

Фитоперифитон водотоков бассейна Белого моря (Мурманская область, Республика Карелия, Россия)

Комулайнен С.Ф.

Институт биологии Карельского НЦ РАН,
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск 185910, Республика Карелия, Россия
komsf@mail.ru

Поступила в редакцию 17.06.2020. После доработки 09.08.2020.

Подписана в печать 11.08.2020. Опубликована 24.12.2020

Реферат. Обобщены и проанализированы результаты исследований фитоперифитона в 92 водотоках бассейна Белого моря. Выявлено 540 таксонов рангом ниже рода из 6 отделов: *Cyanophyta* (*Cyanoprokaryota*) – 76, *Ochrophyta* – 374, *Euglenophyta* – 3, *Dinophyta* – 4, *Rhodophyta* – 8 и *Chlorophyta* – 75. Отмечены основные по фицотенотическому значению семейства: *Fragilariaceae* – 39 видов, *Eunotiaceae* – 36, *Achnantheae* – 45, *Naviculaceae* – 174 и *Desmidiaceae* – 43. В сумме они составляют 337 видов – почти 62% общего количества видов. В группу ведущих родов (187 видов, 35%) входят *Eunotia* Ehrenberg – 36 видов, *Achnanthes* Borg – 33, *Navicula* Borg – 48, *Pinnularia* Ehrenberg – 39, *Cymbella* C.Agardh – 31 вид. Неоднородность климатического режима на исследованной территории определяет одновременное присутствие в альгофлоре широко распространенных эвритермных видов, характерных для таежной зоны, стенотермных реофилов альпийского происхождения и бореального комплекса, типичного для заболоченных территорий. Доминантный комплекс представлен небольшим количеством видов, устойчивых к динамической нагрузке воды. 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.

К л ю ч е в ы е с л о в а : фитоперифитон, водотоки, бассейн Белого моря, таксономия, экология

Введение

Водоросли занимают ведущее положение в структуре гидробиоценозов по количеству видов и их численности, создают большую часть суммарной первичной продукции и составляют основу пищевых цепей. Исследования структуры и особенностей формирования альгофлоры помогают решить многие вопросы биогеографии и биоценологии. Сравнительное изучение экологически равнозначных альгоценозов в различных географических областях, ландшафтно-климатических зонах, водоемах, отличающихся микроклиматом, позволяет подойти к корректному решению проблемы

© Комулайнен С.Ф., 2020

районирования водоемов и водотоков, выбрать объекты для организации экологического мониторинга. Однако во многих регионах на сегодняшний день не исследована экологическая, трофическая и таксономическая структура альгофлоры.

Белое море расположено на северной окраине Европейской части России в координатах между 68°39' и 63°47'N, 32°05' и 44°32'E. По географическому положению и климатическим условиям оно принадлежит к арктическим морям, а в структурно-геоморфологическом аспекте относится к окраинным шельфовым, полузамкнутым субарктическим эпиконтинентальным водоемам. Площадь бассейна моря 717,7 тыс. км², что почти в 8 раз превышает его площадь (90 тыс. км²). Гидрографическую сеть водосбора формируют более 2600 рек (Иванов, Брызгалов, 2007). Это является косвенным показателем роли речного стока, который превышает 4000 млн м³/год.

Первые наблюдения за биотой Белого моря датируются серединой 18 века. Началом альгологических исследований в регионе стали работы Х.Я. Гоби (1878), посвященные многоклеточным водорослям литорали, и К.С. Мережковского (1878) – диатомовым водорослям Белого моря. Наблюдения за функционированием пресноводных экосистем бассейна Белого моря начались на 100 лет позже. В 60-х гг. XX ст. промышленное освоение территории, развитие транспортной сети, создание каскадов гидроэлектростанций обусловило заметное увеличение уровня антропогенной нагрузки в регионе. Это активизировало исследования пресноводных экосистем на водосборе (Komulaunen, 2007a). На начальном этапе основное внимание уделялось изучению озер, крупных рек и создаваемых водохранилищ. Были опубликованы первые данные о гидрохимическом режиме и фитопланктоне притоков Белого моря (Современное..., 1998).

Исследования фитоперифитона в реках бассейна Белого моря впервые были выполнены в 90-х гг. XX в. (Комулайнен, 1994, 1995а, б, 1996) и продолжены в начале XXI в. (Комулайнен, 2004а, 2008, 2011, 2017, 2018а, б, 2019; Комулайнен и др., 2007а, б, 2012, 2013, 2015; Шаров и др., 2009; Komulaunen, 2019; Komulaunen, Chekryzheva, 2013). На сегодняшний день собраны данные о фитоперифитоне в 92 водотоках, расположенных на территории 130×10³ км², что составляет приблизительно четверть водосбора. В Белое море впадают 37 рек, а также притоки рек Выг, Кемь, Кереть, Ковда, Канда, Нива и Варзуга. Крайние точки отбора проб на севере: 67°42'; 33°36', р. Вудьяврийок; на юге – 63°10'; 63°10', р. Гормозерка; на западе – 64°55'; 30°04', р. Вуокинйоки и на востоке – 67°27'; 40°58', р. Качковка.

Цель данной работы – обобщить и проанализировать данные по таксономии и экологии фитоперифитона в 92 реках бассейна Белого моря.

Материалы и методы

Водосборы исследованных рек расположены на древних кристаллических и осадочных породах Балтийского щита и Русской платформы. Большая

часть водосбора отличается плоским рельефом и незначительными абсолютными отметками. Только в юго-западной части Кольского п-ва в районе Хибинского массива истоки рек расположены на высоте 800–1200 м. Четвертичные отложения на Кольском п-ве практически отсутствуют. И только на юге Белого моря их мощность возрастает до 60 м. Бассейн Белого моря входит в зону избыточного увлажнения. Это определяет заболачивание (до 90%), высокую озерность отдельных водосборов (до 20%) и формирование густой речной сети ($\sim 0,6 \text{ км/км}^2$). Среди водотоков – крупные реки (Выг, Кемь, Ковда, Нива, Поной) с расходами воды от 160 до 280 м³/с, ручьи, представляющие собой настоящие горные реки (Малая Белая, Ловчоррйок, Айкуайвенйок, Умбалка), и короткие протоки между озерами. Наиболее многочисленны малые и средние водотоки длиной от 5 до 100 км. Они часто берут начало в озерах, и поскольку озера действуют как отстойники, воды рек отличаются чрезвычайно низким содержанием неорганических взвесей. В то же время высокая заболоченность (до 90%) водосбора является результатом высокой концентрации растворенных органических веществ. Для рек характерна слабокислая или нейтральная реакция (рН ~ 7) и повышенная цветность воды (200–300°). В период половодья большая часть рек имеет минерализацию воды менее 40 мг/дм³, возрастающую до 60–90 мг/дм³ в период летней и зимней межени. Повышенная минерализация отмечена только в р. Кенти, что обусловлено техногенными причинами (Kotumalainen, Chekryzeva, 2013). Содержание всех форм азотистых веществ в водах исследованных рек незначительное. Нитритные ионы обычно отсутствуют. Содержание ионов NO₃ изменяется от 0,1 до 0,5 мг/дм³, NH₄⁺ не превышает 0,08 мг/дм³, а N_{орг} – 0,2–1,5 мг/дм³. Отмечено очень низкое содержание фосфатов: концентрация P_{общ} изменяется от 10 до 70 мкг/дм³, а P_{мин} – от 2 до 3 мкг/дм³ (Каталог..., 1962; Ресурсы..., 1970, 1972; Белое..., 2007).

Материалом для исследований служили пробы, собранные на протяжении 30 лет на 296 станциях в 92 реках бассейна Белого моря. Пробы отбирали по стандартным методикам (Комулайнен, 2003) в верховье, среднем и нижнем течении с камнями и немногочисленных в исследованных реках макрофитов, среди которых наиболее постоянными были водные мхи (*Fontinalis* spp. и *Hydrohypnum* sp.). Для изучения биотопической неоднородности выбирали участки, отличающиеся глубиной (0,1–0,50 м) и скоростью течения (0,1–0,8 м/с), расположенные на разном удалении от проточных озер и в разной степени подвергающиеся антропогенному воздействию. Кроме качественных проб на каждой станции в зависимости от разнообразия субстратов отбирали 3–5 количественных проб.

Водоросли определяли с помощью микроскопа Olympus CX41 с цифровой камерой Ersa (D30-D3Cplus). При идентификации таксонов использовали определители пресноводных водорослей. Цианобактерии (*Cyanophyta*) определяли по: Komárek, Fott, 1983; Komárek, Anagnostidis, 1998, 2005; Komárek, 2013; *Bacillariophyta* – Krammer, Lange-Bertalot, 1986,

1988, 1991a, b; *Chrysophyta* – Starmach, 1985; *Dinophyta* – Киселев, 1954; *Chlorophyta* – Косинская, 1952, 1960; Паламарь-Мордвинцева, 1982, 1984; Мошкова, Голлербах, 1986; Рундина, 1998; *Rhodophyta* – Eloganta, Kwandrans, 2007; *Euglenophyta* – Попова, 1955. В общее число таксонов включены несколько нитчатых водорослей, находящихся в стерильной стадии и определенных до рода: *Spirogyra* sp. ster., *Mougeotia* sp. ster., *Zygnema* sp. ster., *Bulbochaete* sp. ster. и *Oedogonium* sp. ster. Система таксонов водорослей приведена по схеме, принятой в *Süsswasserflora von Mitteleuropa* с уточнением названий некоторых видов согласно современным сводкам.

В части проб были определены диатомовые водоросли с использованием сканирующего электронного микроскопа JSM-25S (Генкал, Комулайнен, 2008; Генкал и др., 2015; Чудаев и др., 2016; Genkal, Komulaunen, 2008, 2015).

Для оценки роли отдельных таксонов в формировании группировок вычисляли частоту встречаемости (pF, %) и доминирования (DF, %), среднее относительное разнообразие видов (Sp, %) и удельное относительное обилие в отдельной реке (DSp (r), %) или на отдельной станции (DSp (s), %), обилие по численности (N, %) и биомассе (B, %) (Макаревич, 1966; Комулайнен, 2003). Виды с DSp (r) и DSp (s) $\geq 10\%$ отнесены к доминирующему комплексу. Экологическую принадлежность водорослей устанавливали согласно работе С.С. Бариновой с соавт. (2006).

Результаты и обсуждение

Всего в перифитоне 92 водотоков выявлено 540 видов водорослей рангом ниже рода, принадлежащих к 6 отделам, 51 семейству и 127 родам (табл. 1).

Таблица 1. Таксономическая структура и доминирующие виды в перифитоне водотоков бассейна Белого моря

Отдел	Fm		Gn		Sp		DSp (s)		DSp (r)	
	ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%
<i>Cyanophyta</i>	14	27,5	35	27,6	76	14,1	15	23,4	10	21,7
<i>Ochrophyta</i>	14	27,5	51	40,2	374	69,3	34	53,1	23	50,0
<i>Euglenophyta</i>	1	2,0	2	1,6	3	0,6	0	0,0	0	0,0
<i>Dinophyta</i>	2	3,9	3	2,4	4	0,7	0	0,0	0	0,0
<i>Chlorophyta</i>	16	31,4	31	24,4	75	13,9	11	17,2	9	19,6
<i>Rhodophyta</i>	4	7,8	5	3,9	8	1,5	4	6,3	4	8,7
Всего	51	73	127	100	540	100	64	100	46	78,3

Обозначения: Fm – семейство; Gn – роды; Sp – виды; DSp (s) – виды, доминирующие на отдельных станциях; DSp (r) – виды, доминирующие в отдельных реках.

Основу списка (> 90%) во всех исследованных реках составляют *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* и *Cyanophyta*. Преобладание этих групп отражает специфику фитоперифитона и других речных систем бореальной

и субарктической зон (Eloranta, Kunnas, 1979; Johansson, 1982; Lindstrøm, Traen, 1984; Lindstrøm et al., 2004).

Выявленная альгофлора характеризуется значительной асимметрией на уровне отделов. Отдел *Ochrophyta*, включающий 374 вида из 4 классов, доминирует по видовому богатству. Ведущее положение в нем занимает класс *Bacillariophyceae*, что характерно для структуры фитоперифитона пресноводных систем Республики Карелия (Комулайнен, 2004; Комулайнен и др., 2006; Генкал и др., 2015; Komulaunen, 2009). Отмечено высокое разнообразие пеннатных диатомей, которое определяют представители порядка *Raphales*. Среди них наиболее постоянны в альгоценозах обрастаний *Eunotia pectinalis* (Kützing) Ehrenberg (pF = 76,1%); *Achnanthes minutissima* Kützing var. *minutissima* (65,2%); *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni var. *rhomboides* (60,9%); *Cymbella silesiaca* Blesch (55,4%) и *Gomphonema truncatum* Ehrenberg (53,3%), имеющие встречаемость более 50%. Менее разнообразно представлен в перифитоне порядок *Araphales* (семейство *Fragilariaceae* (Ehrenberg) Mills) – 120 видов, но среди его представителей есть 3 вида, наиболее распространенные в альгофлоре рек: *Fragilaria ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot (pF = 76,1%); *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing (57,6%) и *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing (96,7%).

Центрические диатомовые (семейства *Melosiraceae*, *Stephanodiscaceae* и *Aulacoseiraceae*) по числу видов занимают подчиненное положение в группировках обрастаний. В альгофлоре перифитона рек определены 32 вида из родов *Cyclostephanos* Round, *Stephanodiscus* Ehrenberg, *Cyclotella* (Kützing) Brébisson, *Melosira* Agardh, *Ellerbeckia* Crawford и *Aulacoseira* Thwaites. Из них чаще других встречаются *Aulacoseira islandica* (O.Müller) Simonsen (35,9%) и *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) Haworth (14,1%).

Сравнительная оценка роли отдельных родов в формировании таксономического разнообразия показала, что она определяется в первую очередь родами, в составе которых преобладают типичные прикрепленные формы. В группу ведущих родов (187 видов, 35%) входят *Eunotia* – 36; *Achnanthes* – 33; *Navicula* – 48, *Pinnularia* – 39 и *Cymbella* – 31 вид.

Особая роль принадлежит *Eunotia*. Несмотря на то, что большинство найденных видов, как правило, не играют заметной роли в формировании суммарной численности и биомассы, они достаточно постоянны и определяют особенность структуры перифитона в реках региона, для которых характерна высокая заболоченность водосборов.

Наши исследования позволили выявить ряд редких видов. Впервые для территории России отмечены 24 вида диатомей (Генкал, Комулайнен, 2008; Чудаев и др., 2016; Genkal, Komulaunen, 2015).

На уровне основных родов *Bacillariophyta* распределены на участках рек неравномерно. Водоросли родов *Fragilaria* Lyngbye, *Hannaea* Patrick, *Eunotia*, как правило, более разнообразны в верховьях рек. Типичные прикрепленные формы родов *Cymbella*, *Gomphonema* Ehrenberg равномерно распределены вдоль реки, а свободно передвигающиеся *Navicula* и

Pinnularia достигают максимального разнообразия и обилия в нижнем течении рек.

Chlorophyta представлены в фитоперифитоне 75 видами, которые относятся к 16 семействам и 31 роду. Основу видового богатства составляет класс *Conjugatophyceae* (63,2%) благодаря разнообразию водорослей семейства *Desmidiaceae* (43 вида). По числу видов среди них наиболее разнообразен род *Cosmarium* Ralfs – 18 видов. Многие из десмидиевых имеют арктическое или преимущественно арктическое распространение. Они встречаются в составе альгоценозов перифитона единично и не играют большой роли в формировании их структуры, минимально их участие в формировании биомассы группировок.

Наиболее постоянны в альгоценозах перифитона нитчатые зеленые водоросли *Ulothrix zonata* (F.Weber & Mohr) Kützing (21,7%), *Microspora atoena* (Kützing) Rabenhorst (23,9%), *Oedogonium* sp. (40,2%), *Bulbochaete* sp. (46,7%), *Zygnema* sp. (53,3%) и *Mougeotia* sp. (54,3%). Они относятся к повсеместно распространенным в олиготрофных водоемах бореальной зоны таксонам (Рундина, 1998), в т.ч. в водных экосистемах Республики Карелия (Комулайнен, 2008). Их доминирование в перифитоне исследованных рек свидетельствует о сходстве условий формирования альгофлоры. Именно эти виды, как правило, определяют биомассу фитоперифитона.

Хлорококковые водоросли в перифитоне исследованных рек менее разнообразны. Из 12 определенных видов только *Sphaerocystis schroeteri* Choод. достаточно постоянен (7,6%) в составе альгоценозов обрастаний.

Встречаемость большинства из 76 выявленных видов *Cyanophyta* (*Cyanoprokaryota*), которые принадлежат к 14 семействам и 35 родам, незначительна. В каждой из исследованных рек можно выделить 3 группы *Cyanophyta*. Первую группу составляют виды *Chroococcales*, *Oscillatoriales* и частично *Nostocales* (*Anabaena*, *Aphanizomenon*), более характерные для альгофлоры озер, где они доминируют в позднелетнем планктоне. Во вторую группу входят водоросли, которые встречаются не только в водных, но и в наземных местообитаниях. Это виды *Stigonema* и *Nostoc*, которые формируют плотные группировки в «амфибиотической» или «брызговой» зоне. К третьей группе относятся типичные реофилы из родов *Tolypothrix* Kützing ex Bornet et Flahault, *Dichothrix* Zanardini ex Bornet et Flahault и *Calothrix* C.Agardh ex Bornet et Flahault. К числу распространенных в исследованных реках можно отнести лишь *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing (30,4%), *Dichothrix gypsophila* (Kützing) Bornet et Flahault и *Stigonema mamillosum* (31,5%), а 18 определенных видов найдены в обрастаниях всего 1 раз (Комулайнен, 2006).

Rhodophyta представлены в альгофлоре 8 видами, 4 из которых *Audouinella chalybea* (A.Roth) Bory (DF = 3,3%), *Batrachospermum gelatinosum* (Linnaeus) De Candolle (4,3%), *Batrachospermum turfosum* Bory (1,1%), *Sirodotia suecica* Kylin (1,1) входят в доминирующий комплекс, а *B. gelatinosum* является одним из самых распространенных (42,4%) в перифитоне исследованных рек (Комулайнен, 2004a).

Свойственные альгофлоре перифитона исследованных рек Карелии зонально-климатические черты проявляются на различных уровнях таксономической структуры. Кроме доминирующего положения диатомовых в альгофлоре можно отметить малую долю представителей отделов *Euglenophyta* и *Dinophyta*. Среди ведущих семейств, характерных для северного региона, основными по фитоценологическому значению являются *Fragilariaceae* (39 видов), *Eunotiaceae* (36), *Achnantheaceae* (45), *Naviculaceae* (174) и *Desmidiaceae* (43 видов), т.е. 337 видов – 65% общего количества найденных видов. Состав выявленных водорослей в биогеографическом отношении характеризуется высоким разнообразием космополитов (243 вида, 67,9%) и бореальных видов (50 вида, 14,0%), количество которых существенно превышает число арктоальпийских (34 вида, 9,5%). Наблюдается свойственное северным флорам преобладание числа родов с одним таксоном и значительная роль одновидовых семейств (табл. 2), что можно объяснить низкой минерализацией поверхностных вод (Гецен, 1985).

Таблица 2. Состав семейств (Fm) и родов (Gn) по числу содержащихся в них видов (Sp) в перифитоне водотоков бассейна Белого моря

Sp	Gn	Gn%	Sp/Gn	Sp/Gn%	Fm	Fm%	Sp/Fm	Sp/Fm%
1	58	45,7	58	10,7	13	25,5	13	2,4
2	26	20,5	52	9,6	9	17,6	18	3,3
>10	11	8,7	280	51,9	11	21,6	397	73,5
Всего	127	100	540	100	51	100	540	100

Структура группировок перифитона в исследованных водотоках достаточно разнообразна в систематическом отношении. По численности доминируют 64 вида (см. ниже список).

Список видов, доминирующих в перифитоне на отдельных станциях и в перифитоне отдельных водотоков (*)

Отдел *Cyanophyta*, *Cyanobacteria* Stanier ex Cavalier-Smith, 2002;
Класс *Cyanophyceae* Schaffner, 1909: **Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Calothrix parietina* Thuret ex Bornet et Flahault, *Dichothrix baueriana* (Grunow) Bornet et Flahault, **D. gypsophila* (Kützing) Bornet et Flahault, *Tolypothrix distorta* Kützing ex Bornet et Flahault, **T. saviczii* Kossinskaja, **T. tenuis* Kützing ex Bornet et Flahault, **Hapalosiphon pumilus* Kützing ex Bornet et Flahault, *Stigonema mamillosum* (Lyngbye) Agardh ex Bornet et Flahault, **Dolichospermum affinis* (Lemmermann) Waecklin et al., *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault, **N. verrucosum* Vaucher ex Bornet et Flahault, **Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis et Komárek, *Oscillatoria limosa* Agardh ex Gomont, **Phormidium retzii* (Agardh) Gomont ex Gomont.

Отдел *Ochrophyta* Cavalier-Smith, 2008; класс *Raphidophyceae* Chadeaud ex P.C.Silva, 1980: **Gonyostomum semen* (Ehrenberg) Diesing;

класс *Xanthophyceae* Allorge, 1930 emend. Fritsch, 1935: **Vaucheria* sp.; класс *Chrysophyceae* Pascher, 1914: *Hydrurus foetidus* (Villars) Trevisan; класс *Bacillariophyceae* Haeckel, 1878: *Melosira varians* Agardh, *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen, *A. distans* (Ehrenberg) Simonsen, **Aulacoseira islandica* (O.Müller) Simonsen, *A. italica* (Ehrenberg) Simonsen, **A. subarctica* (O.Müller) Haworth, **Fragilaria arcus* (Ehrenberg) Cleve, *F. capucina* Desmazieres, *F. crotonensis* Kitton, *F. pulchella* (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot, **F. ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot, *F. virescens* Ralfs, **Diatoma tenuis* Agardh, **Meridion circulare* (Greville) Agardh var. *circulare*, **Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, **T. flocculosa* (Roth) Kützing, *Eunotia fallax* var. *groenlandica* (Grunow) Lange-Bertalot et Nörpel, **E. pectinalis* (Kützing) Ehrenberg, *E. sudetica* O.Müller, **E. veneris* (Kützing) De Toni, **Cocconeis placentula* Ehrenberg var. *placentula*, **Achnanthes minutissima* Kützing var. *minutissima*, **Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni var. *rhomboides*, **Cymbella silesiaca* Blesch in Rabenhorst, *Gomphonema angustatum* (Kützing) Rabenhorst, *G. parvulum* (Kützing) Kützing, **G. truncatum* Ehrenberg, **Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M.Schmidt, **Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson, **E. turgida* (Ehrenberg) Kützing, **Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith.

Отдел *Chlorophyta* Reichenbach, 1834; класс *Chlorophyceae* Wille, 1884: **Microspora amoena* (Kützing) Rabenhorst, *Coleochaete scutata* Brébisson, **Ulothrix zonata* (F.Weber & Mohr) Kützing, *Chaetophora elegans* (Roth) C.Agardh, **Draparnaldia glomerata* (Vaucher) C.Agardh, **Cladophora fracta* (O.F.Müller ex Vahl) Kützing, **Oedogonium* sp., **Bulbochaete* sp.; класс *Conjugatophyceae* Engler, 1992: **Spirogyra* sp., **Zygnema* sp., **Mougeotia* sp.

Отдел *Rhodophyta* Wettstein, 1901; класс *Florideophyceae* Cronquist, 1960: **Audouinella chalybea* (A.Roth) Bory, **Batrachospermum gelatinosum* (Linnaeus) De Candolle, **Batrachospermum turfosum* Bory, **Sirodotia suecica* Kylin.

Двадцать четыре вида преобладали только на одном и еще 8 – на двух участках. Структуру фитоперифитона определяли 46 видов, доминирующих по численности, и 9 видов – по биомассе не на отдельных участках или в пробах, а в перифитоне отдельных рек. Хотя и среди них только 9 видов (*Fragilaria ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot (pF = 76,1%); *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing (57,6%); *T. flocculosa* (Roth) Kützing (96,7%); *Eunotia pectinalis* (Kützing) Ehrenberg (76,1%); *Achnanthes minutissima* Kützing var. *minutissima* (65,2%); *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni var. *rhomboides* (60,9%); *Gomphonema truncatum* Ehrenberg (53,3%); *Zygnema* sp. (53,3%) и *Mougeotia* sp. (54,4%) имели встречаемость более 50%.

Систематическая и ценотическая структуры доминирующего комплекса несколько отличаются от структуры альгофлоры в целом. В доминирующем комплексе разнообразнее представлены *Cyanophyta* и *Rhodophyta*, более заметна роль ацидофильных и галофобных видов.

Доминантами и субдоминантами часто выступали виды из маловидовых родов. К ним относятся *Tabellaria*, *Hannaea*, *Cocconeis* и *Didymosphenia*, представители которых составляли основу группировок перифитона. Заметную роль играет *Didymosphenia geminata*, которая благодаря крупному размеру клеток, в некоторых случаях даже в присутствии нитчаток, может составлять до 90% суммарной биомассы группировок.

Степень экологической изученности водорослей различной таксономической принадлежности весьма неравномерна, что затрудняет анализ альгофлоры.

Малочисленны и противоречивы сведения о хлорококковых и десмидиевых водорослях. Из анализа практически выпадают обширные порядки *Stigonematales*, *Nostocales* и *Zygnematales*. Для 30% отмеченных таксонов не определены экологические характеристики. Поэтому при экологическом анализе альгофлоры перифитона использовали в первую очередь сведения о диатомовых водорослях.

Соотношение экологических групп водорослей в перифитоне исследованных водоемов и водотоков достаточно сходно. Структуру обрастаний формируют типичные прикрепленные формы (40,1%). Они определяют структуру группировок фитоперифитона во всех исследованных водотоках, составляя от 31,8 до 100% общего числа встреченных видов и от 52,5 до 100% их суммарной численности.

Своеобразие перифитона рек состоит в том, что кроме эвперифитонных форм в группировках постоянно присутствуют планктонные (28,8%) и бентосные водоросли (31,1%). Однако только в перифитоне крупных рек Кемь, Канда, Выг и Поной, а также на участках, расположенных ниже проточных озер, относительное обилие планктонных видов достигает 20% (Komulainen, 2007b). Основа аллохтонной составляющей в альгофлоре перифитона сформирована диатомовыми — ведущей группой северного фитопланктона. В основном это представители родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*. Однако большинство из 19 видов центрических диатомей встречались в обрастаниях единично, а в доминирующий комплекс входили лишь *Melosira varians* Agardh, *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen, *A. distans* (Ehrenberg) Simonsen, *A. islandica* (O.Müller) Simonsen, *A. italica* (Ehrenberg) Simonsen, *A. subarctica* (O.Müller) Haworth и *Fragilaria arcus* (Ehrenberg) Cleve, которые преобладали в фитопланктоне проточных озер. Более заметна в альгоценозах обрастаний роль планктонных пеннатных диатомей из семейств *Fragilariaceae* — *Fragilaria capucina* Desmazieres, *F. crotonensis* Kitton, *F. pulchella* (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot, *F. ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot и *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing.

Особый интерес представляют синезеленые планктонные водоросли родов *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Gloeotrichia* и *Oscillatoria*. Они типичны для позднелетней альгофлоры водных экосистем региона (Комулайнен, 2006), однако в исследованных водотоках «цветение» нами не наблюдалось.

Большинство бентосных форм — это диатомовые водоросли. В пробах определено 70 их видов, относящихся главным образом к родам *Navicula* (48 видов) и *Pinnularia* (39). Большая часть этих видов не достигает высокого обилия; только *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni var. *rhomboides* (pF = 60,9%; DF = 7,6%) отнесена нами к доминантам.

Среди идентифицированных нами таксонов водорослей 285 являются индикаторами ацидификации и 328 — минерализации. Высокая разбавленность поверхностных вод атмосферными осадками и заболоченность водосборов определяют индифферентный характер альгофлоры как по отношению к минерализации (240 видов, 73,2%), так и рН (102, 35,5%), при высоком разнообразии галофилов (42, 12,8%) и ацидофилов (72, 25,1%). Индифференты преобладают среди индикаторов водного (гидрологического) — 49,7% и температурного — 58,8% режимов.

Большинство обнаруженных таксонов относится к пресноводным видам, однако в пробах, особенно отобранных в устьевых участках, встречались также морские представители диатомовых из родов *Brébissonia* Grunow, *Cyclotella* (Kützing) Brébisson, *Grammatophora* Ehrenberg и нитчатые зеленые (*Percursaria percursa* (C.Agardh) Rosenvinge) водоросли. Кроме того, увеличение разнообразия галофилов и алкалифилов отмечено в верхнем течении р. Кенти в зоне влияния стоков Костомукшского ГОКа (Kомулайнен, Chekryzeva, 2013).

Степень органического загрязнения воды обследованных озёр и рек оценивали по выявленным видам-индикаторам сапробности (196 видов), большинство их относится к олиго- (38,3%) и β-мезосапробным (32,1%) формам. Но поскольку ксено- и ксено-олигосапробы чаще входят в состав доминирующего комплекса, чем виды-индикаторы повышенной сапробности, значения индексов в большинстве рек соответствуют олигосапробной зоне самоочищения, II классу чистоты воды и, по классификации Сладечека, относятся к практически чистым водам.

Разнообразие альгоценозов формируется либо благодаря включению в них новых таксонов, либо за счет изменения комбинации одних и тех же видов. Первое для перифитона определяется поступлением аллохтонных видов из планктона и бентоса, при этом большое значение имеет фактор озерности. В зависимости от количества озер на водосборной площади, их морфометрии и трофического статуса изменяется структура аллохтонной альгофлоры в водотоках. Второе в большей мере обусловлено гетерогенностью среды обитания — от неоднородности поверхности субстрата и микрораспределения скоростей течения до различий в ландшафте, определяющих морфометрию водотоков и развитость прибрежной растительности (Комулайнен, 2004б; Kомулайнен, 2007б).

Увеличение антропогенной нагрузки отмечено на отдельных участках рек Белая, Кенти, Летняя, Кемь, Ковда и Нива. Характерной чертой таксономического состава перифитона здесь является уменьшение обилия и встречаемости оксифильных, χ-сапробных диатомей родов *Achnanthes*, *Eunotia*, *Symbella* и снижение роли рода *Tabellaria*. По сравнению с условно чистыми, большее разнообразие широковалентных и

толерантных к загрязнению видов из родов *Diatoma*, *Gomphonema*, *Nitzschia*. Прослеживается также увеличение количества мезогалобных и галофильных видов. Большую роль в формировании структуры начинают играть донные формы (Komulainen, Morozov, 2007).

Уничтожение прибрежной растительности, увеличение интенсивности паводков, заиление и превращение русел рек в каналы приводит к усилению биотопической однородности, упрощению структуры биоценозов. С другой стороны, обогащение вод биогенными элементами, увеличение освещенности вызывают локальное зарастание водотоков нитчатými зелеными водорослями (*Zygnema* sp., *Mougeotia* sp.). Ниже по течению при минимизации антропогенной нагрузки естественная структура альгоценозов быстро восстанавливается. Это особенно характерно для рек с чередованием порогов и плесов, играющих роль природных очистных сооружений.

Заключение

Альгофлора перифитона рек бассейна Белого моря в таксономическом, географическом и экологическом отношении достаточно гетерогенна. Она представляет собой комплекс различных элементов, обусловленный природной зональностью, изменением климата в разные эпохи, особенностями ландшафта и топографией водосборов, морфометрией и гидрологическими характеристиками рек и озер.

Важнейшие показатели структуры альгофлоры перифитона свидетельствуют о ее принадлежности к флорам бореального типа, так как истинно высокоширотные элементы среди эдификаторов занимают подчиненное положение.

Исследованные реки по составу массовых видов имеют большое сходство с холодноводными олиготрофными реками бореальной зоны. В составе перифитона преобладают индифферентные по отношению к солености и активной реакции среды виды. Видовое разнообразие определяют *Bacillariophyta*, в то время как основу биомассы составляют нитчатые *Chlorophyta*, *Cyanophyta* и *Rhodophyta*.

Распространение болот и расположение дистрофных озер не связано с конкретными ландшафтными и климатическими зонами, а следовательно, их влияние на структуру альгофлоры азонально. Ацидофильные и галофобные виды, доминирующие в таких водоемах, несмотря на высокую экологическую специализацию, в большинстве своем являются широко распространенными и космополитными. Поэтому для сравнения следует выбирать водоемы с низким процентом заболоченности водосборов.

Структура фитоперифитона в большинстве водотоков имеет естественный характер и не связана с увеличением антропогенной нагрузки. Она отражает естественную биотопическую неоднородность исследованных водных объектов и их участков.

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 и, согласно классификации Сладечека, являются практически чистыми водами.

Проведенный анализ показал неравномерность альгологических исследований на территории Карелии, поэтому считаем целесообразным продолжить начатую работу по анализу альгофлоры перифитона в реках.

Финансирование исследований осуществлялось за счет средств федерального бюджета на выполнение государственных заданий № 0221-2014-0005, 0221-2014-0038 и 0221-2017-0045.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. *Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды*. Тель-Авив: Pilies Stud. 498 с.
- Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов*. 2007. Под ред. Н.Н. Филатова, А.Ю. Тержевика. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 335 с.
- Генкал С.И., Комулайнен С.Ф. 2008. Материалы к флоре *Vacillariophyta* водоемов Карелии. IV. Реки Карельского побережья Белого моря. *Бот. журн.* 93(3): 393–398.
- Генкал С.И., Чекрыжева Т.А., Комулайнен С.Ф. 2015. *Диатомовые водоросли водоемов и водотоков Карелии*. М.: Науч. мир. 202 с.
- Гецен М.В. 1985. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. Л.: Наука. 165 с.
- Гоби Х.Я. 1878. Флора водорослей Белого моря. *Труды СПб. общ-ва естествоисп.* 9: 293–297.
- Иванов В.В., Брызгалов В.А. 2007. Гидролого-гидрохимический режим водосбора Белого моря. В кн.: *Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов*. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 52–117.
- Каталог рек Мурманской области*. 1962. М., Л.: Изд-во АН СССР. 210 с.
- Киселев И.А. 1954. Пирофитовые водоросли. М.: Сов. наука. 212 с. В кн.: *Определитель пресноводных водорослей СССР*. Вып. 6. М.: Сов. наука. 212 р.
- Комулайнен С.Ф. 1994. *Фитоперифитон в малых реках Кольского полуострова*. Деп. ВИНТИ. 22.08.94. N 2097–В94. Киев. 27 с.
- Комулайнен С.Ф. 1995а. Перифитон в реках Паанаярвского национального парка. В кн.: *Природа и экосистемы Паанаярвского национального парка*. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 126–138.
- Комулайнен С.Ф. 1995б. Перифитон реки Кенти В кн.: *Влияние техногенных вод горно-обогатительного комбината на водоемы системы реки Кенти*. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 47–60.
- Комулайнен С.Ф. 1996. *Перифитон рек Ленинградской, Мурманской областей и Республики Карелия. Оперативно-информационные материалы*. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 39 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. *Бот. журн.* 89(3): 18–35.
- Комулайнен С.Ф. 2004б. *Экология фитоперифитона малых рек Восточной Фенноскандии*. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 182 с.

- Комулайнен С.Ф. 2006. *Суанophyta/Суанoprokaryota* в перифитоне рек Восточной Фенноскандии: роль в экосистемах, опыт изучения и проблемы. *Труды КНЦ РАН*. 4: 14–23.
- Комулайнен С.Ф. 2008. Водная растительность В кн.: *Скальные ландшафты Карельского побережья Белого моря: природные особенности, хозяйственное освоение, меры по сохранению*. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 137–139.
- Комулайнен С.Ф. 2011. Фитоперифитон рек Зеленого пояса Фенноскандии». *Труды КарНЦ РАН*. Сер. Биогеография. 2: 35–47.
- Комулайнен С.Ф. 2017. Фитоперифитон рек Кандалакшского берега Белого моря. *Труды КарНЦ РАН*. Сер. Биогеография. 6: 29–47.
- Комулайнен С.Ф. 2018а. Фитоперифитон рек Хибин. В кн.: *Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге*. СПб.: Реноме. С. 242–245.
- Комулайнен С.Ф. 2018б. Фитоперифитон рек междуречья Кеми и Ковды Карельского берега Белого моря. *Вопросы современной альгологии*. 2(17). URL: <http://algology.ru/1296>
- Комулайнен С.Ф. 2019а. Фитоперифитон реки Ковды и ее притоков (республика Карелия, Россия). *Труды КарНЦ РАН*. Сер. Биогеография. 8: 30–43. <https://doi.org/10.17076/bg963>
- Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Барышев И.А. 2007а. Гидробиология. В кн.: *Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов*. Петрозаводск. КарНЦ РАН. С. 104–114.
- Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Барышев И.А. 2007б. Гидробиологическая характеристика рек Терского берега Кольского полуострова. *Труды КарНЦ РАН*. Сер. Биогеография. 7: 28–44.
- Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Барышев И.А. 2012. Структура и функционирование сообществ водных организмов в реках южного (Поморского) побережья Белого моря. *Труды КНЦ РАН*. 1: 109–126.
- Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Барышев И.А. 2013. Структура сообществ водных организмов притоков Выгозерского водохранилища. *Поволжский экол. журн*. 3: 261–270.
- Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Барышев И.А. 2015. Структура сообществ водных организмов притоков Выгозерского водохранилища. В кн.: *Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях*. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 337–342.
- Комулайнен С.Ф., Чекрыжева 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. II. Конъюгаты, или сцеплянки. Флора споровых растений СССР*. Т. 5, вып. 1. М., Л.: Изд-во АН СССР. 706 с.
- Макаревич В.Н. 1966. Голландские методы учета обилия видов по де-Фризу в сравнении с другими методами определения участия видов в луговых травостоях. *Бот. журн*. 51(2): 293–304.
- Мережковский К.С. 1878. Диатомовые водоросли Белого моря. *Труды СПб. общ-ва естествоисп.* 9: 425–446.
- Мошкова Н.А., Голлербах М.М. 1986. Зеленые водоросли. Класс Улотриковые. 1. В кн.: *Определитель пресноводных водорослей СССР*. Вып. 10. Л.: Наука. 360 с.

- Паламарь-Мордвинцева Г.М. 1982. Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые. В кн.: *Определитель пресноводных водорослей СССР*. Вып. 11(2). Л.: Наука. 620 с.
- Паламарь-Мордвинцева Г.М. 1984. Конъюгаты. В кн.: *Визначник прісноводних водоростей Української РСР*. Вып. 8, ч. 1. Київ: Наук. думка. 512 с.
- Попова Т.Г. 1955. Эвгленовые водоросли. В кн.: *Определитель пресноводных водорослей СССР*. Вып. 7. М.: Сов. наука. 283 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР*. 1970. Т. 1. Кольский полуостров. Л.: Гидрометиздат. 315 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР*. 1972. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Л.: Гидрометиздат. 525 с.
- Рундина Л.А. 1998. *Зигнемовые водоросли России (Chlorophyta: Zygnematomphyceae, Zygnematales)*. СПб.: Наука. 351 с.
- Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг.* 1998. Под ред. Н.Н. Филатова, Т.П. Куликовой, П.А. Лозовика. Петрозаводск. КарНЦ РАН. 188 с.
- Чудаев Д.А., Куликовский М.С., Комулайнен С.Ф. 2016. Виды *Navicula* s. str. (*Bacillariophyta*, *Naviculaceae*) в реках Мурманской области. *Бот. журн.* 100(1): 21–33.
- Шаров А.Н., Рябинкин А.В., Комулайнен С.Ф. 2009. Гидробиологическая характеристика водных объектов в районе строительства горно-обогатительного комбината на базе месторождения апатит-нефелиновых руд Олений ручей (Кольский п-ов). *Труды КарНЦ РАН*. Сер. Биogeография. 4: 76–84.
- Eloranta P., Kunnas S. 1979. The grows and species communities of the attached algae in a river system in Central Finland. *Arch. Hydrobiol.* 86(1): 27–44.
- Eloranta P., Kwadrans. J. 2007. *Freshwater red algae (Rhodophyta) Identification guide to European taxa, particularly to those in Finland*. Saarijvi (Finland): Saarijven Offset Oy. 103 p.
- Genkal S.I., Komulaynen S.F. 2008. Materials to the flora of *Bacillariophyta* of the Karelian waterbodies. IV. Rivers of the Karelian White Sea coast. *Bot. J.* 93(3): 393–398.
- Genkal S.I., Komulaynen S.F. 2015. New Data on the Flora of *Bacillariophyta* in the Rivers of the Southern (Pomorskii) Coast of the White Sea (Republic of Karelia). *Inland Water Biol.* 5(2): 105–112.
- Johansson C. 1982. Attached algal vegetation in running waters of Jämtland, Sweden. *Acta Phytogeogr. Suec.* 71: 1–80.
- Komárek J. 2013. *Cyanoprokaryota*. 3. Teil: *Heterocytous*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Vol. 19/3. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akad. Verlag. 1130 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 1998. *Cyanoprokaryota*. 1. Teil: *Chroococcales*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Vol. 19/1. Jena, etc.: Gustav Fischer. 548 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 2005. *Cyanoprokaryota*. 2. Teil: *Oscillatoriales*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 19/2. Heidelberg: Elsevier/Spektrum. 759 p.
- Komárek J., Fott B. 1983. *Chlorophyceae* (Grünalgen), Ordnung *Chlorococcales*. In: *Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie*. Teil 7, 1. Hälfte. Stuttgart: Schweizerbart. 1044 p.
- Komulaynen S. 2007a. Algological studies of fluvio-lacustrine systems in the northern European part of Russia. *Int. J. Algae.* 9(2): 139–149. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v9.i2.40>
- Komulaynen S. 2007b. Landscape related features in the structure of phytoperiphyton communities in small rivers of east Fennoscandia. *Biol. Inland Waters*. 1: 50–55.

- Komulaynen S. 2008. The green algae as structural element of phytoplankton communities in streams of the Northwestern Russia. *Biology*. 63(6): 859–865.
<https://doi.org/10.2478/s11756-008-0113-0>
- Komulaynen S. 2009. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia. *Studia Trent. Sci. Nat.* 84: 153–160.
- Komulaynen S. 2019b. Phytoplankton of the Kem River and Its Tributaries (Republic of Karelia, Russia). *Int. J. Algae*. 21(2): 123–136. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v21.i2.30>
- Komulaynen S., Chekryzheva T. 2013. Response of algal communities to anthropogenic changes in minealization. *Bot. Lith.* 19(1): 57–66.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. *Bacillariophyceae: Naviculaceae*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/1. Jena: Gustav Fischer Verlag. 860 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. *Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/2. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag. 596 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. *Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/3. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 576 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. *Bacillariophyceae: Achnantheaceae*, Kritische Ergänzungen zu *Navicula (Lineolatae)* und *Gomphonema* Gesamtliteraturverzeichnis. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/4. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 437 p.
- Lindström E.A., Traen T.S. 1984. Influence of current velocity on periphyton distribution and succession in a Norwegian soft water river. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 22: 1965–1972.
- Lindström E.A., Johansen S., Saloranta T. 2004. Periphyton in running waters – long-term studies of natural variation. *Hydrobiologia*. 521(1–3): 63–86.
- Starmach K. 1985. *Chrysophyceae und Haptophyceae*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 1. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. 515 p.

Подписала в печать Н.И. Кирпенко

REFERENCES

- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. 2006. *Diversity of algal indicators in environmental assessment*. Tel Aviv: Pilies Stud. 498 p.
- Catalogue of the rivers of the Murmansk region*. 1962. Moscow, Leningrad: Acad. Sci. USSR Press. 210 p. [Rus.]
- Chudaev D.A., Kulikovskiy M.S., Komulaynen S.F. 2016. Species of *Navicula* s. str. (*Bacillariophyta, Naviculaceae*) in the rivers of Murmansk region. *Bot. J.* 100(1): 21–33.
- Current state of water objects in the republic of Karelia. Results of monitoring, 1992–1997*. 1998. Eds N. Filatov, T.P. Kulikova, P.A. Lozovik. Petrozavodsk: Kar. Sci. Center RAS. 188 p. [Rus.]
- Eloranta P., Kunnas S. 1979. The grows and species communities of the attached algae in a river system in Central Finland. *Arch. Hydrobiol.* 86(1): 27–44.
- Eloranta P., Kwadrans J. 2007. *Freshwater red algae (Rhodophyta) Identification guide to European taxa, particularly to those in Finland*. Saarijvi (Finland): Saarijvi Offset Oy. 103 p.
- Genkal S.I., Komulaynen S.F. 2008. Materials to the flora of *Bacillariophyta* of the Karelian waterbodies. IV. Rivers of the Karelian White Sea coast. *Bot. J.* 93(3): 393–398.

- Genkal S.I., Komulaynen S.F. 2015. New Data on the Flora of *Bacillariophyta* in the Rivers of the Southern (Pomorskii) Coast of the White Sea (Republic of Karelia). *Inland Water Biol.* 5(2): 105–112.
- Genkal S.I., Chekryzheva T.A., Komulaynen S.F. 2015. *Diatom algae in waterbodies and watercourses of Karelia*. Moscow: Sci. Word. 202 p. [Rus.]
- Getsen M.V. 1985. *Algae in the ecosystems of the Far North*. Leningrad: Nauka. 165 p. [Rus.]
- Gobi Kh.Ya. 1878. Flora of the White Sea algae. *Proc. St. Petersburg Soc. Nat.* 9: 293–297.
- Ivanov V.V., Brizgalo V.A. 2007. In: *The White [Beloe] Sea and their watershed under influences of climate and anthropogenic impact*. Petrozavodsk: Kar. Sci. Center RAS. Pp. 52–117. [Rus.]
- Johansson C. 1982. Attached algal vegetation in running waters of Jämtland, Sweden. *Acta Phytogeogr. Suec.* 71: 1–80.
- Kiselev I.A. 1954. In: *Keys to freshwater algae of the USSR*. Issue 6. Moscow: Sov. Sci. 212 p.
- Komárek J. 2013. *Cyanoprokaryota*. 3. Teil: *Heterocytous*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Vol. 19/3. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akad. Verlag. 1130 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 1998. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Vol. 19/1. Jena, etc.: Gustav Fischer. 548 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 2005. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 19/2. Heidelberg: Elsevier/Spektrum. 759 p.
- Komárek J., Fott B. 1983. In: *Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie*. Teil 7, 1. Hälfte. Stuttgart: Schweizerbart. 1044 p.
- Komulaynen S.F. 1994. *Phytoperiphyton in small rivers of the Kola Peninsula*. Dep. VINITI 22.08.94. N 2097–B94. Kiev. 27 p. [Rus.]
- Komulaynen S.F. 1995a. In: *Nature and ecosystems of the Paanajärvi National Park*. Petrozavodsk: Petrozavodsk: Kar. Sci. Center RAS. Pp. 126–138. [Rus.]
- Komulaynen S.F. 1995b. In: *Technogenic waters of mining concentration plant impact on the Kenti River systems*. Petrozavodsk: Kar. Sci. Center RAS. Pp. 47–60. [Rus.]
- Komulaynen S.F. 1996. *Periphyton of the rivers of the Leningrad, Murmansk regions and the Republic of Karelia. Express Information*. Petrozavodsk: Kar. Sci. Center RAS. 39 p. [Rus.]
- Komulaynen S.F. 2003. *Guidelines for the Study of phytoperiphyton in small rivers*. Petrozavodsk: Kar. Sci. Center RAS. 43 p. [Rus.]
- Komulaynen S.F. 2004a. Phytoperiphyton in rivers of Republic of Karelia. *Bot. J.* 89(3): 18–35.
- Komulaynen S.F. 2004b. *Ecology of attached algal communities in small rivers of east Fennoscandia*. Petrozavodsk: Kar. Sci. Center RAS. 182 p. [Rus.]
- Komulaynen S.F. 2006. *Cyanophyta/Cyanoprokaryota* in periphyton in rivers of eastern Fennoscandia: role in ecosystems, research experience and problems. *Proc. Kola Sci. Center RAS.* (4): 14–23.
- Komulaynen S.F. 2007a. Algological studies of fluvio-lacustrine systems in the northern European part of Russia. *Int. J. Algae.* 9(2): 139–149. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v9.i2.40>
- Komulaynen S.F. 2007b. Landscape related features in the structure of phytoperiphyton communities in small rivers of east Fennoscandia. *Biol. Inland Waters.* 1: 50–55.
- Komulaynen S.F. 2008a. In: *Rupestrian landscapes of the White Sea Karelian Coast: natural characteristics, economic utilization, conservation*. Petrozavodsk: Kar. Sci. Centre RAS: 137–139. [Rus.]

- Komulaynen S.F. 2008b. The green algae as structural element of phytoperiphyton communities in streams of the Northwestern Russia. *Biology*. 63(6): 859–865. <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0113-0>
- Komulaynen S.F. 2009. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia. *Studi Trent. Sci. Nat.* 84: 153–160.
- Komulaynen S.F. 2011. Phytoperiphyton in rivers of the green belt of Fennoscandia. *Proc. Kar. Sci. Centre RAS. Biogeography*. 2: 35–47. [Rus.]
- Komulaynen S.F. 2017. Attached algal communities in rivers of the Kandalaksha coast of the White Sea. *Proc. Kar. Sci. Centre RAS. Biogeography*. 6: 29–47.
- Komulaynen S.F. 2018a. In: *Algae: problems of taxonomy, ecology and use in monitoring*. St. Petersburg: Renome. Pp. 242–245. [Rus.]
- Komulaynen S.F. 2018b. Phytoperiphyton in rivers in the interfluvium of the Kem and Kovda of Karelian coast of the White Sea. *Issues modern algology*. 2(17). URL: <http://algology.ru/1296>
- Komulaynen S.F. 2019b. Phytoperiphyton of the Kem River and its tributaries (Republic of Karelia, Russia). *Int. J. Algae*. 21(2): 123–136. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v21.i2.30>
- Komulaynen S.F. 2019a. Phytoperiphyton of the Kovda River and its tributaries. (Republic of Karelia, Russia). *Proc. Kar. Res. Centre RAS. Biogeography*. 8: 30–43. <https://doi.org/10.17076/bg963>
- Komulaynen S.F., Chekryzheva T.A. 2013. Response of algal communities to anthropogenic changes in mineralization. *Bot. Lith.* 19(1): 57–66.
- Komulaynen S.F., Chekryzheva T.A., Vislyanskaya I.G. 2006a. *Algal flora of the lakes and rivers in Karelia. The taxonomic composition and ecology*. Petrozavodsk: Kar. Sci. Center RAS. 81 p. [Rus.]
- Komulaynen S.F., Kruglova A.N., Baryshev I.A. 2007. In: *The White Sea and their watershed under influences of climate and anthropogenic impact*. Petrozavodsk: Kar. Sci. Center RAS. Pp. 52–117. [Rus.]
- Komulaynen S.F., Kruglova A.N., Baryshev I.A. 2008. Hydrobiological characteristics of rivers in the Tersky coast of Kola peninsula. *Proc. Kar. Sci. Centre RAS. Biogeography*. 12: 28–44.
- Komulaynen S.F., Kruglova A.N., Baryshev I.A. 2012. The structure and functioning of the hydrobiont communities of some rivers of the White Sea southern (Pomorski) coast. *Proc. Kola Sci. Centre*. 1: 109–126.
- Komulaynen S.F., Kruglova A.N., Baryshev I.A. 2013. Aquatic organism community structure in the Vygozero Reservoir inflows. *Povolzhskiy J. Ecol.* 3: 261–270.
- Komulaynen S.F., Kruglova A.N., Baryshev I.A. 2015. In: *The largest lake-reservoirs of the north-west European part of Russia: current state and climate variability and anthropogenic impact*. Petrozavodsk: Kar. Sci. Center RAS. 337–342. [Rus.]
- Kosinskaya E.K. 1952. In: *Flora of spore plants of the USSR*. Vol. 2. Moscow, Leningrad: Acad. Sci. USSR Press. 164 p. [Rus.]
- Kosinskaya E.K. 1960. In: *Flora of spore plants of the USSR*. Vol. 5, issue 1. Moscow, Leningrad: Acad. Sci. USSR Press. 706 p. [Rus.]
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/1. Jena: Gustav Fischer Verlag. 860 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/2. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag. 596 p.

- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/3. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 576 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/4. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 437 p.
- Lindström E.A., Johansen S., Saloranta T. 2004. Periphyton in running waters – long-term studies of natural variation. *Hydrobiologia*. 521(1–3): 63–86.
- Lindström E.A., Traaen T.S. 1984. Influence of current velocity on periphyton distribution and succession in a Norwegian soft water river. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 22: 1965–1972.
- Makarevich B.N. 1966. Dutch methods of accounting for the abundance of species by de-Frisus in comparison with other methods of determining the participation of species in grassland. *Bot. J.* 51(2): 293–304.
- Merezhkovskiy K.S. 1878. Diatom algae of the White Sea. *Proc. St. Petersburg Soc. Nat.* 9: 425–446. [Rus.]
- Moshkova N.A., Gollerbach M.M. 1986. In: *Identification manual of freshwater algae of the USSR*. Issue 10. Moscow, Leningrad: Nauka. 360 p. [Rus.]
- Palamar-Mordvintseva G.M. 1982. In: *Identification manual of freshwater algae of the USSR*. Issue 11(2). Leningrad: Nauka. 620 p. [Rus.]
- Palamar-Mordvintseva G.M. 1984. In: *Identification manual of the Ukrainian SSR*. Issue 8, pt 1. Kyiv: Naukova Dumka. 512 p. [Ukr.]
- Popova T.G. 1955. In: *Identification manual of freshwater algae of the USSR*. Issue 11(2). Leningrad: Nauka. 283 p. [Rus.]
- Resources of the USSR Surface Water: 1. Kola Peninsula*. 1970. Leningrad: Gidrometeoizdat. 315 p. [Rus.]
- Resources of the USSR Surface Water: 2. Karelia and Northwest*. 1972. Leningrad: Gidrometeoizdat. 525 p. [Rus.]
- Rundina L.A. 1998. *The Zygnematales of Russia (Chlorophyta: Zygnematophyceae)*. St. Petersburg: Nauka. 351 p. [Rus.]
- Sharov A.N., Ryabinkin A.V., Komulainen S.F. 2009. Hydrobiological characteristics of waterbodies in the area of construction of the ore-dressing mill connected to the apatite-nepheline deposit oliniy ruchey (Kola Peninsula). *Proc. Kar. Sci. Center RAS. Biogeography*. 4: 76–84.
- Starmach K. 1985. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 1. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. 515 p.
- The White Sea and their watershed under influences of climate and anthropogenic impact*. 2007. Eds N. Filatov, A. Terzhevnik. Petrozavodsk: Kar. Sci. Center RAS. 335 p. [Rus.]

Komulainen S.F. 2020. **Phytoperiphyton of watercourses from the White Sea Basin (Murmansk District, Republic of Karelia, Russia)**. *Algologia*. 30(4): 421–439.

Institute of Biology of Karelian Research Centre RAS,
11 Pushkinskaya Str., Petrozavodsk 185610, Russia

The results of phytoperiphyton studies in 92 watercourses of the White Sea basin are summarized and analyzed. Totally 540 taxa with a rank below the genus were identified. They belong to six divisions: *Cyanophyta* – 76, *Ochrophyta* – 374, *Euglenophyta* – 3, *Dinophyta* – 4, *Rhodophyta* – 8 and *Chlorophyta* – 75. Diatoms, cyanobacteria and chlorophytes form the basis of the species diversity (> 90%) in all studied rivers. The predominance of these groups reflects the specificity of

the phytoperiphyton in the river systems of the boreal and subarctic zones. Leading families are *Naviculaceae* (174 species), *Achnanthaceae* (45), *Desmidiaceae* (43) and *Fragilaceae* (36). Together they cover 337 species or 65% of the total number of species found. The group of leading genera (187 species, 35%) includes *Eunotia* – 36 species, *Achnanthes* – 33, *Navicula* – 48, *Pinnularia* – 39, and *Cymbella* – 31 species. The heterogeneity of the climatic regime in the study area determines the simultaneous presence in the algae flora of widespread eurythermic species characteristic of the taiga zone, stenothermic rheophiles of alpine origin and the boreal complex typical of wetlands. The dominant complex is represented by a small number of species resistant to dynamic water loading. It is noted that the ecological-geographical spectra of algae are dominated by widespread oligogalobic species, acidophilic or indifferent to the pH of the medium. The relative importance of indicator species in the formation of groupings allows to refer the waters of the studied watercourses and reservoirs to the second class of purity.

Key words: phytoperiphyton, species composition, taxonomic structure, ecology, White Sea basin

Комулайнен С.Ф. 2020. **Фітоперифітон водотоків басейну Білого моря (Мурманська область, Республіка Карелія, Росія).** *Альгологія*. 30(4): 421–439.

Інститут біології Карельського НЦ РАН,
вул. Пушкінська, 11, Петрозаводськ 185910, Республіка Карелія, Росія

Узагальнено та проаналізовано результати досліджень фітоперифітону в 92 водотоках басейну Білого моря. Виявлено 540 таксонів рангом нижче роду з шести відділів: *Суанопфіта* (*Суанопрокарюта*) – 76 видів, *Охрофіта* – 374, *Еугленопфіта* – 3, *Дінофіта* – 4, *Родопфіта* – 8 і *Хлорофіта* – 75. Відзначено основні за фітоценотичним значенням родини: *Fragilariaceae* – 39 видів, *Eunotiaceae* – 36, *Achnanthaceae* – 45, *Naviculaceae* – 174 і *Desmidiaceae* – 43. У сумі вони складають 337 видів – майже 62% їхньої загальної кількості. До групи провідних родів (187 видів, 35%) входять *Eunotia* Ehrenberg – 36 видів, *Achnanthes* Vogt – 33, *Navicula* Vogt – 48, *Pinnularia* Ehrenberg – 39, *Cymbella* S. Agardh – 31 вид. Неоднорідність кліматичного режиму на дослідженій території визначає одночасну присутність в альгофлорі широко поширених евритермних видів, характерних для тайгової зони, стенотермних реофілів альпійського походження і бореального комплексу, типового для заболочених територій. Домінантний комплекс представлений невеликою кількістю видів, стійких до динамічного навантаження води. Відзначено, що в еколого-географічних спектрах водоростей переважають широко поширені олігогалобні види, ацидофільні або індіферентні по відношенню до рН середовища. Відносне значення індикаторних видів у формуванні угруповань дозволяє віднести води досліджених водотоків і водойм до другого класу чистоти.

Ключові слова: фітоперифітон, водотоки, басейн Білого моря, таксономічна структура, екологія