

УДК 582.272: 574.586 (470.2:556.53)

## **ФИТОПЕРИФИТОН РЕК КАНДАЛАКШСКОГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ**

**С. Ф. Комулайнен**

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск*

Исследования фитоперифитона были выполнены в 16 реках и включали анализ таксономического состава, экологии и пространственной динамики. В статье обсуждаются основные принципы изменения структуры и функционирования фитоперифитона. Особое внимание уделено проблеме формирования речного континуума, влиянию проточных озер и урбанизации водосбора. На основе анализа таксономического состава и структуры фитоперифитона речных экосистем выявлены черты сходства в составе сообществ, особенно доминирующих видов, близкие средние значения биомассы. Доминантный комплекс представлен небольшим набором видов, устойчивых к динамической нагрузке воды. Отмечено, что в эколого-географических спектрах водорослей преобладают широко распространенные олигогалобные виды, алкалофильные или индифферентные по отношению к pH среды. Показана зависимость изменения количественных показателей и пространственной динамики структурных характеристик фитоперифитона от гидрологического режима рек.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** фитоперифитон; таксономия; экология; реки; Кандалакшский берег.

### **S. F. Komulainen. ATTACHED ALGAL COMMUNITIES IN RIVERS OF THE KANDALAKSHA COAST OF THE WHITE SEA**

The study of attached algal communities (phytoperiphyton) in 16 rivers included the analysis of their taxonomic composition, ecology and spatial distribution. The paper discusses the main principles of change in the structure and functioning of the attached algal communities. Special attention is given to the problems of development of the river continuum, the effect of drainage lakes and catchment urbanisation. The analysis of the taxonomic composition and structure of phytoperiphyton in river ecosystems revealed similarities in the composition of the communities, especially the dominant species, as well as similar average biomass values. Dominants are few, represented by species resistant to dynamic water load. It is indicated that widespread alkaliphilic or pH-indifferent oligohaline species prevail in ecogeographic spectra of algae. Quantitative parameters and spatial dynamics of the structural characteristics of attached algal communities is shown to depend on the hydrological regime of the river.

**Key words:** phytoperiphyton; taxonomy; ecology; rivers; Kandalaksha Coast.

## Введение

Среди морей, омывающих Россию, Белое море – одно из самых маленьких. Площадь его поверхности всего 90 тыс. км<sup>2</sup>, а площадь водосбора 1100 тыс. км<sup>2</sup>. Соотношение площади суши и моря составляет 8,25, что является наибольшим для окраинных морей Северного Ледовитого океана и косвенным показателем роли речного стока [Иванов, 1976]. Берега Белого моря имеют собственные названия и традиционно разделяются на Терский, Кандалакшский, Карельский Поморский, Онежский, Летний, Зимний, Мезенский и Канинский.

Кандалакшский берег Белого моря по ландшафту резко отличается от других. В его пределах четко выражена высотная поясность, выделяются лесной, лесотундровый и тундровый пояса, в свою очередь расчленяемые в зависимости от типа растительных группировок и особенностей микрорельефа – крутизны склонов и теплообеспеченности [Природные условия..., 1986].

Урбанизация территории, интенсивное развитие горнодобывающей промышленности, открытие и ввод в эксплуатацию новых месторождений минерального сырья в последние десятилетия привели к увеличению степени антропогенного воздействия на водные экосистемы района. Наблюдается деградация различных компонентов пресноводных экосистем, нарушение цепей питания, аккумуляция токсичных элементов в органах и тканях гидробионтов [Моисеенко, 1997; Кашулин и др., 2008; Денисов и др., 2016].

В связи с этим получение информации об особенностях формирования и функционирования сообществ гидробионтов, которая широко используется для диагностирования антропогенных изменений водных экосистем и оценки их состояния, становится актуальной задачей. Актуальность одновременных гидробиологических исследований в речных системах, отличающихся по гидрологическому и химическому режиму и степени антропогенной нагрузки, связана и с тем, что они расширяют

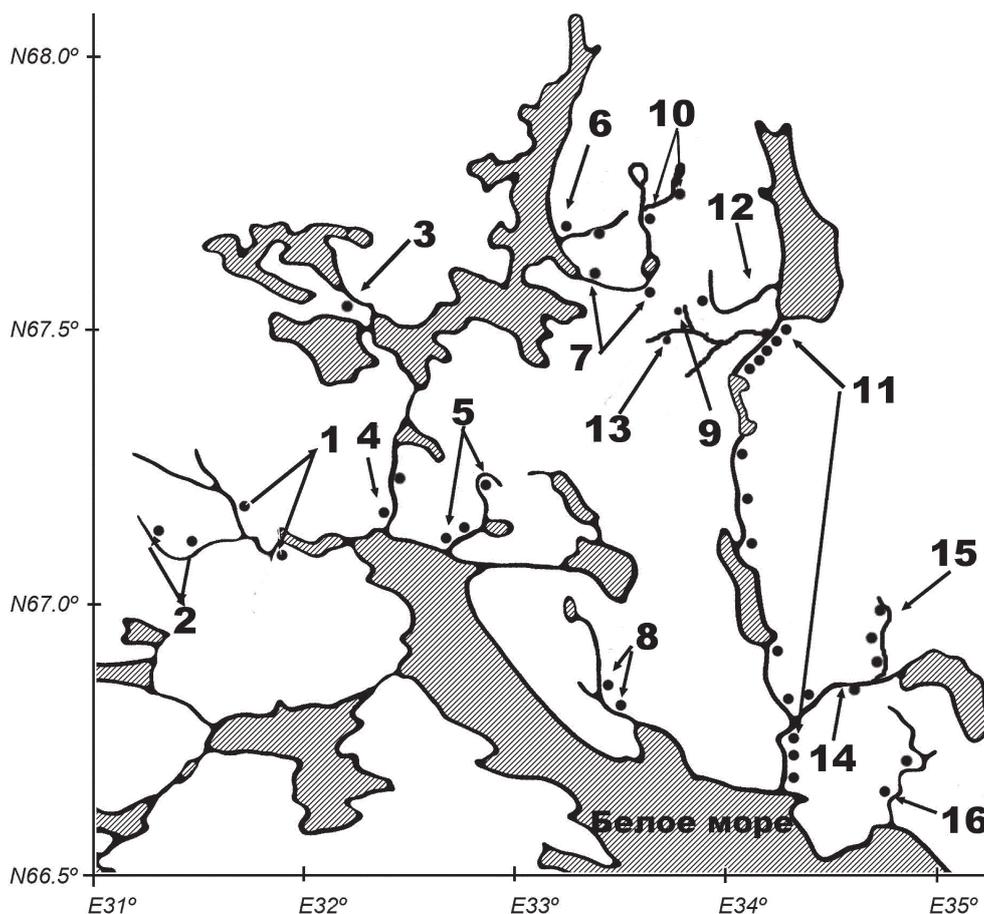


Рис. 1. Карта-схема расположения рек и станций отбора проб:

1 – Канда; 2 – Рябина; 3 – Пиренга; 4 – Нива; 5 – Лувеньга; 6 – Малая Белая; 7 – Белая; 8 – Порья; 9 – Ловчорройок; 10 – Вудьяврйок (с притоком Кукисийок); 11 – Умба; 12 – Умбалка; 13 – Айкуайвенйок; 14 – Вяла; 15 – Лямукса; 16 – Куззрека

Таблица 1. Характеристика исследованных рек Кандалакшского побережья Белого моря

Реки	Длина реки, км	Падение, м/км	Расход воды, м <sup>3</sup> /с	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Озерность, %	Заболоченность, %	Минерализация, мг/л	Цветность, P <sub>c</sub>	P <sub>общ.</sub> , мкг/л	pH
1. Канда	51	7,8	7,9	717	0,8	4,0	21	8	6	6,6
2. Рябина	30	17,1	2,2	208	0,2	4,0	21	7	6	6,7
3. Пиренга	4	2,9	50,2	4260	8,0	5,0	24	10	5	6,6
4. Нива	36	3,5	164,0	12800	13,0	5,0	28	15	5	6,6
5. Лувеньга	29	10,7	13,0	200	4,0	9,0	22	95	4	6,6
6. Малая Белая	17	39,5	3,2	83	0,2	0,0	18	4	3	7,3
7. Белая	24	6,2	7,8	238	3,0	4,0	33	11	170	8,1
8. Порья	34	14,1	17,3	240	15,0	8,0	23	76	6	6,8
9. Вудъяврийок	12	24,0	1,8	53	30,0	4,0	18	5	1	7,8
10. Ловчоррийок	11	32,7	1,5	21	0,5	0	22	7	8	6,9
11. Умба	195	1,2	78,2	6470	13,0	30,0	32	180	5	6,6
12. Умбалка	42	10,5	2,7	274	15,0	10,0	28	7	5	6,9
13. Айкуайвенйок	26	16,1	3,8	38	0,8	5,0	10	1	2	6,7
14. Вяла	37	2,8	–	852	20,0	20,0	30	170		6,7
15. Лямукса	22	3,2	–	132	30,0	20,0	26			6,6
16. Кузрека	37	2,3	2,9	255	8,0	20,0	64	133	27	6,9

наши представления о закономерностях формирования биологического разнообразия, которое рассматривается как один из ключевых вопросов глобальной экологии [Biodiversity, 1988]. Указанный район является чрезвычайно удобным для исследований такого рода, так как водотоки доступны, имеется ярко выраженная вертикальная зональность и локальные участки интенсивного техногенного воздействия.

Водоросли занимают ведущее положение в структуре гидробиоценозов по количеству видов и численности, создают большую часть суммарной первичной продукции и лежат в основе пищевых цепей в водных экосистемах. Они быстрее других водных организмов реагируют на изменения окружающей среды.

Водные экосистемы Мурманской области неоднократно, начиная со второй половины 19 века, становились объектом альгологических исследований [Komulainen, 2007; Комулайнен, 2011]. Однако в большинстве случаев исследования проводились на озерах, и их объектом был фитопланктон. Альгологические исследования в реках проводились значительно реже, что, несомненно, затрудняет оценку их современного состояния. Поэтому для речных экосистем инвентаризация альгофлоры и анализ структуры альгоценозов все еще актуальны. Группировки прикрепленных водорослей (фитоперифитон) наиболее характерны для рек региона. Они играют значительную роль в балансе органического вещества, формируют

местообитания для водных беспозвоночных, являются основным преобразователем минеральных веществ, широко используются в системе биомониторинга на водоемах и водотоках [ГОСТ 17.1.3.07-82; Komulainen, 2002].

Цель настоящей работы – выявить таксономическую и экологическую структуру фитоперифитона рек Кандалакшского побережья Белого моря; используя полученные данные, оценить их современное состояние, а также получить фоновые данные для последующего использования при организации мониторинга.

### Материал и методика

Материалом для настоящей работы послужили результаты исследований фитоперифитона 16 рек Кандалакшского побережья Белого моря (рис. 1).

Многие из исследованных рек – это настоящие горные реки. Их истоки находятся на высоте до 800 м, а падение достигает 30 м/км. Реки используются в энергетике, для питьевого, хозяйственно-бытового водоснабжения, отдыха, туризма и рыбной ловли. Природная ценность рек обусловлена их статусом «лососевых» [Калюжин, 2003].

Исследованные реки заметно различаются по гидрологическому режиму, морфометрии русел и водосборов [Ресурсы..., 1970; Иванов, Брызгалов, 2007] (табл. 1). Их воды имеют низкую общую минерализацию и являются

Таблица 2. Таксономическая структура и пропорции компонентов альгофлоры перифитона исследованных рек Кандалакшского побережья Белого моря

Отделы	Fm		Gn		Spp		Sppd		Gn/Fm	Spp/Fm	Spp/Gn
	n	%	n	%	n	%	n	%			
Cyanophyta	15	34,1	21	25,9	40	18,2	8	20,5	1,4	2,7	1,9
Chrysophyta	2	4,5	2	2,5	3	1,4	1	2,6	1,0	1,5	1,5
Dinophyta	1	2,3	1	1,2	1	0,5	0	0,0	1,0	1,0	1,0
Bacillariophyta	9	20,5	29	35,8	134	60,9	22	56,4	3,2	14,9	4,6
Chlorophyta	12	27,3	21	25,9	35	15,9	7	17,9	1,8	2,9	1,7
Euglenophyta	1	2,3	2	2,5	2	0,9	0	0,0	2,0	2,0	1,0
Rhodophyta	4	9,1	5	6,2	5	2,3	1	2,6	1,3	1,3	1,0
Всего	44	100,0	81	100,0	220	100,0	39	100,0	1,8	5,0	2,7

Примечание. Fm – семейства; Gn – роды; Spp – виды; SppD – доминирующие виды; n – число таксонов.

«пресными ксеногалобными». Содержание общего фосфора, за исключением реки Белой, низкое, что указывает на олиготрофный характер водотоков. Вода большинства рек имеет pH близкий к нейтральному. Наиболее существенные изменения pH в сторону щелочного спектра наблюдаются в реке Белой, где в результате поступления шахтных вод в озеро Большой Вудъявр pH сменился от околонейтральных значений до щелочных (~ 8,0).

Во всех реках наблюдения проводили в период летней межени: в августе 2013 года. В статье также использованы результаты более ранних исследований в реках Вяла, Лямукса и Кузрека [Комулайнен, 1996]. Одновременно проводился отбор проб речных вод для химического анализа, который включал определение основных параметров (цветность, содержание общего фосфора, электропроводность и pH) и был выполнен в лаборатории гидрохимии ИВПС КарНЦ РАН.

Пробы отбирались в верховье, среднем и нижнем течении. Для того чтобы оценить роль биотопической неоднородности, выбирали участки, отличающиеся глубинами (0,15–0,40 м), скоростями течения (0,15–0,65 м/с), расположенные на разном удалении от проточных озер и в разной мере подвергаемые антропогенному воздействию. Пробы перифитона отбирали с камней и немногочисленных в исследованных реках макрофитов, среди которых наиболее постоянными были водные мхи: *Fontinalis* spp. и *Hydrohypnum* sp., по отработанной методике [Комулайнен и др., 1989; Комулайнен, 2003].

Определение живого и фиксированного материала проводили с использованием микроскопа Olympus CX41 с цифровой камерой Esra (D30-D3Cplus). Для изучения диатомовых водорослей очищенные от органического вещества методом прокаливания кремнеземные компоненты клеток заключали в высокопреломляющую свет смолу Эляшева (n = 1,67–1,68) [Эляшев, 1957].

При детальном анализе диатомей на кафедре МГУ [Чудаев и др., 2016] использовались световые микроскопы Nikon Eclipse E600 и Leica DM750, оснащенные цифровыми фотокамерами Nikon DS-5M и Leica EC3 соответственно. При этом освобождение створок диатомей от органического вещества проводили методом холодного сжигания [Балонов, 1975], очищенный материал заключали в смолу Naphrax.

При идентификации водорослей использовались отечественные и зарубежные определители пресноводных водорослей [Косинская, 1952, 1960; Киселев, 1954; Попова, 1955; Паламарь-Мордвинцева, 1982, 1984; Komárek, Fott, 1983; Starmach, 1985; Мошкова, Голлербах, 1986; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, b; Рундина, 1998; Komárek, Anagnostidis, 1998, 2005; Eloranta, Kwandrans, 2007; Komárek, 2013]. В составленном списке водоросли расположены согласно схеме, принятой в «Susswasserflora von Mitteleuropa» с уточнением названий видовых таксонов по современным сводкам. В общее число таксонов включены несколько нитчатых водорослей, находящихся в стерильной стадии и определенных до рода, – *Mougeotia* sp. ster., *Spirogyra* sp. ster., *Zygnema* sp. ster., *Bulbochaete* sp. ster., *Oedogonium* sp. ster.

Для установления стабильности фитоперифитона использовался индекс видового разнообразия Шеннона – Уивера [Shannon, Weaver, 1963], для оценки качества вод – индекс сапробности Пантле и Букк [Pantle, Buck, 1955] в модификации Сладечека [Sladecsek, 1973] и трофический диатомовый индекс – TDI [Kelly, Whitton, 1995]. Значения индексов сапробности для видов и сведения об экологической принадлежности водорослей взяты из работы С. С. Бариновой, Л. А. Медведевой и О. В. Анисимовой [2006].

Концентрацию тяжелых металлов определяли в нитчатых зеленых водорослях *Zygnema* sp.,

постоянно доминирующих в перифитоне в конце биологического лета [Komulaunen, 2008], атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре AA-6800 фирмы Shimadzu [Suomen standardisoimisliitto..., 1990].

При кластерном анализе использовались данные о видовом составе, относительной численности, биомассе видов, концентрации тяжелых металлов и индексах сапробности. 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

В перифитоне 16 исследованных рек определено 220 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 81 роду, 44 семействам и 7 отделам: Cyanophyta – 40, Chrysophyta – 3, Dinophyta – 1, Bacillariophyta – 134, Chlorophyta – 35, Euglenophyta – 2, Rhodophyta – 5 (табл. 2, 3).

Основу списка во всех исследованных реках (>90 %) составляют диатомовые, зеленые и сине-зеленые водоросли. На долю диатомовых во всех пробах приходится более половины списка, что характерно для перифитона практически всех водотоков Восточной Фенноскандии [Komulaunen, 2009].

Пропорции и родовая насыщенность альгофлоры также подчеркивают ключевое положение диатомовых, разнообразие которых определяют пеннатные диатомовые семейства Naviculaceae (73 вида). Значительно менее разнообразно представлено в перифитоне семейство Fragilariaceae – 23 вида, но среди его представителей четыре наиболее распространенных в альгофлоре вида: *Tabellaria fenestrata*, *T. flocculosa*, *Fragilaria arcus* и *F. ulna*.

Исследования, проведенные с использованием современных методов [Чудаев и др., 2016], позволили дополнить имеющиеся сведения о Bacillariophyta водотоков и выявить два вида диатомей, новые для альгофлоры Мурманской области (*Navicula ceciliae*, *N. subalpina*), и два вида, новые для альгофлоры России (*Navicula libonensis*, *N. wildii*).

Среди сине-зеленых наиболее богат видами род *Tolypothrix* – 6 видов. В каждой из исследованных рек выявленные таксоны сине-зеленых водорослей в зависимости от морфологии и экологии могут быть объединены в три группы. Первую составляют водоросли порядков *Chroococcales*, *Oscillatoriales* и частично

*Nostocales* (роды *Dolichospermum*, *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. В первую очередь это водоросли родов *Stigonema* и *Nostoc*, которые являются ценозообразующими видами и формируют плотные группировки в «амфибиотической» или «брызговой» зоне. И, наконец, типичные реофилы, главным образом из родов *Tolypothrix* и *Calothrix*.

Вклад зеленых водорослей в видовое разнообразие составил 14,8 % – 35 видов. Видовое богатство зеленых водорослей формируется практически представителями одного семейства – Desmidiaceae – 18 видов.

Красные водоросли представлены всего пятью видами, а единственным доминантом среди них является *Batrachospermum gelatinosum*.

На дендрограмме видового состава (рис. 2) реки не объединены в крупные кластеры, что подчеркивает разнообразие видового состава и структуры доминирующего комплекса.

Сравнительная оценка роли отдельных родов в формировании таксономического разнообразия фитоперифитона показала, что оно определяется в первую очередь родами, в которых преобладают типичные прикрепленные формы: *Eunotia*, *Achnanthes*, *Navicula*, *Cymbella* и *Gomphonema*, соответственно 14, 12, 24, 18 и 15 видов (34,7 %). Наблюдается также свойственное северным флорам преобладание числа родов с одним таксоном (45 родов; 57,7 %) и значительная роль одновидовых семейств (21; 42 %), что объясняется низкой минерализацией поверхностных вод.

Большая часть определенных в перифитоне видов (80,5 %) – евперифитонные формы. Они формируют структуру группировок фитоперифитона во всех исследованных водотоках, составляя от 66,0 до 100,0 % от суммарной численности и достигая максимума в горных реках Айкуайвенйок и Ловчорройок. Флористическое своеобразие перифитона рек состоит в том, что кроме евперифитонных форм, морфологически приспособленных к прикрепленному образу жизни, в группировках постоянно присутствуют планктонные и донные водоросли. Однако только в перифитоне рек Вяля и Умбалка, имеющих озерность соответственно 20 и 15 %, а также в реке Белая на участке, расположенном ниже озера Большой Вудъявр, относительное обилие планктонных видов превышало 20 %.

Положение на шкале галобности известно для 184 таксонов водорослей, подавляющее большинство которых относятся

Таблица 3. Водоросли перифитона рек Кандалакшского побережья Белого моря

Таксоны	Реки
<b>Суанопхита (Суанопсариота)</b>	
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing 1845	11, 12
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Nageli 1849	15
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komarek et Hindák 1988	15
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing 1846	1, 2, 5, 8, 9, 11, 12, 14
<i>Gloeocapsa kuetzingiana</i> Nageli 1849	11
<i>Chamaesiphon confervicolus</i> A. Braun 1865	1, 11, 14, 15
<i>Ch. rostafinskii</i> Hansgirg 1887	1, 16
<i>Stigonema mamillosum</i> (Lyngbye) Agardh ex Bornet et Flahault 1886	2, 5, 8, 11, 15
<i>S. informe</i> Kützing ex Bornet et Flahault 1886	5, 11
<i>Capsosira brebessonii</i> Kützing ex Bornet et Flahault 1886	1, 16
<i>Nostoc coeruleum</i> Lyngbye ex Bornet et Flahault 1888	1, 5, 11, 14, 16
<i>N. commune</i> Vaucher ex Bornet et Flahault 1888	1, 14, 16
<i>N. verrucosum</i> Vaucher ex Bornet et Flahault 1888	1
<i>Dolichospermum affinis</i> (Lemmermann) Waecklin et al. 2009	1
<i>D. flos-aquae</i> Brebisson (ex Bornet et Flahault) Waecklin et al. 2009	8
<i>D. lemmermannii</i> (Richter) Wacklin et al. 2009	14, 15
<i>D. spiroides</i> (Klebahn) Wacklin et al. 2009	2
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet et Flahault 1886	14
<i>Tolypothrix distorta</i> Kützing ex Bornet et Flahault 1887	1, 9, 11, 14, 15
<i>T. elenkinii</i> Hollerbach 1923	5
<i>T. limbata</i> Thuret ex Bornet et Flahault 1887	5, 11
<i>T. rivularis</i> Hansgirg 1891	14
<i>T. saviczii</i> Kossinsk	1, 2, 7, 11
<i>T. tenuis</i> Kützing ex Bornet et Flahault 1887	1, 5, 9, 16
<i>Dichothrix baueriana</i> (Grunow) Bornet et Flahault 1886	8
<i>D. gypsophila</i> (Kützing) Bornet et Flahault 1886	2, 4, 5, 8, 10, 11, 15
<i>Calothrix braunii</i> Bornet et Flahault 1886	1, 5, 6, 11
<i>C. parietina</i> Thuret ex Bornet et Flahault 1886	5, 8, 10, 11
<i>Rivularia aquatica</i> de Wildeman 1897	11
<i>R. borealis</i> Richter 1897	5
<i>R. biasoletiana</i> Meneghini et Flahault 1886	1, 5, 11
<i>R. dura</i> Roth ex Bornet et Flahault 1886	15
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis et Komarek 1988	4–6, 11
<i>Oscillatoria limosa</i> Agardh ex Gomont 1892	4, 5, 7
<i>O. princeps</i> Vaucher ex Gomont 1892	11
<i>O. tenuis</i> Agardh ex Gomont 1892	4, 7,
<i>Leptolyngbya frigida</i> (Fritsch) Anagnostidis et Komarek 1988	11
<i>Phormidium retzii</i> (Agardh) Gomont et Gomont	14
<i>Symplocastrum friesii</i> (Gomont) Kirchner 1898	15
<i>Schizothrix lacustris</i> A. Braun ex Gomont 1892	11–14
<b>Отдел Dinophyceae</b>	
<i>Peridinium cinctum</i> (O.F. Müller) Ehrenberg 1832	11
<b>Отдел Chrysophyceae</b>	
<i>Dinobryon divergens</i> Imhof	15
<i>D. bavaricum</i> Imhof	16
<i>Hydrurus foetidus</i> (Villars) Trevisan	10, 12, 13
<b>Отдел Bacillariophyceae</b>	
<i>Cyclostephanos dubius</i> (Fricke) Round 1982	2, 4, 7

Продолжение табл. 3

Таксоны	Реки
<i>Cyclotella radiosa</i> (Grunow) Lemmermann 1900	14, 15
<i>C. meneghiniana</i> Kützing 1844	11, 14, 15
<i>C. stelligera</i> Cleve et Grunow 1882	14, 15
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen 1979	5, 11
<i>A. distans</i> (Ehrenberg) Simonsen 1979	1, 2, 4, 11
<i>A. granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen 1979	11, 15
<i>A. islandica</i> (O. Müller) Simonsen 1979	5, 7, 8, 10, 11, 14, 15
<i>A. italica</i> (Ehrenberg) Simonsen 1979	9, 12
<i>Melosira varians</i> Agardh 1827	
<i>Asterionella formosa</i> Hassall 1850	11
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres 1925	8, 11, 14–16
<i>F. crotonensis</i> Kitton 1869	4–7, 11, 12
<i>F. capucina</i> Desmazieres 1925	5, 8, 14
<i>F. leptostauron</i> (Ehrenberg) Hustedt 1931	11
<i>F. pinnata</i> Ehrenberg 1843	14
<i>F. virescens</i> Ralfs 1843	11
<i>F. pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot 1980	11
<i>F. ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot 1980	1, 2, 4, 5, 7, 8, 11–14
<i>F. arcus</i> (Ehrenberg) Cleve var. <i>arcus</i>	5
<i>Diatoma anceps</i> (Ehrenberg) Kirchner 1878	9, 16
<i>D. tenuis</i> Agardh 1812	8, 11, 14, 15
<i>D. mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing 1844	2, 4, 10–12
<i>D. vulgaris</i> Bory 1824	6
<i>D. ehrenbergii</i> Kützing 1844	7, 10–12, 15
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh 1831 var. <i>circulare</i>	1
<i>M. circulare</i> var. <i>constrictum</i> (Ralfs) Van Heurck 1880	1–3, 5, 7, 9, 10, 12, 14–16
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing 1844	11
<i>T. flocculosa</i> (Roth) Kützing 1844	1, 3–8, 11, 14–16
<i>Tetracyclus rupestris</i> (Braun) Grunow 1881	1, 2, 4–16
<i>Eunotia diodon</i> Ehrenberg 1837	5, 14
<i>E. fallax</i> var. <i>groenlandica</i> (Grunow) Lange-Bertalot & Nörpet 1991	5
<i>E. formica</i> Ehrenberg 1843	14
<i>E. bilunaris</i> (Ehrenberg) Mills 1934	11
<i>E. monodon</i> Ehrenberg 1843	1, 2
<i>E. pectinalis</i> (Kützing) Ehrenberg 1864	6, 8, 11
<i>E. pectinalis</i> (Kützing) Ehrenberg 1864	4–6, 8, 10, 11, 14, 15
<i>E. pectinalis</i> (Kützing) Ehrenberg 1864	15
<i>E. hexaplyphis</i> Ehrenberg 1854	15
<i>E. praerupta</i> Ehrenberg 1843	10
<i>E. praerupta</i> Ehrenberg 1843	15
<i>E. sudetica</i> O. Müller 1898	8, 11, 14
<i>E. tenella</i> (Grunow) Hustedt 1913	11, 15
<i>E. veneris</i> (Kützing) De Toni 1892	8
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg 1838	8, 14, 15
<i>Achnanthes flexella</i> (Kützing) Brun 1880	4, 5, 7, 10, 11, 14–16
<i>A. minutissima</i> var. <i>affinis</i> (Grunow) Lange-Bertalot 1989	7, 11
<i>A. biasoletiana</i> Grunow 1880	16
<i>A. conspicua</i> A. Mayer 1919	15
<i>A. delicatula</i> var. <i>hauckiana</i> (Grunow) Lange-Bertalot 1989	11

Продолжение табл. 3

Таксоны	Реки
<i>A. kryophila</i> Petersen 1924	15
<i>A. lanceolata</i> (Brebisson) Grunow 1880	11
<i>A. laterostrata</i> Hustedt 1933	11
<i>A. linearis</i> (W. Smith) Grunow	4
<i>A. minutissima</i> Kützing 1833	5, 8, 11, 14, 15
<i>A. peragalloi</i> Brun et Heribaund 1893	1, 4–16
<i>Navicula ceciliae</i> Van de Vijver, Jarlman et Lange-Bertalot	15
<i>N. cryptocephala</i> Kützing 1844	4, 7
<i>N. cuspidata</i> (Kützing) Kützing 1844	4, 7
<i>N. atomus</i> var. <i>excelsa</i> (Krasske) Lange-Bertalot	11
<i>N. exigua</i> (Gregory) Grunow 1880	14
<i>N. tripunctata</i> (O. Müller) Bory 1822.	8, 11, 15
<i>N. gregaria</i> Donkin 1861	11, 14, 16
<i>N. lacustris</i> Gregory 1856	7, 14, 15
<i>N. trivialis</i> Lange-Bertalot 1980	1, 5, 8, 15
<i>N. libonensis</i> Schoemann 1970	14
<i>N. menisculus</i> Schoemann 1867	4
<i>N. mutica</i> Kützing 1844	4, 5, 8, 11, 14, 15
<i>N. peregrina</i> (Ehrenberg) Kützing 1844	1
<i>N. placentula</i> (Ehrenberg) Kützing 1844	7, 11, 14, 15
<i>N. platystoma</i> Ehrenberg 1838	1, 5, 15,
<i>N. radiosa</i> Kützing 1844	11, 15
<i>N. rhynchocephala</i> Kützing 1844	4, 11, 14, 15
<i>N. subalpina</i> Reichardt 1988	9
<i>N. wiesneri</i> Lange-Bertalot, 1993	4
<i>N. wildii</i> Lange-Bertalot 1993	7
<i>N. vulpina</i> Kützing 1844	4, 7
<i>Pinnularia acrosphaeria</i> Rabenhorst 1853	14
<i>P. brevicostata</i> Cleve 1891	14
<i>P. cardinalis</i> (Ehrenberg) W. Smith 1853	15
<i>P. gibba</i> var. <i>mesogongyla</i> (Ehrenberg 1841) Hustedt 1930	15
<i>P. interrupta</i> W. Smith 1853	11
<i>P. major</i> (Kützing) Rabenhorst 1853	6, 7, 11
<i>P. interrupta</i> W. Smith 1853	5, 9, 11
<i>P. microstauron</i> var. <i>brebissonii</i> (Kützing) Mayer 1912	16
<i>Diploneis parma</i> Cleve 1891	11
<i>F. rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni 1891 var. <i>rhomboides</i>	14
<i>F. rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> (Rabenhorst) De Toni 1891	2, 4–6, 9, 11, 16
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg 1843	14
<i>S. phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg 1843	11
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst 1853	11, 15
<i>Cymbella aequalis</i> W. Smith 1855	1, 15
<i>C. affinis</i> Kützing 1844	2
<i>C. amphicephala</i> Naegeli 1849	2, 4, 5, 8, 9, 11, 14 – 16
<i>C. aspera</i> (Ehrenberg) Peragallo 1949	11
<i>C. cessatii</i> (Rabenhorst) Grunow 1881	1, 8, 11
<i>C. cymbiformis</i> Agardh var. <i>cymbiformis</i>	5, 12
<i>C. helvetica</i> Kützing 1844	4, 5, 9, 11, 15
<i>C. gracilis</i> (Ehrenberg 1843) Kützing 1844	1, 5, 11

Продолжение табл. 3

Таксоны	Реки
<i>C. lata</i> Grunow in Cleve 1894	14, 16
<i>C. microcephala</i> Grunow 1880	14
<i>C. naviculacea</i> Grunow 1881	1, 14
<i>C. naviculiformis</i> (Auerswald) Cleve 1894	8, 15
<i>C. cymbiformis</i> var. <i>nonpunctata</i> Fontell 1917	14
<i>C. prostrata</i> (Berkeley) Cleve 1894	8, 11
<i>C. sinuata</i> Gregory 1858	1, 5, 8, 11, 14, 15
<i>C. tumidula</i> Grunow 1875	9
<i>C. elginensis</i> Krammer 1981	4, 7
<i>C. silesiaca</i> Bleisch 1864	5, 11, 12, 16
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing 1844	1–14, 16
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngb.) M. Schmidt.	1, 3–6, 8, 10–16
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg 1832	1–6, 8, 10–16
<i>G. clevei</i> Fricke 1902	2, 5, 8, 9, 11, 14–16
<i>G. truncatum</i> Ehrenberg 1832	11
<i>G. gracile</i> Ehrenberg 1838	1, 4–6, 8, 11, 15
<i>G. angustum</i> Agardh 1831	5, 8
<i>G. clavatum</i> Ehrenberg 1832	8–11
<i>G. olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson 1838	1, 5, 8, 9, 11–16
<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing 1849	5, 8, 11, 14–16
<i>Denticula tenuis</i> Kützing 18494	6, 7, 11, 14–16
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller 1895	11
<i>Epithemia frickei</i> Krammer 1987	11
<i>E. sorex</i> Kützing 1844	12, 16
<i>E. turgida</i> (Ehrenberg) Kützing 1844	5
<i>E. adnata</i> (Kützing) Brébisson 1838	11, 15
<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W. Smith 1853	1, 2, 11, 14, 15
<i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith 1856	1, 2, 4–6, 11
<i>N. sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith 1853	5
<i>N. sinuata</i> (W. Smith) Grunow 1880	16
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow 1880	11
<i>Surirella biseriata</i> Brébisson 1838	6
<i>S. minuta</i> Brébisson 1849	1
<i>S. robusta</i> Ehrenberg 1841	1
<b>отд. Euglenophyceae</b>	
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1834	12
<i>Euglena</i> sp.	9
<b>отд. Chlorophyta</b>	
<i>Hydrodictyon reticulatum</i> (Linnaeus) Bory 1824	1
<i>Sphaerocystis Schroteri</i> Chod 1897	2, 3
<i>Scenedesmus obliquus</i> (Turpin) Kützing 1833	7
<i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini 1840	4, 7
<i>P. tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs 1844	6
<i>Microspora amoena</i> (Kützing) Rabenhorst 1868	1–5, 16
<i>Coleochaete pulvinata</i> A. Braun 1849	8
<i>C. scutata</i> Brébisson 1844	8
<i>Ulothrix zonata</i> (F. Weber & Mohr) Kützing 1843	1, 4, 5, 7, 9, 11, 14, 16
<i>Stigeoclonium tenue</i> (C. Agardh) Kützing 1843	6
<i>Draparnaldia glomerata</i> (Vaucher) C. Agardh 1812	5, 11, 14, 15

Таксоны	Реки
<i>D. plumosa</i> (Vaucher) C. Agardh 1812	11, 14
<i>Oedogonium</i> sp.	1–7,
<i>Bulbochaete</i> sp.	1–3, 5, 8, 11, 15, 16
<i>Spirogyra</i> sp.	1, 3–6, 8, 11, 14
<i>Zygnema</i> sp.	1–3, 5, 6, 8–13, 16
<i>Mougeotia</i> sp.	1–7, 11, 14–16
<i>Closterium cynthia</i> De Notaris	5
<i>C. ehrenbergii</i> Meneghini	6
<i>C. moniliferum</i> (Bory) Ehrenberg	1
<i>C. parvulum</i> Nageli	15
<i>Pleurotaenium minutum</i> var. <i>elongatum</i> (West) Cedergrén 1932	2, 6
<i>Cosmarium botrytis</i> Meneghini	1, 5
<i>C. contractum</i> Brebisson	4
<i>C. depressum</i> (Nageli) Lund	4, 6
<i>C. ehrenbergii</i> Meneghini	6
<i>C. humile</i> (Gay.) Nordst.	9, 11, 15
<i>C. granatum</i> Brebisson	5
<i>C. margaritiferum</i> Meneghini	1, 2, 5
<i>C. pachydermum</i> Lund.	1, 2, 9, 11
<i>C. punctulatum</i> Brebisson	6
<i>C. undulatum</i> Corda. Ex Ralfs	15
<i>Desmidiium swartzii</i> Ralfs	9, 12
<i>Euastrum elegans</i> (Brebisson) Kützing	5
<i>Staurastrum cingulum</i> (W. et G. S. West) G. M. Smith.	11
<i>Hyalotheca mucosa</i> (Mertens) Ehrenberg	11, 15
<b>Rhodophyta</b>	
<i>Hildenbrandia rivularis</i> (Liebmann) J. Agardh 1851	3
<i>Audouinella hermannii</i> (Roth) Duby 1830	1, 5, 10, 14
<i>A. chalybea</i> (Roth) Bory 1823	1, 14, 15
<i>Batrachospermum gelatinosum</i> (Linnaeus) De Candolle 1801	1, 5, 8, 11, 15, 16
<i>Lemanea fluviatilis</i> (Linnaeus) C. Agardh 1811	1, 16

Примечание. \* Номера соответствуют названиям рек на рис. 1 и в табл. 1.

к олигогалобам. Среди них преобладают индифференты, на долю которых приходится 72,8 % от общего числа видов, определенных в перифитоне рек. Галофилы и галофобы значительно менее разнообразны, составляя соответственно 9,8 и 15,8 % от общего числа таксонов.

Среди индикаторов pH среды в перифитоне также преобладают индифференты – 56,6 % таксонов. Алкалофилы и ацидофилы составляют соответственно 24,9 и 18,5 %.

По биогеографической приуроченности перифитон характеризуется разнообразием широкораспространенных видов и присутствием аркто-альпийских, что является типичной чертой водоемов субарктики. Северное положение водосборов исследованных рек

подчеркивается также доминирующим положением в альгофлоре диатомовых водорослей, практически полным отсутствием представителей отдела Euglenophyta, более высоким разнообразием Cyanophyta (Cyanoprokaryota) в сравнении с Chlorophyta, а Nostocales в сравнении с Oscillatoriales. Показателен также набор и видовая насыщенность семейств. В перифитоне исследованных рек самое высокое положение занимают семейства, видовое разнообразие которых отражает голарктические черты флор северного полушария (Naviculaceae (16,1 % от общего числа определенных видов), Desmidiaceae (7,6), Eunotiaceae (5,9) и Fragilariaceae (5,1)), на долю которых приходится около 35 % определенных видов.

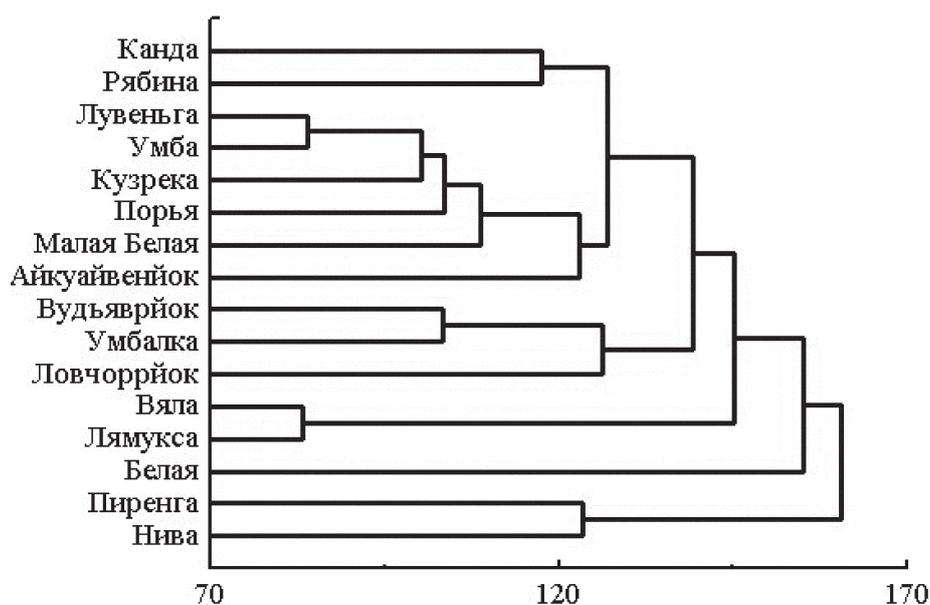


Рис. 2. Дендрограмма сходства видового состава фитоперифитона рек Кандалакшского побережья Белого моря

Размах колебаний численности водорослей в период наблюдения (июль–август) достигал в исследованных реках нескольких порядков – от  $0,1 \times 10^4$  до  $1301 \times 10^4$  кл./см<sup>2</sup>, а биомасса изменялась от 0,01 до 34,4 мг/см<sup>2</sup> субстрата. Однако в целом во всех исследованных реках в конце биологического лета отмечены достаточно близкие средние значения численности и биомассы (табл. 4).

Таблица 4. Численность (N) и биомасса (B) фитоперифитона в реках Кандалакшского побережья Белого моря (конец июля – конец августа)

Реки	N	B
	10 <sup>4</sup> кл./см <sup>2</sup>	мг/см <sup>2</sup>
Канда	48,4 (0,6–250,0)	2,3 (0,03–11,9)
Рябина	15,5 (0,3–150,0)	1,1 (0,02–10,7)
Пиренга	49,1 (0,2–320,0)	3,1 (0,01–20,1)
Нива	27,6 (0,1–470,0)	1,6 (0,01–27,6)
Лувеньга	19,8 (9,2–240,2)	2,5 (0,4–28,4)
Малая Белая	17,4 (0,2–240,0)	0,8 (0,021–2,4)
Белая	53,8 (0,1–110,0)	3,6 (0,01–7,3)
Порья	14,8 (1,2–540,2)	1,5 (0,2–18,9)
Вудьяврйок	16,8 (0,1–21,0)	1,1 (0,01–1,3)
Ловчоррйок	5,00 (0,1–45,0)	0,4 (0,01–3,5)
Умба	21,2 (6,5–1301,5)	4,4 (0,3–36,7)
Умбалка	8,6 (0,1–68,0)	0,4 (0,005–3,1)
Айкуайвенйок	14,8 (0,2–59,0)	0,8 (0,01–3,5)
Вяла	50,4 (2,0–450,0)	3,6 (0,14–32,1)
Лямукса	64,8 (3,1–410,0)	5,0 (0,24–31,5)
Кузрека	38,4 (0,6–120,0)	2,3 (0,01–5,9)

Своеобразие структуры водорослевых об-растаний заключается в том, что они сформированы видами, значительно различающимися по размеру: от нескольких микронов до нескольких сантиметров. Поэтому списки видов, доминирующих по численности и биомассе, заметно отличаются. К видам, доминирующим по численности хотя бы на одной из станций, отнесены 39 видов, или 16,5 %, из них только 15 (6,3 %) доминируют в перифитоне отдельных рек. Реально структуру фитоперифитона в реках определяет еще более ограниченное число видов, которые образуют более 10 % от биомассы фитоперифитона, формируемой в конкретных реках (табл. 5): *Hydrurus foetidus*, *Melosira varians*, *Tabellaria flocculosa*, *Fragilaria ulna*, *F. arcus*, *Achnanthes minutissima*, *Didymosphenia geminata*, *Ulothrix zonata*, *Mougeotia* sp., *Spirogyra* sp., *Zygnema* sp. Только два вида (*Tabellaria flocculosa* и *Achnanthes minutissima*) доминируют на более чем половине станций.

Большинство водорослей, определенных в перифитоне, – единичные формы с низкими показателями численности, причем только 15 % видов были отмечены на всех исследованных участках. Могут быть выделены три группы доминантов. Первая группа наиболее разнообразна и объединяет типичные прикрепленные формы: *Tabellaria flocculosa*, *Achnanthes minutissima*, *Zygnema* sp., *Mougeotia* sp. и др. Вторая – это планктонные виды (*Aulacoseira islandica*), мигрирующие из проточных озер. Третья – виды, характерные для альгофлоры болот (*Eunotia pectinalis*) и часто

Таблица 5. Доминирующие виды в перифитоне рек Кандалакшского берега

Реки	Доминирующие виды	
	по численности (N% > 10)	по биомассе (B% > 10)
Канда	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Tolypothrix saviczii</i> , <i>Microspora amoena</i>	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Microspora amoena</i>
Рябина	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Tolypothrix saviczii</i> , <i>Mougeotia</i> sp.	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Mougeotia</i> sp., <i>Zygnema</i> sp.
Пиренга	<i>Meridion circulare</i> , <i>Didymosphenia geminata</i> , <i>Zygnema</i> sp.	<i>Didymosphenia geminata</i> , <i>Zygnema</i> sp.
Нива	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Didymosphenia geminata</i>	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Didymosphenia geminata</i> , <i>Spirogyra</i> sp.
Лувеньга	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Ulothrix zonata</i> , <i>Mougeotia</i> sp.
Малая Белая	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Zygnema</i> sp.	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Zygnema</i> sp.
Белая	<i>Melosira varians</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i>	<i>Melosira varians</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i>
Порья	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Zygnema</i> sp.
Вудъяврйок	<i>Fragilaria arcus</i> , <i>Meridion circulare</i> , <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Fragilaria arcus</i> , <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Ulothrix zonata</i>
Ловчоррйок	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Achnanthes minutissima</i>
Умба	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Zygnema</i> sp., <i>Mougeotia</i> sp.
Умбалка	<i>Fragilaria arcus</i> , <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Fragilaria arcus</i> , <i>Hydrurus foetidus</i>
Айкуайвенйок	<i>Fragilaria ulna</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Zygnema</i> sp.	<i>Fragilaria ulna</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Zygnema</i> sp., <i>Hydrurus foetidus</i>
Вяла	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Mougeotia</i> sp.	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Mougeotia</i> sp.
Лямукса	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>Fragilaria arcus</i> , <i>Mougeotia</i> sp.	<i>Fragilaria arcus</i> , <i>Mougeotia</i> sp.
Кузрека	<i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Mougeotia</i> sp.	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Mougeotia</i> sp.

доминирующие в перифитоне рек, имеющих сильно заболоченные водосборы.

При кластерном анализе, основанном на сравнении количественных характеристик, выделились две группы. Группа А объединяет горные реки с низкими значениями численности и биомассы, где в альгоценозах доминируют диатомовые водоросли. В группе Б представлены реки с большими по площади водосборами, с большей озерностью и протяженностью равнинных участков, что определяет большее биотопическое разнообразие и более разнообразную альгофлору. Руслу некоторых из них расположены в урбанизированных ландшафтах, и формирование фитоперифитона происходит в условиях повышенной антропогенной нагрузки, что объясняет доминирование нитчатых сине-зеленых и зеленых водорослей и присутствие толерантных к загрязнению видов.

Эколого-географические спектры для доминирующего комплекса несколько отличаются от описывающих альгофлору перифитона в целом. В составе доминирующего комплекса более разнообразны евперифитонные формы, при сохранении структуры географического

спектра отмечается увеличение доли галофобных и ацидофильных форм.

Анализ пространственной динамики видового состава перифитона показал, что в верхнем течении речных систем группировки фитоперифитона состоят практически из диатомовых водорослей, кроме них в горных реках постоянно присутствует и доминирует только *Hydrurus foetidus*. Разнообразие и обилие зеленых и сине-зеленых водорослей увеличивается по направлению к устью. Отмечены различия в видовом составе и на других уровнях таксономического анализа. Водоросли порядка *Araphales*, как правило, более разнообразны в верховьях рек. Порядок *Raphales* слагается из разных в экологическом отношении водорослей, как обрастателей (роды *Cymbella*, *Gomphonema*), так и свободно передвигающихся (*Navicula*, *Pinnularia*). Первые равномерно распределены вдоль реки, а вторые достигают максимального обилия в нижнем течении рек, где более обычны центрические диатомеи. Группировки с доминированием представителей рода *Eunotia* характерны для заболоченных участков рек.

Большое влияние на форму континуума оказывает ландшафт, трофность проточных озер,

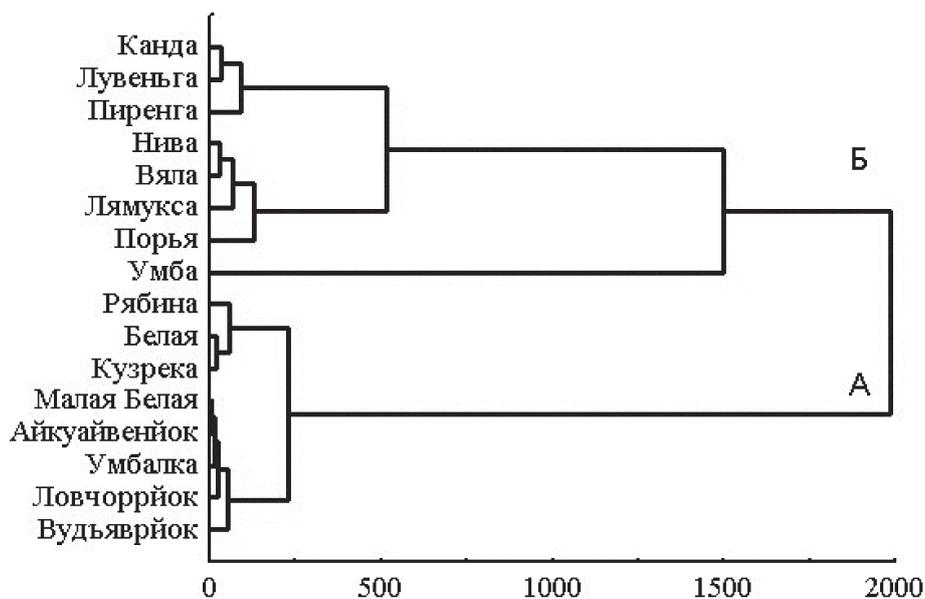


Рис. 3. Дендрограмма сходства состава фитоперифитона рек Кандалакшского побережья Белого моря по численности

наличие и расположение импактных зон. С ней связаны как видовое разнообразие, так и плотность водорослей в перифитоне. Это в свою очередь и сказывается на направленности пространственной сукцессии фитоперифитона, примеры которой представлены на рисунке 4.

Для фитоперифитона в системе рек Рябина – Канда характерно практически классическое изменение параметров. Здесь наблюдается увеличение видового богатства, плотности альгоценозов перифитона, индексов видового разнообразия и сапробности от верховья реки к устью.

В системе рек Вудьяврйок – Белая – Нива изменения в континууме оказались отличными от классического [Vannote et al., 1980], что часто наблюдается в реках Восточной Фенноскандии [Комулайнен, 2008]. Здесь на фоне увеличения видового богатства и плотности альгоценозов наблюдается снижение индекса видового разнообразия, а наиболее высокие значения индекса сапробности отмечены для участков реки Белая ниже озера Большой Вудьявр.

Среди 236 видов водорослей, определенных в фитоперифитоне исследованных рек, 131 – индикаторы сапробности (табл. 7). Анализ сапробиологической структуры гидробиоценозов показал, что наиболее разнообразны среди индикаторов β-мезосапробы (54 вида, или 39,7 %) и олигосапробы (41 вид, 30,1 %). Так как в доминирующем комплексе, особенно в верховьях рек, постоянны с- и с-олигосапробы, то значения индекса Сладечека и трофического диатомового индекса (TDI) изменяются соответственно от 0,54 до 1,54 и от 0,84 до 3,27,

что позволяет отнести воды исследованных рек к олигосапробной зоне. На отсутствие загрязнения в большинстве исследованных участков указывает также отсутствие в сообществах видов-индикаторов органического загрязнения, редкая встречаемость видов, характерных для эвтрофируемых водоемов, разнообразие в фитоперифитоне десмидиевых водорослей [Гецен, 1985] и отсутствие морфологических проявлений токсических эффектов, например, нарушения морфологии панциря диатомей [Денисов и др., 2009].

Наиболее высокие индексы сапробности отмечены для нижнего течения рек Умба, Вяла и Нива, а также для участка реки Белая, расположенного в истоке из озера Большой Вудьявр. Они соответствуют β-мезосапробной зоне, что указывает на умеренное загрязнение. Для остальных исследованных участков полученные значения индексов сапробности по шкале оценки качества вод соответствуют чистым водам (класс чистоты II).

По результатам кластерного анализа интегральных значений индексов сапробности выделены две группы рек (рис. 5). Кластер А объединяет реки, в которых биота, в том числе и фитоперифитон, формируется в естественных условиях. В кластере Б представлены реки, протяженные участки которых расположены в импактных зонах.

Различия в степени антропогенной нагрузки на водосборах исследованных рек подтверждаются анализом накопления тяжелых металлов в тканях нитчатых водорослей (*Zygnema* sp.). Причем концентрация всех тяжелых металлов

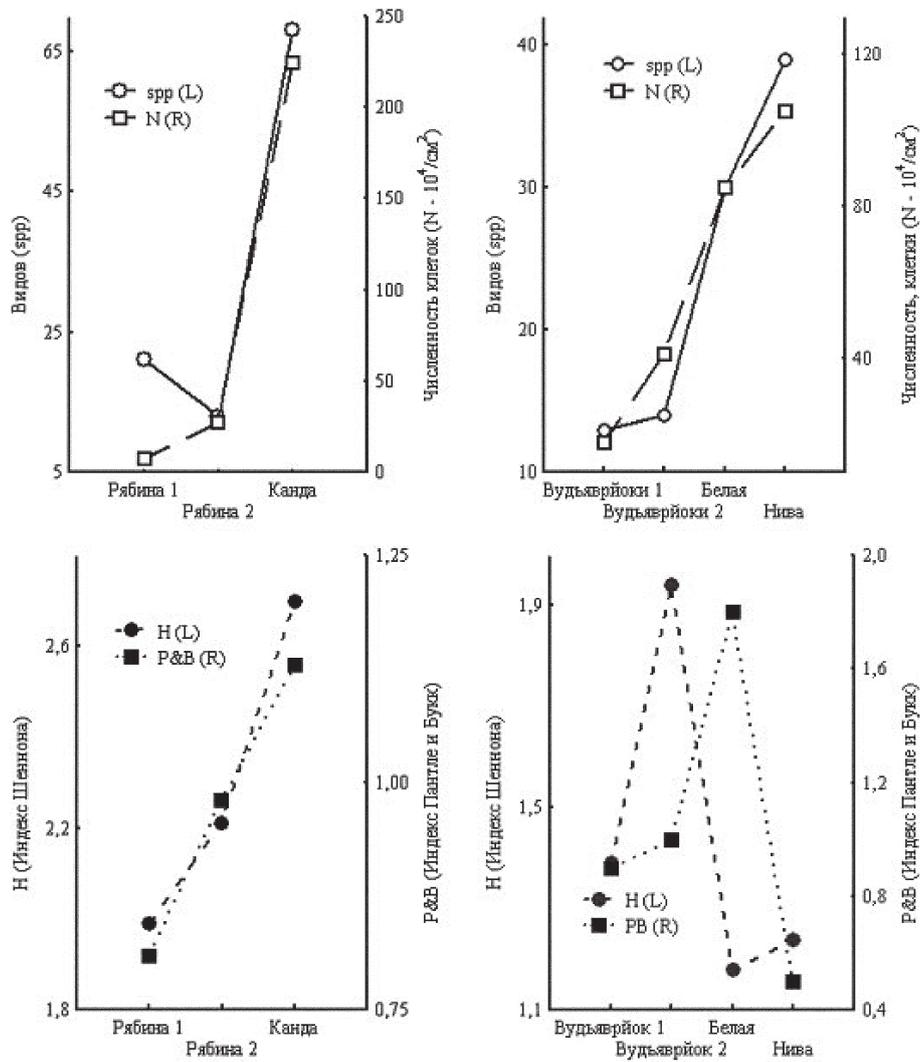


Рис. 4. Особенности формирования континуума в речных системах Рябина – Канда и Вудъяврюк – Белая – Нива (spp – число видов, N – численность водорослей, H – индекс Шеннона, P&V – индекс Пантле и Бука)

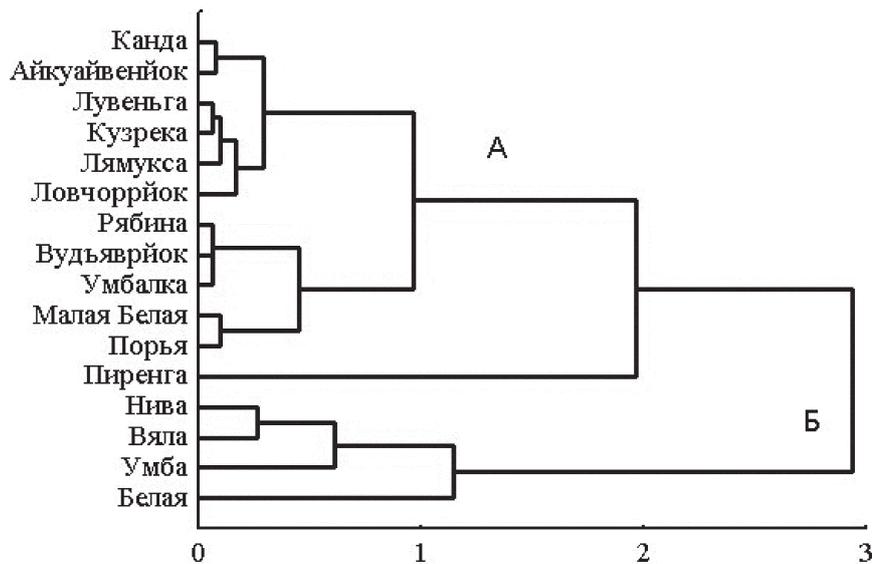


Рис. 5. Дендрограмма уровня сапробности по результатам кластерного анализа интегральных значений индексов сапробности исследованных рек Кандалакшского побережья Белого моря

Таблица 6. Тяжелые металлы в перифитоне рек Кандалакшского побережья Белого моря

Реки	Cd	Pb	Zn	Ni	Co	Cr
	мг/кг АСВ (Ср ± Ср. отклонение)					
Рябина	0,4 ± 0,07	3,9 ± 1,7	54,0 ± 7,7	5,42 ± 0,7	1,45 ± 0,7	9,57 ± 4,7
Малая Белая	0,1 ± 0,01	2,7 ± 0,7	55,4 ± 9,5	19,8 ± 8,1	2,5 ± 1,5	12,3 ± 5,1
Вудъяврйок	0,3 ± 0,01	7,0 ± 0,01	28,4 ± 7,4	10,6 ± 5,1	0,18 ± 0,01	6,61 ± 3,1
Белая	0,4 ± 0,2	10,0 ± 7,4	48,2 ± 14,4	21,6 ± 8,1	3,5 ± 1,5	11,7 ± 5,9
Айкуайвенйок	0,1 ± 0,01	0,3 ± 0,1	44,4 ± 14,0	11,6 ± 6,1	2,7 ± 1,7	7,5 ± 4,2
Умбалка	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,03	31,9 ± 10,0	5,5 ± 1,0	1,2 ± 1,0	2,3 ± 1,0
Пиренга	0,7 ± 0,6	6,0 ± 5,1	43,7 ± 16,6	21,0 ± 6,9	3,4 ± 1,3	19,4 ± 10,7
Нива	0,7 ± 0,5	4,9 ± 4,1	47,3 ± 17,9	32,4 ± 2,5	5,6 ± 1,9	14,3 ± 6,1
Умба	0,2 ± 0,02	0,1 ± 0,01	26,2 ± 0,1	6,92 ± 0,1	1,49 ± 0,1	4,71 ± 0,1

(табл. 6) оказалась ниже наблюдаемой в загрязненных реках Мурманской области [Комулайнен, Морозов, 2007; Komulainen, Morozov, 2007].

При кластеризации с использованием данных о концентрации шести основных тяжелых металлов в тканях водорослей были выделены три группы рек (рис. 6). Максимальная суммарная концентрация тяжелых металлов отмечена в реках Белая, Пиренга и Нива, воды которых обогащаются бытовыми и промышленными стоками. В двух других группах рек, большинство из которых – типичные горные реки, отмеченные значения концентрации тяжелых металлов значительно ниже.

### Выводы

Таксономическая структура и количественные характеристики фитоперифитона исследованных рек Кандалакшского побережья Белого моря обусловлены зональным положением их

водосборов, особенностями ландшафта, которые определяют морфометрию и гидрологический режим водотоков, а также уровнем антропогенной нагрузки.

При достаточно высоком видовом богатстве структура доминирующего комплекса достаточно постоянна. Она сформирована небольшим числом видов диатомовых, зеленых и красных водорослей, типичных для холодноводных, олиготрофных водотоков, которые определяют биомассу фитоперифитона в исследованных реках. Своеобразие структуры фитоперифитона заключается в том, что он сформирован видами, заметно различающимися по размеру: от нескольких микронов до нескольких сантиметров. Поэтому списки видов, доминирующих по численности и биомассе, также заметно различаются.

Эколого-географический анализ фитоперифитона показал, что его структуру определяют типичные прикрепленные формы. Низкая

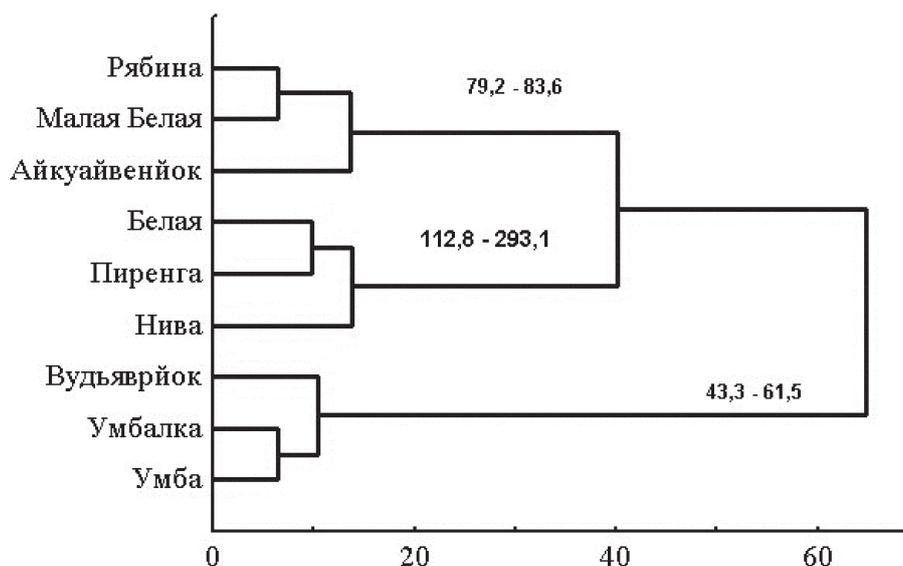


Рис. 6. Дендрограмма сходства рек Кандалакшского побережья Белого моря по суммарной концентрации тяжелых металлов в перифитоне. Цифрами обозначены суммарные значения концентрации тяжелых металлов

минерализация рек объясняет высокое разнообразие индифферентных по отношению к солености и рН видов.

Значения численности и биомассы фитоперифитона позволяют судить о достаточно высокой степени его развития, о жизненной активности и устойчивости.

Индикационные возможности фитоперифитона также высоки. Структура фитоперифитона и рассчитанные индексы достаточно четко отражают биотопическое разнообразие и трофический статус рек. Одновременное проведение исследований на не подверженных антропогенной нагрузке реках или участках рек позволяет решить проблемы, связанные с отсутствием фоновых данных. Имеющиеся данные о структурных характеристиках фитоперифитона и рассчитанных индексах дополняют друг друга, повышая объективность выводов.

*Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания, темы №№ 0221-2014-0005 и 0221-2014-0038.*

## Литература

*Балонов И. М.* Подготовка диатомовых и золотистых водорослей к электронной микроскопии // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. С. 87–90.

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

*Гецен М. В.* Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. Л.: Наука, 1985. 165 с.

*ГОСТ 17.1.3.07-82* Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды, водоемов и водотоков.

*Денисов Д. Б., Валькова С. А., Кашулин Н. А.* Экологические особенности перифитона и зообентоса водных экосистем Хибинского горного массива (Кольский полуостров) // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 12. С. 163–175.

*Денисов Д. Б., Кашулин Н. А., Терентьев П. М., Валькова С. А.* Современные тенденции изменения биоты пресноводных экосистем Мурманской области // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 3. С. 525–538.

*Иванов В. В., Брызгалов В. А.* Гидролого-гидрохимический режим водосбора Белого моря // Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 52–117.

*Иванов В. В.* Пресноводный баланс Северного Ледовитого океана // Тр. ААНИИ. 1976. Т. 323. С. 13–147.

*Калюжин С. М.* Атлантический лосось Белого моря: проблемы воспроизводства и эксплуатации. Петрозаводск: Петропресс, 2003. 263 с.

*Кашулин Н. А., Денисов Д. Б., Сандимиров С. С. и др.* Антропогенные изменения водных систем Хибинского горного массива (Мурманская область). Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2008. Т. 1. 250 с.

*Киселев И. А.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Пирофитовые водоросли. М.: Сов. наука, 1954. Вып. 6. 212 с.

*Комулайнен С. Ф.* Перифитон рек Ленинградской, Мурманской областей и Республики Карелия: опер.-информ. материалы. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1996. 39 с.

*Комулайнен С. Ф.* Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. 43 с.

*Комулайнен С. Ф.* Формирование речного континуума на примере фитоперифитона малых рек Восточной Фенноскандии // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Борок: Принтхаус, 2008. С. 24–30.

*Комулайнен С. Ф.* Дополнительные материалы к «Библиографии работ по водорослям Европейского Севера России» // Труды КарНЦ РАН. 2011. Вып. 11, № 1. С. 97–103.

*Комулайнен С. Ф., Морозов А. В.* Изменение структуры фитоперифитона в малых реках урбанизированных территорий // Водные ресурсы. 2007. 34 (3). С. 346–353.

*Комулайнен С. Ф., Круглова А. Н., Хренников В. В., Широков В. А.* Методические рекомендации по изучению гидробиологического режима малых рек. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1989. 41 с.

*Комулайнен С. Ф., Чекрыжева Т. А., Вислянская И. Г.* Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 78 с.

*Косинская Е. К.* Конъюгаты, или сцеплянки (I): Мезотениевые и гонатозиговые водоросли. М.; Л.: АН СССР, 1952. 164 с.

*Косинская Е. К.* Десмидиевые водоросли. Конъюгаты, или сцеплянки. Флора споровых растений СССР. М.; Л.: АН СССР. 1960. Т. 5, вып. 1. 706 с.

*Моисеенко Т. И.* Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты: Кольский научный центр, 1997. 262 с.

*Мошкова Н. А., Голлербах М. М.* Зеленые водоросли. Класс Улотриксковые // Определитель пресноводных водорослей СССР. Л.: Наука, 1986. Вып. 10, часть 1. 360 с.

*Паламарь-Мордвинцева Г. М.* Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые // Определитель пресноводных водорослей СССР. Л.: Наука, 1982. Вып. 11, часть 2. 620 с.

*Паламарь-Мордвинцева Г. М.* Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Вип. VII. Кон'югати. Ч. 1. Киев: Наук. думка, 1984. 512 с.

*Попова Т. Г.* Эвгленовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Сов. наука, 1955. Вып. 7. 283 с.

*Природные условия Хибинского учебного полигона: Учебное пособие по практикам студентов-географов в Хибинах / Под. ред. С. М. Мягкова. М.: Моск. ун-т, 1986. 170 с.*

Ресурсы поверхностных вод СССР. Кольский полуостров. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1970. Т. 1. 315 с.

Рундина Л. А. Зигнемовые водоросли России (Chlorophyta: Zygnematomphyceae, Zygnematales). СПб.: Наука, 1998. 351 с.

Чудаев Д. А., Куликовский М. С., Комулайнен С. Ф. Виды *Navicula* s. Str. (Bacillariophyta, Naviculaceae) в реках Мурманской области // Ботанический журнал. 2016. Т. 100 (1). С. 21–33.

Эльясhev А. А. О простом способе приготовления высокопреломляемой среды для диатомового анализа // Сб. статей по палеонтологии и биостратиграфии. Л.: НИИ геологии Арктики, 1957. Вып. 4. С. 74–75.

*Biodiversity* / Ed. by E. O. Wilson. National Academy Press. Washington, D. C. 1988. 487 p.

Eloranta P., Kwandrans J. Freshwater red algae (Rhodophyta) Identification guide to European taxa, particularly to those in Finland. Saarijrvien Offset Oy. Saarijvi. Finland. 2007. 103 p.

Kelly M. G., Whitton B. A. The trophic Diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers // J. of Applied Phycology. Vol. 7. 1995. P. 433–444.

Komárek J. Cyanoprokaryota 3. Teil: Heterocytous Genera. In: Budel B., Gärtner G., Krienitz L., Schagerl M.: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Vol. 19/3, Spektrum Akademischer Verlag. 2013. 1130 p.

Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds.) Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1, Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm. 1998. 548 p.

Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales. In: Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2, Elsevier/Spektrum, Heidelberg. 2005. 759 p.

Komárek J., Fott B. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung Chlorococcales. In: Huber-Pestalozzi (ed.), Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie Teil 7, 1. Hälfte. Stuttgart. 1983. 1044 p.

Komulaynen S. Use of periphyton for monitoring in rivers in Northwest Russia // J. of Applied Phycology. 2002. Vol. 14. P. 57–62.

Komulaynen S. Algological studies of fluvio-lacustrine systems in the northern European part of Russia // International J. of Agrology. 2007. Vol. 2. P. 139–149.

Komulaynen S. The green algae as structural element of phytoplankton communities in streams of the North-western Russia // Biology. 2008. Vol. 63 (6). P. 859–865.

Komulaynen S. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia // Studi Trentini di Scienze Naturali. 2009. Vol. 84. P. 153–160.

Komulaynen S., Morozov A. Spatial and temporal variation of heavy metal levels in phytoplankton in small streams of Northwest Russia // Arch. Hydrobiol. Suppl. 161 (3-4). P. 435–442.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Naviculaceae In: Ettl H., Gerloff G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa Bd 2/1. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1986. 860 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/2. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag, 1988. 596 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl H., Gerloff G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/3. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 1991a. 576 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis. In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd 2/4. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991b. 437 p.

Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserfach. Bd. 96. 18. 1955. 604 p.

Shannon C. B., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois): Univ. of Illinois Press, 1963. 345 p.

Sladeczek V. System of water quality from the biological point of view // Arch. f. Hydrobiol.-Beiheft Ergebnisse der Limnologie, Bd. 7. 1973. 218 p.

Starmach K. Chrysophyceae und Haptophyceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 1. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 1985. 515 p.

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

Vannote R. L., Minshall G. W., Cummins K. W. et al. The river continuum concept. // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1980. Vol. 37. P. 130–137.

Поступила в редакцию 18.11.2016

## References

Balonov I. M. Podgotovka diatomovykh i zolotistyykh vodoroslei k elektronnoi mikroskopii [Diatoms and chrysophytes preparing for electron microscopy]. Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov [Methodology for the study of inland waters biogeocoenoses]. Moscow, 1975. P. 87–90.

Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimov O. V. Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayushchei sredy [Biodiversity of algae as environmental indicators]. Tel' Aviv: Pilies Studio, 2006, 498 p.

Chudaev D. A., Kulikovskii M. S., Komulainen S. F. Vidy *Navicula* s. Str. (Bacillariophyta, Naviculaceae) v rekakh Murmanskoi oblasti [*Navicula* s. Str. (Bacillariophyta, Naviculaceae) species in rivers of the Murmansk region]. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical Journal]. 2016. Vol. 100 (1). P. 21–33.

Denisov D. B., Val'kova S. A., Kashulin N. A. Ekologicheskie osobennosti perifitona i zoobentosa vodnykh ekosistem Khibinskogo gornogo massiva (Kol'skii poluostrov) [Ecological peculiarities of periphyton and

zoobenthos of freshwater ecosystems of the Khibiny massif (the Kola Peninsula)]. *Vestnik MGTU [Vestnik of MSTU]*. 2016. Vol. 19, no. 12. P. 163–175.

Denisov D. B., Kashulin N. A., Terent'ev P. M., Val'kova S. A. Sovremennye tendentsii izmeneniya bioty presnovodnykh ekosistem Murmanskoi oblasti [Modern tendencies of biota modification in freshwater ecosystems of the Murmansk region]. *Vestnik MGTU [Vestnik of MSTU]*. 2009. Vol. 12, no. 3. P. 525–538.

El'yashev A. A. O prostom sposobe prigotovleniya vysokoprelomlyaemoi sredy dlya diatomovogo analiza [On a simple method for preparing medium of high-refractive index for diatom analysis]. Sb. statei po paleontologii i biostratigrafii [Collection of Papers on Paleontology and Biostratigraphy]. Leningrad: NII geologii Arktiki, 1957. Iss. 4. P. 74–75.

Getsen M. V. Vodorosli v ekosistemakh Krainego Severa [Algae in the ecosystems of the Extreme North]. Leningrad: Nauka, 1985. 165 p.

GOST 17.1.3.07-82 Okhrana prirody. Gidrosfera. Pravila kontrolya kachestva vody, vodoemov i vodotokov [Nature protection. Hydrosphere. Procedures for quality control of water in reservoirs and stream flows].

Ivanov V. V., Bryzgalov V. A. Gidrologo-gidrokhimicheskie rezhim vodosbora Belogo morya [Hydrological and hydrochemical regime of the White Sea catchment]. Beloe more i ego vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov [The White Sea and its Catchment under Climate and Human Impact]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2007. P. 52–117.

Ivanov V. V. Presnovodnyi balans Severnogo Ledovitogo okeana [Freshwater balance of the Arctic Ocean]. *Tr. AANII [Proceed. of the Arctic and Antarctic Res. Inst. (AARI)]*. 1976. Vol. 323. P. 13–147.

Kalyuzhin S. M. Atlanticheskii losos' Belogo morya: problemy vosproizvodstva i ekspluatatsii [The Atlantic salmon of the White Sea: problems of reproduction and fishery]. Petrozavodsk: Petropress, 2003. 263 p.

Kashulin N. A., Denisov D. B., Sandimirov S. S., Dauval'ter V. A., Kashulina T. G., Malinovskii D. N., Vandysh O. I., Il'yashuk B. P., Kudryavtseva L. P. Antropogennye izmeneniya vodnykh sistem Khibinskogo gornogo massiva (Murmanskaya oblast') [Human-caused changes in aquatic systems of the Khibiny massif (Murmansk region)]. Apatity: Kol'skii nauchnyi tsentr RAN, 2008. Vol. 1. 250 p.

Kiselev I. A. Opredeletel' presnovodnykh vodoroslei SSSR. Pirofitovye vodorosli [Key to freshwater algae of the USSR. Pyrrophyta]. Moscow: Sov. nauka, 1954. Iss. 6. 212 p.

Komulainen S. F. Perifiton rek Leningradskoi, Murmanskoi oblasti i Respubliki Kareliya. Operativno-informatsionnye materialy [Periphyton of rivers of the Leningrad region, Murmansk region and the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1996. 39 p.

Komulainen S. F. Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu fitoperifitona v malykh rekakh [Guidelines for phytoplankton study in small rivers]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2003. 43 p.

Komulainen S. F. Formirovanie rechnogo kontinuum na primere fitoperifitona malykh rek Vostochnoj Fennoskandii [Formation of river continuum through the example of small rivers phytoplankton in the eastern

Fennoscandia]. Jekosistemy malykh rek: bioraznoobrazie, jekologiya, ohrana [Ecosystems of Small Rivers: Biodiversity, Ecology, Protection]. Borok: Prinhaus, 2008. P. 24–30.

Komulainen S. F. Dopolnitel'nye materialy k «Bibliografii rabot po vodoroslyam Evropeiskogo Severa Rossii» [Additional materials to the Bibliography of works on the algae of the European North of Russia]. *Trudy KarNTs RAN [Trans. of KarRC of RAS]*. 2011. No. 1. P. 97–103.

Komulainen S. F., Morozov A. V. Izmenenie struktury fitoperifitona v malykh rekakh urbanizirovannykh territorij [Variations in phytoplankton structure in small rivers in urbanized areas]. *Vodnye resursy [Water Resources]*. 2007. 34 (3). P. 346–353.

Komulainen S. F., Chekryzheva T. A., Vislyanskaya I. G. Al'goflora ozer i rek Karelii. Taksonomicheskii sostav i ekologiya [Algal flora of lakes and rivers in Karelia. Taxonomic composition and ecology]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2006. 78 p.

Komulainen S. F., Kruglova A. N., Khrennikov V. V., Shirokov V. A. Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu gidrobiologicheskogo rezhima malykh rek [Guidelines for hydrobiological regime study in small rivers]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1989. 41 p.

Kosinskaya E. K. Kon'yugaty, ili stseplyanki (I): Mezoteniyeve i gonatozigovye vodorosli [Conjugatophyceae (I): Mesotaeniales and Gonatozygales]. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1952. 164 p.

Kosinskaya E. K. Desmidievy vodorosli. Kon'yugaty, ili stseplyanki. Flora sporovykh rastenii SSSR [Desmidiales. Conjugatophyceae. Spore-bearing plants of the USSR]. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1960. Vol. 5, iss. 1. 706 p.

Moiseenko T. I. Teoreticheskie osnovy normirovaniya antropogennykh nagruzok na vodoemy Subarktiki [Theoretical foundations of regulation anthropogenic load on the Subarctic water bodies]. Apatity: Kol'skii nauchnyi tsentr, 1997. 262 p.

Moshkova N. A., Gollerbakh M. M. Zelenye vodorosli. Klass Ulotriksovye [Green algae. Ulothrichophyceae]. Opredeletel' presnovodnykh vodoroslei SSSR [Key to Freshwater Algae of the USSR]. Leningrad: Nauka, 1986. Iss. 10, part 1. 360 p.

Palamar'-Mordvintseva G. M. Zelenye vodorosli. Klass Kon'yugaty. Poryadok Desmidievye [Green algae. Conjugatophyceae. Order Desmidiales]. Opredeletel' presnovodnykh vodoroslei SSSR [Key to Freshwater Algae of the USSR]. Leningrad: Nauka, 1982. Iss. 11, part 2. 620 p.

Palamar'-Mordvintseva G. M. Vznachnik prisnovodnih vodorostej Ukraïns'koi RSR [Key to freshwater algae in the Ukrainian SSR]. Iss. VII. Kon'yugaty [Conjugatophyceae]. P. 1: Kiev: Nauk. dumka, 1984. 512 p. [in Ukrain.].

Popova T. G. Evglenovye vodorosli [Euglenophyta]. Opredeletel' presnovodnykh vodoroslei SSSR [Key to Freshwater Algae of the USSR]. Moscow: Sov. nauka, 1955. Iss. 7. 283 p.

Prirodnye usloviya Khibinskogo uchebnogo poligona: Uchebnoe posobie po praktikam studentov-geografov v Khibinakh [Environmental conditions of the Khibiny training ground: manual for practical training of Geography students in the Khibiny Mountains]. Ed. S. M. Myagkova. Moscow: Mosk. un-t, 1986. 170 p.

*Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Kol'skii poluostrov* [Resources of the surface waters of the USSR. The Kola Peninsula]. Leningrad: Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1970. Vol. 1. 315 p.

*Rundina L. A. Zignemovye vodorosli Rossii* (Chlorophyta: Zygnematophyceae, Zygnematales) [Zygnematales of Russia (Chlorophyta: Zygnematophyceae, Zygnematales)]. St. Petersburg: Nauka, 1998. 351 p.

*Biodiversity*. Ed. by E. O. Wilson. National Academy Press. Washington, D. C. 1988. 487 p.

*Eloranta P., Kwandrans J.* Freshwater red algae (Rhodophyta) Identification guide to European taxa, particularly to those in Finland. Saarijärven Offset Oy. Saarijärvi. Finland. 2007. 103 p.

*Kelly M. G., Whitton B. A.* The trophic Diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *J. of Applied Phycology*. 1995. Vol. 7. P. 433–444.

*Komárek J.* Cyanoprokaryota 3. Teil: Heterocytous Genera. In: Budel, B., Gärtner, G., Krienitz, L., Schagerl, M.: Süßwasserflora von Mitteleuropa Vol. 19/3, Spektrum Akademischer Verlag. 2013. 1130 p.

*Komárek J., Anagnostidis K.* Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds.) Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1, Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm. 1998. 548 p.

*Komárek J., Anagnostidis K.* Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales. In: Büdel, B., Krienitz, L., Gärtner G., Schagerl M. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2, Elsevier/Spektrum, Heidelberg. 2005. 759 p.

*Komárek J., Fott B.* Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung Chlorococcales. In: Huber-Pestalozzi (ed.), Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie Teil 7, 1. Hälfte. Stuttgart. 1983. 1044 p.

*Komulaynen S.* Use of periphyton for monitoring in rivers in Northwest Russia. *J. of Applied Phycology*. 2002. Vol. 14. P. 57–62.

*Komulaynen S.* Algological studies of fluvio-lacustrine systems in the northern European part of Russia. *International J. of Agrology*. 2007. Vol. 2. P. 139–149.

*Komulaynen S.* The green algae as structural element of phytoplankton communities in streams of the Northwestern Russia. *Biology*. 2008. Vol. 63 (6). P. 859–865.

*Komulaynen S.* Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia. *Studi Trentini di Scienze Naturali*. 2009. Vol. 84. P. 153–160.

*Komulaynen S., Morozov A.* Spatial and temporal variation of heavy metal levels in phytoplankton in small streams of Northwest Russia. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 161 (3-4). P. 435–442.

*Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae: Naviculaceae In: Ettl H., Gerloff G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa Bd 2/1. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1986. 860 p.

*Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/2. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag, 1988. 596 p.

*Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae In: Ettl H., Gerloff G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/3. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991a. 576 p.

*Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis. In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd 2/4. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991b. 437 p.

*Pantle R., Buck H.* Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserfach*. Bd. 96. 18. 1955. 604 p.

*Shannon C. B., Weaver W.* The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois): Univ. of Illinois Press, 1963. 345 p.

*Sladeczek V.* System of water quality from the biological point of view. *Arch. f. Hydrobiol.-Beiheft Ergebnisse der Limnologie*. Bd. 7. 1973. 218 p.

*Starmach K.* Chrysophyceae und Haptophyceae. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd. 1. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 1985. 515 p.

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

*Vannote R. L., Minshall G. W., Cummins K. W., Sedell J. R., Cushing C. E.* The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1980. 37: 130–137.

Received November 18, 2016

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

### Комулайнен Сергей Федорович

ведущий научный сотрудник, д. б. н.  
Институт биологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: komsf@mail.ru  
тел.: (8142) 561679

## CONTRIBUTOR:

### Komulainen, Sergey

Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: komsf@mail.ru  
tel.: (8142) 561679