпилитоном (Комулайнен, 2004а). Анализ таксономической структуры перифитона показал, что наибольшим количеством видов характеризовался эпилитон (обрастания водорослей на камнях), где отмечено 147 видов водорослей. Структура эпифитона (обрастаний водорослей на гидрофитах) менее разнообразна. Максимальным числом видов характеризовались обрастания на *Fontinalis antipyretica* Hedw. (47 видов), заметно превышая видовое богатство эпифитона на *Equisetum fluviatile* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Potamogeton perfoliatus* L. и *Nuphar lutea* (L.) Sm., где оно составляло 12–18 видов.

Таблица 2. Структура фитоперифитона в водоемах и водотоках заповедника «Кивач»
Table 2. The structure of phytoplankton in water bodies and watercourses of the State Nature Reserve «Kivach»

| Водотоки и водоемы | Видов | | N | B | H | I | P&B | TDI | |
|--------------------|-------|--|--|-------|-----|------|------|------|-------------|
| | Всего | Доминирующие | | | | | | | |
| | | по численности | | | | | | | по биомассе |
| Р. Сандалка | 18 | <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Mougeotia</i> sp. | <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Mougeotia</i> sp. | 9.1 | 0.9 | 1.61 | 0.37 | 0.57 | 3.00 |
| Р. Суна | 108 | <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Epithemia adnata</i> , <i>Cladophora glomerata</i> | <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Mougeotia</i> sp., <i>Zygnema</i> sp., <i>Cladophora glomerata</i> | 254.3 | 2.0 | 2.89 | 0.19 | 1.11 | 2.10 |
| Руч. Ческин | 28 | <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Microspora amoena</i> | <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Microspora amoena</i> | 22.5 | 0.1 | 1.72 | 0.48 | 0.44 | 2.32 |
| Руч. Опытный | 18 | <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Rhopalodia gibba</i> | <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Rhopalodia gibba</i> | 230.2 | 0.8 | 1.58 | 0.45 | 0.46 | 1.97 |
| Руч. Гимойоя | 28 | <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Frustulia rhomboides</i> | <i>Tabellaria flocculosa</i> | 23.2 | 0.6 | 1.72 | 0.48 | 0.44 | 2.32 |
| Оз. Пандозеро | 10 | <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Fragilaria arcus</i> | <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Oedogonium</i> sp. | 27.1 | 1.2 | 2.66 | 0.22 | 1.22 | 2.46 |
| Оз. Чудесная Ламба | 18 | <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Frustulia rhomboides</i> , <i>Epithemia adnata</i> , <i>Bulbochaete</i> sp. | <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Bulbochaete</i> sp. | 4.5 | 0.2 | 2.87 | 0.12 | 1.03 | 1.47 |
| Оз. Гимойлампи | 19 | <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Frustulia rhomboides</i> | <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Frustulia rhomboides</i> | 18.2 | 0.1 | 1.81 | 0.31 | 0.75 | 1.43 |
| Оз. Мусталампи | 31 | <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>T. flocculosa</i> , <i>Epithemia adnata</i> , <i>Rhopalodia gibba</i> | <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Zygnema</i> sp. | 153.4 | 0.9 | 2.37 | 0.24 | 1.24 | 2.13 |
| Оз. Рагуйлампи | 47 | <i>Aulacoseira italica</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Epithemia adnata</i> | <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Oedogonium</i> sp. | 180.0 | 1.1 | 3.56 | 0.08 | 1.23 | 1.74 |

Примечание: N (10^4 кл/см²) и B (мг/см²) – средние значения численности и биомассы; H – индекс разнообразия Шеннона, I – индекс доминирования Симпсона, P&B – индекс сапробности по Сладечку, TDI – трофический диатомовый индекс.

Сравнение таксономического состава фитоперифитона позволяет выделить три группы водных объектов (рис. 2).

Специфичность структуры в выделенных кластерах определяется разнообразием доминирующего комплекса. Группы А и В объединяют водотоки и озеро Гимойлампи, где доминирующий комплекс сформирован небольшим количеством видов. Для группы В, включающей все озера и реку Суну, отмечено более высокое разнообразие доминирующих видов, что объясняется более высоким биотопическим разнообразием.

Соотношение экологических групп водорослей в перифитоне исследованных водоемов и водотоков достаточно сходно. Структуру обрастаний формируют типичные прикрепленные формы (55–94%). На долю донных и план-

ктонных форм приходится на большинстве участков соответственно не более 25 и 20% видов. Но даже в перифитоне озер Гимойлампи, Мусталампи и Пандозеро, где разнообразны планктонные водоросли, по численности и биомассе доминируют настоящие прикрепленные формы (до 60–75%).

Низкое обилие планктонных форм связано с отсутствием «цветения» водорослей, при котором вызывающие его виды (*Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Anabaena* и *Oscillatoria*) осаждаются и начинают доминировать в обрастаниях (Комулайнен, 2016). Разнообразие десмидиевых планктонных водорослей, наблюдаемое в перифитоне исследованных озер, из-за их малочисленности не приводит к перестройке структуры сообщества.

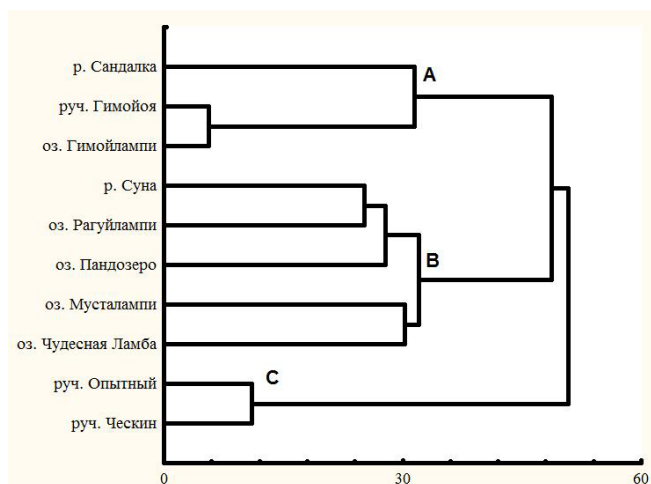


Рис. 2. Дендрограмма сходства фитоперифитона в водных объектах заповедника «Кивач».

Fig. 2. Dendrogram of similarity of phytoplankton in water bodies and watercourses of the State Nature Reserve «Kivach».

Состав выявленных водорослей в биогеографическом плане характеризуется высоким разнообразием космополитов (46) и бореальных видов (31), количество которых существенно превышает число арктоальпийских (10). Среди доминирующих видов доля космополитов в перифитоне озер (71%) и рек (72%) существенно выше остальных, они же доминируют по численности (до 80%).

Среди идентифицированных нами таксонов водорослей 72 являются индикаторами ацидификации. В наибольшем количестве в перифитоне исследованных водных объектов представлены индифференты, которые составляют 57–58% от всех индикаторных форм. Доля ацидофилов (11–38%) меньше отмеченной для алкалифилов (15–50%). Факт разнообразия алкалифилов в водоемах со слабокислой и нейтральной средой (в период наблюдения), возможно, объясняется неполнотой гидрохимических данных. Однако в озерах Гимойлампи и Чудесная Ламба, в водотоках и, особенно в ручье Гимойоя, где основными доминантами в перифитоне были *Tabellaria flocculosa* и *Frustulia rhomboides*, характерные для водных экосистем со слабокислой реакцией водной среды, на долю ацидофилов приходилось от 35 до 70% суммарной численности. Алкалибионты (два таксона) единичны.

По отношению к содержанию солей в воде также преобладают индифференты (82), что обусловлено низкой минерализацией. Галофилы насчитывали 11 видов, или 11.6% всех индикаторных видов (95), а галофобы – 14 видов, или 14.7% водорослей-индикаторов. В формировании суммарной численности роль галофобов в два раза выше, как в водотоках (33%), так и в водоемах

(38%). Среди видов-галофобов массового развития достигают *Tabellaria flocculosa*, *T. fenestrata*, *Fragilaria capucina* и *Frustulia rhomboides*. Из галофилов только *Cocconeis placentula* присутствует в перифитоне всех исследованных участков и часто доминирует (DF = 35%).

Качество или степень органического загрязнения воды обследованных озер и рек оценивали по выявленным видам-индикаторам сапробности (86 видов), большинство из которых относится к ксено-олигосапробным (14.9%), олигосапробным (19.8%), олиго-β-сапробным (14.9%) и β-мезосапробным (32.7%) формам. Ксеносапробы более разнообразны и чаще входят в состав доминирующего комплекса, чем виды-индикаторы повышенной трофности, поэтому значения индексов соответствуют олигосапробной зоне (табл. 3).

Показателем уровня антропогенной нагрузки на водные экосистемы является также увеличение концентрации тяжелых металлов в водорослях. Максимальные значения средних концентраций меди и цинка отмечены в перифитоне озера Пандозера, а свинца в реке Сандалка (табл. 4). Однако эти значения в большинстве случаев, ниже отмеченных нами ранее для рек Республики Карелии и, особенно для рек Мурманской области, подвергаемых интенсивному антропогенному воздействию (Komulaunen & Morigov, 2007, 2010).

Таблица 3. Значения индексов Пантле и Букк (P&B) и трофического диатомового индекса (TDI) для фитоперифитона водных объектов заповедника «Кивач»

Table 3. The index Pantle-Buck (P&B) and trophic diatom index (TDI) values water bodies and watercourses of the State Nature Reserve «Kivach»

| Индексы | Водоемы | Водотоки |
|---------|------------------|------------------|
| P&B | 1.09 (0.75–1.24) | 0.94 (0.57–1.48) |
| TDI | 1.85 (1.47–2.46) | 2.27 (1.20–3.00) |

Таблица 4. Средние значения концентрации тяжелых металлов в фитоперифитоне водоемов и водотоков заповедника «Кивач»

Table 4. Mean values of heavy metal concentrations in phytoplankton in water bodies and watercourses of the State Nature Reserve «Kivach»

| Водотоки и водоемы | Концентрация, мг/кг | | | | | | |
|--------------------|---------------------|-----|------|------|------|------|-----|
| | Cd | Pb | Cu | Zn | Ni | Co | Cr |
| Р. Суна | 0.6 | 4.5 | 19.6 | 41.8 | 13.6 | 7.0 | 6.4 |
| Р. Сандалка | 0.1 | 5.8 | 13.2 | 45.2 | 9.2 | 23.8 | 9.8 |
| Оз. Пандозеро | 0.8 | 5.5 | 21.6 | 51.8 | 6.6 | 4.1 | 3.2 |
| Оз. Мусталампи | 0.1 | 0.7 | 3.5 | 27.1 | 5.6 | 7.1 | 8.1 |

Заключение

Альгофлора перифитона водоемов и водотоков заповедника «Кивач» в таксономическом, географическом и экологическом отношении достаточно гетерогенна. Она представляет собой комплекс различных элементов, соотношение которых обусловлено природной зональностью, изменением климата в прошлую и современную эпохи, особенностями ландшафта и топографией водосборов, морфометрией и гидрологическими характеристиками рек и озер.

Структура фитоперифитона носит естественный характер и не связана с увеличением антропогенной нагрузки. Она отражает естественную биотопическую неоднородность исследованных водных объектов и их участков. Таксономический состав альгоценозов образований с учетом средних значений индексов разнообразия, плотности формируемых группировок позволяет судить о высокой степени их развития в озерах и реках, обладающих жизненной активностью, саморегуляцией и относительной устойчивостью.

Проведенный санитарно-биологический анализ качества вод показал, что обследованные водотоки и водоемы несут практически чистые воды, которые, согласно системе оценки качества вод по сапробности водорослей, относятся к олигосапробной зоне самоочищения, II классу чистоты воды – практически чистые воды по классификации Сладечека.

Кратковременный период наших наблюдений на исследованных водных объектах не позволяет считать список видов достаточно полным. Дальнейшие более детальные исследования помогут дополнить список видового состава, выявить сезонную динамику видовой структуры, численности и биомассы фитоперифитона.

Благодарности

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственных заданий №№ 0221-2014-0005, 0221-2014-0038 и 0221-2017-0045.

Литература

- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio. 498 с.
- Генкал С.И., Комулайнен С.Ф. 2015. К флоре *Vasillariophyta* рек бассейна Онежского озера // Ботанический журнал. Т. 100(1). С. 21–33.
- Генкал С.И., Чекръжева Т.А., Комулайнен С.Ф. 2015. Диатомовые водоросли водоемов и водотоков Карелии. М.: Научный мир. 202 с.
- Громцев А.Н., Кузнецов О.Л., Шкиперова Г.Т., Ильмаст Т.Б. (ред.). 2016. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2015 году. Петрозаводск: ООО «Два товарища». 300 с.
- Ивантер Э.В., Тихомиров А.А. 1988. Заповедник «Кивач» // Заповедники СССР. Заповедники европейской части РСФСР. Ч. 1. / В.Е. Соколов, Е.Е. Сыроечковский (ред.). М.: Мысль. С. 100–128.
- Киселев И.А. 1954. Пирофитовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 6. М.: Советская Наука. 212 с.
- Комулайнен С.Ф. 2003. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 43 с.
- Комулайнен С.Ф. 2004а. Фитоперифитон рек Республики Карелия // Ботанический журнал. Т. 89(3). С. 18–35.
- Комулайнен С.Ф. 2004б. Экология фитоперифитона малых рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск. 182 с.
- Комулайнен С.Ф. 2016. *Cyanophyta / Cyanoprokaryota* в перифитоне рек Восточной Фенноскандии: роль в экосистемах, опыт изучения и проблемы // Труды Кольского научного центра РАН. Прикладная экология. №7–4(41). С. 14–23.
- Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Барышев И.А., Сластина Ю.Л. 2011. Структура гидробиоценозов некоторых водоемов заповедника «Кивач» // Труды Государственного природного заповедника «Кивач». Вып. 5. С. 155–165.
- Комулайнен С.Ф., Чекръжева Т.А., Вислянская И.Г. 2006. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 78 с.
- Косинская Е.К. 1952. Конъюгаты, или сцеплянки (I): Мезотениевые и гонатозиговые водоросли. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 164 с.
- Косинская Е.К. 1960. Десмидиевые водоросли. Конъюгаты, или сцеплянки. Флора споровых растений СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР. Т. 5(1). Вып. 1. 706 с.
- Литвиненко А.В. 1999. К истории гидроэнергетического освоения водных объектов Карелии // Экологические исследования природных вод Карелии / под ред. Н.Н. Филатова, А.К. Морозова, В.И. Кухарева, Ю.А. Сало, Т.И. Регеранд. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 21–27.
- Лозовик П.А., Шкиперова О.Ф., Зобков М.Б., Платонов А.В. 2006. Геохимические особенности поверхностных вод Карелии и их классификация по химическим показателям // Труды Карельского НЦ РАН. Вып. 9. С. 130–143.
- Лукницкая А.Ф. 2004. К флоре водорослей заповедника «Кивач» (Карелия, Россия) // Новости систематики низших растений. Вып. 37. С. 48–52.

- Мошкова Н.А. 1986. Зеленые водоросли. Класс Улотриковые (1). Порядок улотриковые // Определитель пресноводных водорослей СССР / под ред. Н.А. Мошкова, М.М. Голлербах. Вып. 10. Л.: Наука. 360 с.
- Паламарь-Мордвинцева Г.М. 1982. Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые (2) // Определитель пресноводных водорослей СССР / под ред. Н.А. Мошкова, М.М. Голлербах. Вып. 11. Л.: Наука. 620 с.
- Паламарь-Мордвинцева Г.М. 1984. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Вип. VIII. Кон'югати. Ч. 1. Киев: Наукова Думка. 512 с.
- Платонов А.В., Лозовик П.А. 2003. Тяжелые металлы в природных водах Карелии // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов / под ред. Н.Н. Филатова, Т.И. Регеранда, В.Х. Лифшица, Ю.В. Карпечко. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 125–132.
- Попова Т.Г. 1955. Эвгленовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 7. М.: Советская наука. 283 с.
- Порецкий В.С. 1927. Материалы к изучению обрастаний в водоемах Карелии. 1. Обрастание в текущих водах // Труды Бородинской биологической станции. Т. 5. С. 101–134.
- Рундина Л.А. 1998. Зигнемовые водоросли России (Chlorophyta: Zygnematophyceae, Zygnematales). СПб.: Наука. 351 с.
- Чернов К.В. 1927. Результаты гидробиологического обследования рек Суны, Шуи, Лососинки и Косалмского протока // Труды Бородинской биологической станции. Т. 5. С. 190–202.
- Dudgeon D. 2010. Prospects for sustaining freshwater biodiversity in the 21st century: linking ecosystem structure and function David Dudgeon // Current Opinion in Environmental Sustainability. Vol. 2(5–6). P. 422–430.
- Eloranta P., Kwandrans. J. 2007. Freshwater red algae (Rhodophyta) Identification guide to European taxa, particularly to those in Finland. Saarijrvien: Saarijrvien Offset Oy. 103 p.
- Kelly M. 2013. Data rich, information poor? Phytobenthos assessment and the Water Framework Directive // European Journal of Phycology. Vol. 48. P. 437–450. DOI: 10.1080/09670262.2013.852694
- Kelly M.G., Whitton B.A. 1995. The trophic Diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers // Journal of Applied Phycology. Vol. 7. P. 433–444. DOI: 10.1007/BF00003802
- Komárek J. 2013. Cyanoprokaryota (3): Heterocytous Genera // Süßwasserflora von Mitteleuropa Vol. 19(3) / B. Büdel, G. Gärtner, L. Krienitz, M. Schagerl (Eds.). Berlin: Spektrum Akademischer Verlag. 1130 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 1998. Cyanoprokaryota (1): Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa 19(1) / H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.). Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm: Gustav Fischer. 548 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokaryota (2): Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa 19(2) / B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner, M. Schagerl (Eds.). Heidelberg: Elsevier/Spektrum. 759 p.
- Komárek J., Fott B. 1983. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung Chlorococcales // Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie 7(1) / G. Huber-Pestalozzi (Ed.). Stuttgart: E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung. 1044 p.
- Komulaynen S. 2008. The green algae as structural element of phytoplankton communities in streams of the Northwestern Russia // Biology. Vol. 63(6). P. 859–865. DOI: 10.2478/s11756-008-0113-0
- Komulaynen S. 2009. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia // Studi Trentini di Scienze Naturali. Vol. 84. P. 153–160.
- Komulaynen S. 2010. Algal protection, conservation areas and red data book of the Republic of Karelia // Oceanological and Hydrobiological Studies. Vol. 39(2). P. 147–152. DOI: 10.2478/v10009-010-0028-2
- Komulaynen S., Morozov A. 2007. Spatial and temporal variation of heavy metal levels in phytoplankton in small streams of Northwest Russia // Archiv für Hydrobiologie. Supplement 161(3–4). P. 435–442.
- Komulaynen S., Morozov A. 2010. Heavy metal dynamics in the periphyton in small rivers of Kola Peninsula // Water Resources. Vol. 37(6). P. 874–878.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae: Naviculaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2(1) / H. Ettl, G. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.). Jena: Gustav Fischer Verlag. 860 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2(2) / H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.). Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag. 596 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2(3) / H. Ettl, G. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.). Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 576 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema* Gesamtliteraturverzeichnis // Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd 2(4) / H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.). Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 437 p.
- Pantle R., Buck H. 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserfach. Vol. 96(18). 604 p.
- Revenga C., Campbell I., Abell R., Villiers P., Bryer M. 2005. Prospects for monitoring freshwater ecosystems towards the 2010 targets // Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences. Vol. 360. P. 397–413. DOI: 10.1098/rstb.2004.1595
- Simpson E.H. 1949. Measurement of diversity // Nature. Vol. 163. P. 688. DOI: 10.1038/163688a0

- Shannon C.B., Weaver W. 1963. The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois): University of Illinois Press. 345 p.
- Starmach K. 1985. Chrysophyceae und Haptophyceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 1 / H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.). Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. 515 p.
- Stevenson R.J., Smol J.P. 2003. Use of algae in environmental assessments // Freshwater Algae of North America, Ecology and Classification / J.D. Wehr, R.G. Sheath (Eds.). San Diego: Academic Press. P. 775–804.
- Suomen Standardisoimislitto. 1990. Water analysis. Metal content of biological material determined by atomic absorption spectrometry. Digestion. Standard SFS 5075. Helsinki: SFS. 134 p.
- ### References
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. 2006. Diversity of algal indicators in the environmental assessment. Tel Aviv, Israel: Pilies Studio. 498 p. [In Russian]
- Chernov K.V. 1927. The results of the survey of hydrobiological rivers Suna, Shuya, Lososinka and Kosolma strait. *Trudy of Freshwater Borodino biological station* 5: 101–134. [In Russian]
- Dudgeon D. 2010. Prospects for sustaining freshwater biodiversity in the 21st century: linking ecosystem structure and function. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2: 422–430.
- Eloranta P., Kwandrans. J. 2007. *Freshwater red algae (Rhodophyta) Identification guide to European taxa, particularly to those in Finland*. Saarijrvien: Saarijrvii Offset Oy. 103 p.
- Genkal S.I., Chekryzheva T.A., Komulainen S.F. 2015. *Diatom algae in waterbodies and watercourses of Karelia*. Moscow: Nauchnyi Mir. 202 p. [In Russian]
- Genkal S.I., Komulaynen S.F. 2015. New data on the flora of Bacillariophyta In: the rivers of the Onega Lake basin. *Botanicheskiy Zhurnal* 100(1): 21–33. [In Russian]
- Gromtsev A.N., Kuznetsov O.L., Shkiperova G.T., Ilmast T.B. (Eds.). 2016. *State report on status of environment in the Republic of Karelia in 2015*. Petrozavodsk: Publisher «Dva tovarishcha». 300 p. [In Russian]
- Ivanter E.V., Tikhomirov A.A. 1988. Nature Reserve «Kivach» In: V.E. Sokolov, E.E. Sihroechkovskiy (Eds.): *Protected Areas of USSR*. Moskow: Mysl. P. 100–128. [In Russian]
- Kelly M. 2013. Data rich, information poor? Phytobenthos assessment and the Water Framework Directive. *European Journal of Phycology* 48: 437–450. DOI: 10.1080/09670262.2013.852694
- Kelly M.G., Whitton B.A. 1995. The trophic Diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* 7: 433–444. DOI: 10.1007/BF00003802
- Kiselev I.A. 1954. Pyrrophyta. In: *Manual of Freshwater algae of the USSR. Vol. 6*. Moscow: Sovetskaya Nauka Press. 212 p. [In Russian]
- Komárek J. 2013. Cyanoprokaryota 3. Teil: Heterocytous Genera. In: B. Büdel, G. Gärtner, L. Krienitz, M. Schagerl (Eds.): *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Vol. 19/3*. Spektrum Akademischer Verlag. 1130 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 1998. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. In: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.): *Süßwasserflora von Mitteleuropa Vol. 19/1*. Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm: Gustav Fischer. 548 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales. In: B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner, M. Schagerl (Eds.): *Süßwasserflora von Mitteleuropa Vol. 19/2*. Heidelberg: Elsevier/Spektrum. 759 p.
- Komárek J., Fott B. 1983. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung Chlorococcales. In: G. Huber-Pestalozzi (Ed.): *Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. Vol. 7(1)*. Stuttgart: E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung. 1044 p.
- Komulaynen S.F. 2003. Recommendations for Studying Phytoplankton in Small Rivers. Petrozavodsk: Karelian RC RAS. 43 p. [In Russian]
- Komulaynen S.F. 2004a. Phytoplankton in rivers of Republic of Karelia. *Botanicheskiy Zhurnal* 89(3): 18–35. [In Russian]
- Komulaynen S.F. 2004b. *Ecology of attached algal communities in small rivers of East Fennoscandia*. Petrozavodsk: Karelian RC RAS. 182 p. [In Russian]
- Komulaynen S. 2008. The green algae as structural element of phytoplankton communities in streams of the Northwestern Russia. *Biology* 63(6): 859–865. DOI: 10.2478/s11756-008-0113-0
- Komulaynen S. 2009. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia. *Studi Trentini di Scienze Naturali* 84: 153–160.
- Komulaynen S. 2010. Algal protection, conservation areas and Red Data Book of the Republic of Karelia. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 39(2): 147–152. DOI: 10.2478/v10009-010-0028-2
- Komulaynen S.F. 2016. Cyanophyta/Cyanoprokaryota in periphyton in rivers of eastern Fennoscandia: role in ecosystems, research experience and problems. *Proceedings of Kola Science Centre. Applied Ecology of the North* 216(4): 14–23. [In Russian]
- Komulaynen S., Morozov A. 2007. Spatial and temporal variation of heavy metal levels in phytoplankton in small streams of Northwest Russia. *Archiv für Hydrobiologie Suppl.* 161(3–4): 435–442.
- Komulaynen S., Morozov A. 2010. Heavy metal dynamics in the periphyton in small rivers of Kola Peninsula. *Water Resources* 37(6): 874–878.
- Komulaynen S.F., Chekryzheva T.A., Vislyanskaya I.G. 2006. *Algae flora Lakes and rivers of Karelia. Taxonomic composition and ecology*. Petrozavodsk: Karelian RC RAS. 78 p. [In Russian]

- Komulainen S.F., Kruglova A.N., Baryshev I.A., Slastina Y.L. 2011. The structure of hydrobiont communities in some water reservoirs in the State Nature Reserve «Kivach». *Proceedings of the State Nature Reserve «Kivach»* 5: 155–165. [In Russian]
- Kossinskaja E.K. 1952. *Conjugate, Mesotaeniales et Gonatozygales. Flora plantarum Cryptogamarum*. Vol. 2(1). Moscow – Leningrad: AS USSR Press. 164 p. [In Russian]
- Kossinskaja E.K. 1960. *Conjugate, Desmidiiales. Flora plantarum Cryptogamarum*. Vol. 5(1). Moscow – Leningrad: AS USSR Press. 706 p. [In Russian]
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae: Naviculaceae. In: H. Ettl, G. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.): *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Vol. 2/1. Jena: Gustav Fischer Verlag. 860 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.): *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Vol. 2/2. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag. 596 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: H. Ettl, G. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.): *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Vol. 2/3. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 576 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis. In: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.): *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Vol. 2/4. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 437 p.
- Litvinenko A.V. 1999. The history of hydroelectric development of water objects of Karelia. In: N.N. Filatov, A.K. Morozov, V.I. Kukharev, Yu.A. Salo, T.I. Regerand (Eds.): *Ecological studies of natural waters of Karelia*. Petrozavodsk: Karelian RC RAS. P. 21–27. [In Russian]
- Lozovik P.A., Shkiperova O.F., Zobkov M.B., Platonov A.V. 2006. Geochemical features of Karelian surface waters and their classification by chemical characteristics. *Proceedings of Karelian Research Centre of RAS* 9: 130–143. [In Russian]
- Luknitskaya A.F. 2004. Flora of algae of the reserve «Kivach» (Karelia, Russia). *Novosti Sistematiki Nizshikh Rastenii* 37: 48–52. [In Russian]
- Moshkova N.A. 1986. Green algae. Class Conjugatophyceae. Order Desmidiiales. 2. In: N.A. Moshkova, M.M. Gollerbakh (Eds.): *Manual of Freshwater algae of the USSR*. Vol. 10. Leningrad: Nauka. 360 p. [In Russian]
- Palamar-Mordvintseva G.M. 1984. *Identification of freshwater algae of Ukraine*. Vol. 8(1). Kiev: Naukova dumka. 512 p. [In Ukrainian]
- Palmar-Mordvinceva G.M. 1982. Green algae. Class Conjugatophyceae. Order Desmidiiales. 2. In: N.A. Moshkova, M.M. Gollerbakh (Eds.): *Manual of Freshwater algae of the USSR*. Vol. 11(2). Leningrad: Nauka. 620 p. [In Russian]
- Pantle R., Buck H. 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas und Wasserfach* 96(18): 1–604.
- Platonov A.V., Lozovik P.A. 2006. Heavy metals in natural waters of Karelia. In: N.N. Filatov, T.I. Regerand, V.Kh. Lifshits, Yu.V. Karpechko (Eds.): *Hydroenvironmental problems of Karelia and use of water resources*. Petrozavodsk: Karelian RC RAS. P. 125–132. [In Russian]
- Popova T.G. 1955. Euglenophyta. In: *Manual of Freshwater algae of the USSR*. Vol. 7. Leningrad: Nauka. 283 p. [In Russian]
- Poretskiy V.S. 1927. Materials for studying the fouling in the waterbodies of Karelia. 1. Fouling in flowing waters. *Trudy of Freshwater Borodino biological station* 5: 101–134. [In Russian]
- Revenga C., Campbell I., Abell R., Villiers P., Bryer M. 2005. Prospects for monitoring freshwater ecosystems towards the 2010 targets. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 360: 397–413. DOI: 10.1098/rstb.2004.1595
- Rundina L.A. 1988. *The Zygnematales of Russia (Chlorophyta: Zygnematophyceae, Zygnematales)*. Saint-Petersburg: Nauka. 351 p. [In Russian]
- Shannon C.B., Weaver W. 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana (Illinois): University of Illinois Press. 345 p.
- Simpson E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688. DOI: 10.1038/163688a0
- Starmach K. 1985. *Chrysophyceae und Haptophyceae*. In: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.): *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Vol. 1. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. 515 p.
- Stevenson R.J., Smol J.P. 2003. Use of algae in environmental assessments. In: J.D. Wehr, R.G. Sheath (Eds.): *Freshwater Algae of North America, Ecology and Classification*. San Diego: Academic Press. P. 775–804.
- Suomen Standardisoimisliitto. 1990. *Water analysis. Metal content of biological material determined by atomic absorption spectrometry*. Digestion. Standard SFS 5075. Helsinki: SFS. 134 p.

PHYTOPERIPHYTON OF WATER BODIES AND WATER COURSES OF THE STATE NATURE RESERVE «KIVACH» (REPUBLIC OF KARELIA, RUSSIA)

Sergey F. Komulaynen

*Institute of Biology of Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Russia
e-mail: komsf@mail.ru*

The study of phytoperiphyton communities in waterbodies and watercourses typical for the State Nature Reserve «Kivach» (Republic of Karelia, Russia) included the analysis of their taxonomy composition, ecology and space distribution such as abundance. In total, 156 species were identified from different substrates, belonging to Cyanophyta (Cyanoprokaryota) (21), Ochrophyta (96), Dinophyta (2), Euglenophyta (2), Chlorophyta (35). The paper has discussed the main principles of structure formation of phytoperiphyton communities in rivers. Based on the analysis of taxonomic composition and structure of attached algal communities the similarity features in community composition were revealed. The lists of species dominating in terms of abundance and biomass differ appreciably. Phytoperiphyton communities, dominated by typical attached forms such as *Tabellaria flocculosa*, *Eunotia pectinalis*, *Cocconeis placentula*, and *Achnanthes minutissima* were most common and abundant. However, the bulk of biomass was formed mainly by the filamentous green algae *Cladophora glomerata*, *Mougeotia* sp., *Zygnema* sp., and *Bulbochaete* sp. We indicated that ecological-geographical composition of algae is dominated by widespread oligohalobic species being acidophilic or indifferent to medium pH. According to the assessments, water in lakes and one brook belonged to the oligosaprobic type and class II of water purity. Periphyton abundance and biomass in waterbodies studied ranging from 0.1×10^4 cell cm^{-2} to 1301.1×10^4 cell cm^{-2} and 0.01 mg/cm^{-2} to 34.70 mg/cm^{-2} .

Key words: ecology, phytoperiphyton, State Nature Reserve «Kivach», taxonomy, waterbodies, watercourses