

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО ПЕРИФИТОНА
ЛИТОРАЛИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

Е.С. Мирошниченко*, М.И. Москвина**

*Мурманский государственный технический университет

**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Представлены результаты анализа видового состава цианобактериального перифитона литорали западного и восточного берегов южного и среднего колен Кольского залива (Баренцево море), позволяющие дать экологическую характеристику исследованному сообществу. Пробы перифитона отбирали со всех горизонтов литорали станций во время отлива методом соскоба скальпелем с поверхности естественных и антропогенных субстратов в периоды с сентября 2010 года по апрель 2012 года, а также с января по май 2014 года. В результате было определено 68 видов цианобактерий, из которых 33 вида впервые приводятся для Баренцева моря. Основой перифитонного сообщества цианобактерий литорали залива являются представители 5 семейств: Pseudanabaenaceae, Phormidiaceae, Chroococcaceae, Synechococcaceae и Xenococcaceae, составивших 69,1 % от всего видового богатства. Доминирующие виды – *Leibleinia nordgaardii*, *L. epiphytica*, *Gloeocapsopsis crepidinum*, *Calothrix scopulorum*, *Pseudophormidium battersii*, *Leptolyngbya fragilis*. Наибольшее число видов цианобактерий перифитона представлено обрастателями неживых субстратов и эпифитами, высок вклад планктонных форм, меньшей встречаемостью обладают бентосные, перифитонно-бентосные, тихопланктонные и эврибионтные виды. Цианобактериальное сообщество – преимущественно морское, субдоминантное положение занимают пресноводные виды, реже встречаются солоноватоводные и эвригалитные формы. Видовое сходство и разнообразие цианобактерий перифитона, определенные с помощью индексов сходства Жаккара, доминирования Симпсона, полидоминантности и Шеннона–Уивера, указывают на наличие благоприятных, но различающихся между собой местообитаний на разных участках литорали Кольского залива. Выявлено 25 индикаторных видов цианобактерий, и, после вычисления индекса Пантле–Букка (в модификации Сладечека), качество вод станций оценено как переходное от чистых к умеренно загрязненным (от олиго- к β -мезосапробности).

Ключевые слова: цианобактерии, перифитон, экологические формы, индекс сходства, индексы разнообразия, индикаторы сапробности, Кольский залив, Баренцево море.

Контактное лицо: Мирошниченко Екатерина Сергеевна, адрес: 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13; e-mail: lutsenko@mstu.edu.ru

Для цитирования: Мирошниченко Е.С., Москвина М.И. Экологическая характеристика цианобактериального перифитона литорали Кольского залива Баренцева моря // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2016. № 3. С. 59–71. doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.3.59

Цианобактерии широко распространены в природе и обнаруживаются в разных частях земного шара от Арктики до Антарктики. Они часто обитают в виде биопленок в трещинах и неровностях камней и скал, где создаются защищенные от меняющихся условий окружающей среды местообитания, а также на антропогенных субстратах и поверхности эукариотических организмов [1, 2]. Высокую жизнеспособность и стабильное развитие сообществ цианобактерий в экстремальных условиях полярных водных экосистем обеспечивает их способность адаптироваться к постоянно низким температурам среды, смене циклов заморозания и оттаивания, высушиванию, изменению солености, высоким и низким уровням инсоляции и воздействию ультрафиолета [2, 3].

Сведения о цианобактериях Баренцева моря, представленные в научной литературе, скудны. Исследования цианобактерий обрастания литорали Баренцева моря [4, 5] показали, что на талломах бурой водоросли *Laminaria saccharina* обитают цианобактерии родов *Synechococcus* и *Dermocarpa*. Сообщество цианобактерий морской литорали Восточного Мурмана, описанное в 2005 году [6], насчитывает 88 видов из 46 родов, 21 семейства и 4 порядков.

Кольский залив – это фьорд Баренцева моря на Мурманском берегу Кольского полуострова [7]. Согласно оценке качества вод Кольского залива Мурманским УГМС по гидрохимическим показателям [8], его воды в районах станций южного колена считаются грязными (V класс), а воды станций среднего колена – чистыми (II класс). В водах залива присутствуют тяжелые металлы, нефтепродукты и органические вещества, поступающие в акваторию с производственными и хозяйственно-бытовыми сточными водами [8].

Цель работы – эколого-ценотический анализ сообщества цианобактерий в перифитоне литорали Кольского залива Баренцева моря. Задачи работы: определение видового состава

цианобактерий в перифитоне литорали залива, анализ биологического разнообразия их сообществ на станциях южного и среднего колена залива, характеризующихся разным уровнем влияния природных и антропогенных факторов.

Материалы и методы. В период с сентября 2010 года по апрель 2012 года [9], а также с января по май 2014 года проводили сбор материала и исследование видового состава цианобактерий обрастания на 5 станциях, расположенных на западном и восточном берегах южного и среднего колена Кольского залива (рис. 1).

Станции 1, 2 и 2-А расположены в южном колене залива, существенное влияние на экосистему которого оказывают стоки рек Колы и Туломы. Антропогенное давление на акваторию южного колена оказывает сброс сточных вод от населенных пунктов, предприятий и Мурманского морского порта. Западный и восточный берега южного колена Кольского залива окаймлены осыхающими отмелями, грунт вблизи берегов – ил, песок с камнем. Станции 3 и 3-А расположены в среднем колене залива, водные массы которого сформированы солеными водами атлантического происхождения [7]. Западный берег среднего колена менее подвержен антропогенной нагрузке в сравнении с восточным, а загрязнение акватории происходит в результате работ с нефтепродуктами, сброса сточных вод от населенных пунктов и баз морского флота. Грунт на берегах среднего колена залива представлен преимущественно камнем, местами песком, на литорали хорошо выражен пояс фукоидов [7].

Температуру, соленость вод, концентрацию растворенного кислорода, фосфатов и нитратов в прибрежных водах станций определяли ежемесячно в период с октября 2012 по октябрь 2013 годов по стандартным методикам¹.

Для исследования видового состава цианобактерий прибрежья Кольского залива пробы

¹РД 52.10.243–92. Руководство по химическому анализу морских вод. Введ. 1993–07–01. СПб., 1993. 264 с.



Рис. 1. Карта-схема Кольского залива с расположением станций отбора проб

обрастания собирали с поверхностей субстратов на литорали методом соскоба материала стерильным скальпелем [10]. Всего было отобрано 143 пробы, из них со ст. 1 – 38, со ст. 2 – 30, со ст. 2-А – 26, со ст. 3 – 32 и со ст. 3-А – 17. Отбор обрастаний проводили в основном со скал и валунов (114 проб), а также с металлических причалов и бетонных блоков,

деревянных, стеклянных, металлических и пластиковых предметов, поверхностей раковин моллюсков и талломов макрофитов. Собранный оброст помещали в стерильные конверты из крафт-бумаги и транспортировали в лабораторию. Далее готовили препараты (просмотрено 272 препарата) методом раздавленной капли и просматривали в живом состоянии под

биологическим тринокулярным микроскопом марки «Микромед-2» в проходящем свете при увеличениях 400× и 1000×.

Видовую принадлежность цианобактерий выявляли в соответствии с определителями [11–14]. Встречаемость видов (*P*) определяли по отношению числа проб, в которых обнаружен вид, к общему числу проб, в процентах. Для анализа видового разнообразия сообщества цианобактерий использовали индекс доминирования Симпсона и индекс полидоминантности, индекс разнообразия Шеннона–Уивера, индекс сходства Жаккара [10]. Биологический анализ сапробности вод станций Кольского залива проводили с использованием индекса сапробности вод Пантле–Букка (в модификации Сладечека) [15, 16]. Индикаторную значимость и зону сапробности устанавливали для каждого вида по спискам сапробных организмов. Относительное число видов вычисляли по шестиступенчатой шкале значений частоты встречаемости [15].

Результаты и обсуждение. Минимальные значения температуры воды на станциях Кольского залива отмечены в зимний период (от –2,0 до +0,5 °С), максимальные – в летний (от +10,0 до +16,5 °С). Среднегодовые значения солености вод станций увеличивались от кута к выходу из залива и составили (9±2) ‰ на ст. 1, (22±2) ‰ на ст. 2 и 2-А, (26±4) ‰ на ст. 3 и 3-А. Среднегодовые значения концентрации растворенного кислорода в водах станций были в пределах установленных норм [8] и увеличивались с (8,3±0,7) мг О₂/л на ст. 1 до (11,3±1,0) мг О₂/л на ст. 3. Наибольшие среднегодовые значения содержания нитратов и фосфатов отмечены на ст. 1 ((61,53±2,07) и (65,21±1,32) мкг/л соответственно) в кутовой части залива, а наименьшие – на ст. 3 ((25,97±1,63) и (12,12±0,95) мкг/л соответственно) в среднем колене залива.

В результате исследований видового состава цианобактерий перифитона на 5 станциях Кольского залива обнаружено 68 видов цианобактерий, относящихся к 38 родам, 13 семействам, 3 порядкам (табл. 1). Из них 33 вида впервые приводятся для Баренцева моря (отмечены звездочкой).

В сообществе цианобактерий перифитона литорали наибольшее число видов относится к порядку Chroococcales (48,5 %), несколько меньше – к порядку Oscillatoriales (44,1 %), наименьшее – к порядку Nostocales (7,4 %). На станциях западного берега Кольского залива (ст. 1, 2, 3) отмечено преобладание цианобактерий порядка Chroococcales (52,6, 55,6 и 56,7 % от общего числа видов соответственно), в то время как на станциях восточного берега (ст. 2-А и 3-А), находящихся в зоне более сильной антропогенной нагрузки, доминировали представители Oscillatoriales (51,2 и 50 % от общего числа видов соответственно).

Основу перифитонного сообщества цианобактерий литорали залива составляют представители семейств Pseudanabaenaceae (17 видов, 25 % от числа всех видов), Phormidiaceae (10 видов, 14,7 %), Chroococcaceae (8 видов, 11,8 %), Synechococcaceae (6 видов, 8,8 %) и Xerococcaceae (6 видов, 8,8 %). Таким образом, вышеперечисленные семейства представлены 47 видами, что составляет 69,1 % от числа всех обнаруженных видов цианобактерий перифитона. Преобладание в перифитоне литорали залива представителей указанных семейств вполне закономерно, поскольку большинство видов, входящих в них, являются обычными компонентами микробных биопленок в полярных водоемах [2, 13, 14].

На всех станциях наибольшая насыщенность видами была отмечена для семейства Pseudanabaenaceae (ст. 1 – 28,9 %, ст. 2 – 22,2 %, ст. 2-А – 24,4 %, ст. 3 – 23,3 % и ст. 3-А – 27,8 %). Значительную долю, 64–89 % от всего числа семейств цианобактерий на станциях, составляют маловидовые семейства. Это служит признаком неблагоприятности местообитаний [17], находящихся в жестких климатических условиях Кольского Заполярья.

Цианобактерии перифитона литорали Кольского залива принадлежат к 38 родам. Среднее число видов, приходящееся на каждый род, равно 1,79, что указывает на пополнение видового состава цианобактерий за счет иммиграции данных микроорганизмов с сопредельных

Таблица 1

ВИДЫ ЦИАНОБАКТЕРИЙ, ОБНАРУЖЕННЫХ В ПЕРИФИТОНЕ СТАНЦИЙ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА
БАРЕНЦЕВА МОРЯ

№ п/п	Таксон	Станции обнаружения
Порядок Chroococcales		
Семейство Synechococcaceae		
1	<i>Aphanothece marina</i> * (Ercegovic) Komárek & Anagnostidis	1; 2; 2-A
2	<i>Aphanothece smithii</i> * Komárková-Legnerová & G. Cronberg	1; 2; 2-A; 3
3	<i>Cyanothece aeruginosa</i> (Nägeli) Komárek	2-A
4	<i>Gloethece subtilis</i> * Skuja	3
5	<i>Synechococcus salinarum</i> Komárek	3
6	<i>Synechococcus nidulans</i> (Pringsheim) Komárek	1
Семейство Merismopediaceae		
7	<i>Aphanocapsa holsatica</i> (Lemmermann) G. Cronberg et Komárek	2-A
8	<i>Aphanocapsa litoralis</i> Hansgirg	1; 2; 2-A; 3
9	<i>Aphanocapsa salina</i> Woronichin [Voronichin]	2; 2-A
10	<i>Synechocystis pevalekii</i> Ercegovic	1; 2; 2-A; 3
11	<i>Synechocystis salina</i> * Wislouch	1; 2; 2-A; 3; 3-A
Семейство Microcystaceae		
12	<i>Eucapsis minor</i> * (Skuja) Elenkin	3
13	<i>Gloeocapsa salina</i> * Hansgirg	1; 2; 3
14	<i>Microcystis firma</i> * (Kützing) Schmidle	1; 2; 2-A; 3
15	<i>Microcystis natans</i> Lemmermann ex Skuja	1; 3
Семейство Chroococcaceae		
16	<i>Chroococcus cohaerens</i> (Brébisson) Nägeli	1; 3
17	<i>Chroococcus microscopicus</i> * Komárková-Legnerová & G. Cronberg	1; 2; 3
18	<i>Chroococcus minutus</i> * (Kützing) Nägeli	1; 2; 2-A
19	<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli	2; 3-A
20	<i>Cyanosarcina chroococcoides</i> * (Geitler) Kováčik	1
21	<i>Gloeocapsopsis crepidinum</i> (Thuret) Geitler ex Komárek	1; 2; 3-A; 3
22	<i>Pseudocapsa maritima</i> * Komárek	2; 2-A
23	<i>Pseudocapsa sphaerica</i> (Proskina-Lavrenko) Kováčik	1; 2; 2-A; 3-A
Семейство Dermocarpellaceae		
24	<i>Cyanocystis olivacea</i> * (Reinsch) Komárek et Anagnostidis	1; 2; 2-A; 3; 3-A
25	<i>Dermocarpa acervata</i> (Setchell & Gardner) Pham-Hoàng Hô	2; 2-A

Продолжение табл. 1

№ п/п	Таксон	Станции обнаружения
Порядок Chroococcales		
Семейство Xenococcaceae		
26	<i>Chroococcidiopsis fissurarum</i> (Ercegovic) Komárek & Anagnostidis	2-A
27	<i>Chroococcopsis fluviatilis</i> (Lagerheim) Komárek et Anagnostidis	2; 3; 3-A
28	<i>Myxosarcina gloeocapsoides</i> (Setchell & N.L. Gardner) Komárek & Anagnostidis	2; 2-A
29	<i>Xenococcus pyriformis</i> * Setchell & N.L. Gardner	1; 2-A
30	<i>Xenotholos kernerii</i> * (Hansgirg) M. Gold-Morgan et al.	2-A
31	<i>Xenotholos starmachii</i> * (Geitler) M. Gold-Morgan et al.	1; 2; 2-A; 3-A
Семейство Hyellaceae		
32	<i>Pleurocapsa fuliginosa</i> Hauck	1; 3; 3-A
33	<i>Radaisia Gomontiana</i> * Sauvageau	1; 2; 3
Порядок Oscillatoriales		
Семейство Pseudanabaenaceae		
34	<i>Heteroleibleinia distincta</i> * (Schmidle) Anagnostidis et Komárek	1; 2
35	<i>Heteroleibleinia epiphytica</i> * (Wille) Komárek et Anagnostidis	1; 2; 2-A; 3; 3-A
36	<i>Leibleinia epiphytica</i> (Hieronymus) Compère	1; 2; 2-A; 3
37	<i>Leibleinia nordgaardii</i> (Wille) Anagnostidis et Komárek	1; 2; 2-A; 3; 3-A
38	<i>Leibleinia subtilis</i> * (Holden) Anagnostidis & Komárek	1; 3
39	<i>Leptolyngbya fragilis</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	1; 2; 2-A; 3; 3-A
40	<i>Leptolyngbya gracilis</i> * (Lindstedt) Anagnostidis & Komárek	1; 2-A
41	<i>Leptolyngbya minuta</i> (Lindstedt) Anagnostidis & Komárek	2-A
42	<i>Leptolyngbya mycoidea</i> * (Frémy) Anagnostidis	2
43	<i>Leptolyngbya saxicola</i> * (N.L. Gardner) Anagnostidis	2-A; 3-A
44	<i>Pseudanabaena catenata</i> * Lauterborn	1; 2; 2-A
45	<i>Pseudanabaena frigida</i> * (F.E. Fritsch) Anagnostidis	1; 2; 2-A; 3
46	<i>Pseudanabaena mucicola</i> * (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	1
47	<i>Pseudanabaena tenuis</i> Koppe	1
48	<i>Pseudanabaena westiana</i> * Anagnostidis	3-A
49	<i>Spirulina meneghiniana</i> * Zanardini ex Gomont	2-A
50	<i>Spirulina subsalsa</i> Oersted ex Gomont	3
Семейство Borziaceae		
51	<i>Komvophoron breve</i> * (Carter) Anagnostidis	1; 2; 3
52	<i>Yonedaella lithophila</i> (Ercegovic) Umezaki	1; 2; 2-A; 3

Окончание табл. 1

№ п/п	Таксон	Станции обнаружения
Семейство Phormidiaceae		
53	<i>Microcoleus chthonoplasts</i> Thuret ex Gomont	2-A; 3-A
54	<i>Phormidium ambiguum</i> Gomont	2-A
55	<i>Phormidium holdenii</i> * (Forti) Branco, Sant'Anna et al.	2; 2-A
56	<i>Phormidium laetevirens</i> * (P.L. Crouan & H.M. Crouan ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	2-A; 3-A
57	<i>Phormidium papyraceum</i> Gomont ex Gomont	2-A
58	<i>Phormidium subuliforme</i> * (Thwaites ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	3
59	<i>Planktothrix agardhii</i> * (Gomont) Anagnostidis & Komárek	2-A
60	<i>Porphyrosiphon luteus</i> (Gomont ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	1; 2-A
61	<i>Pseudophormidium battersii</i> (Gomont) Anagnostidis	1; 2; 2-A; 3; 3-A
62	<i>Pseudophormidium golenkinianum</i> (Gomont) Anagnostidis	2; 2-A
Семейство Oscillatoriaceae		
63	<i>Lyngbya meneghiniana</i> * Gomont	2-A; 3-A
Порядок Nostocales		
Семейство Nostocaceae		
64	<i>Anabaena contorta</i> Bachmann	3-A
65	<i>Nostoc minutissimum</i> Kutzing ex Bornet & Flahault	1; 2
Семейство Rivulariaceae		
66	<i>Calothrix aeruginea</i> Thuret ex Bornet & Flahault	1; 2-A; 3
67	<i>Calothrix fusca</i> f. <i>parva</i> (Ercegovic) Poljansky	2
68	<i>Calothrix scopulorum</i> C. Agardh ex Bornet & Flahault	1; 2; 3

Примечание: * – виды, впервые отмеченные в Баренцевом море.

пространств [18]. Ведущими родами цианобактерий перифитона являются *Phormidium*, *Lep-
tolyngbya* и *Pseudanabaena*, включающие по 5 видов (22 % от всех видов). Роды *Chroococcus* (4 вида), *Aphanocapsa*, *Calothrix* и *Leibleinia* (по 3 вида) обладают меньшей значимостью, причем за счет их доминирования лишь на отдельных станциях. Вышеуказанные ведущие 7 родов цианобактерий составляют 41,2 % от всего видового разнообразия и являются широко распространенными на побережье полярных морей [6, 14].

Анализ родового и семейственного спектров указывает на разнообразие сообщества цианобактерий литорали Кольского залива, что обусловлено наличием морских и пресноводных компонентов, миграционных процессов и адаптаций видов к обитанию в высокоширотных водоемах. Подобное разнообразие ранее отмечено в прибрежье Восточного Мурмана Баренцева моря [6].

Из табл. 2, см. с. 66, видно, что состав видов цианобактерий, характеризующихся высокой встречаемостью в пробах, сходен на всех

Таблица 2

ДОМИНИРУЮЩИЕ ВИДЫ ЦИАНОБАКТЕРИЙ
В ПЕРИФИТОНЕ ЛИТОРАЛИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Вид	Встречаемость, %					
	На всех станциях	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 2-А	Ст. 3	Ст. 3-А
<i>Leibleinia nordgaardii</i>	57,4	77,8	44,8	29,4	50,0	64,7
<i>Leibleinia epiphytica</i>	31,8	57,8	24,1	23,5	27,8	–
<i>Gloeocapsopsis crepidinum</i>	18,9	–	27,6	–	22,2	41,2
<i>Calothrix scopulorum</i>	16,9	46,7	–	–	–	–
<i>Pseudophormidium battersii</i>	14,2	–	–	23,5	–	35,3
<i>Leptolyngbya fragilis</i>	13,5	–	–	41,2	–	29,4

станциях. Все указанные доминирующие виды цианобактерий предпочитают обитать на каменистых субстратах и являются типичными представителями микроводорослей супралиторальной, литоральной и sublиторальной зон множества морских экосистем [13, 14], а также приведены в списке цианобактерий обрастания для побережья юго-восточной части Баренцева моря [6]. Остальные виды цианобактерий отличаются меньшей встречаемостью в пробах (менее 10 %).

Видовая структура цианобактерий перифитона по станциям сходна с описанной выше для всего залива в целом. Но, помимо указанных в табл. 2 ведущих видов, выявленные цианобактерии-доминанты по станциям представлены также обрастателями и эпифитами с высокой встречаемостью в пробах: на ст. 1 – *Aphanocapsa litoralis* ($P = 22\%$) и *Nostoc minutissimum* ($P = 22\%$), на ст. 2 – *Chroococcus microscopicus* ($P = 31\%$), на ст. 2-А – *Leptolyngbya minuta* ($P = 23,5\%$) и *Phormidium ambiguum* ($P = 23,5\%$), на ст. 3-А – *Xenotholus starmachii* ($P = 35\%$) и *Phormidium laetevirens* ($P = 23,5\%$). На ст. 3 доминирующие виды совпадали с доминантами по заливу в целом (см. табл. 2).

Значения индекса сходства Жаккара для сообществ цианобактерий на станциях, находя-

щиеся в пределах от 18 до 35, могут указывать на различающиеся гидролого-гидрохимические условия среды обитания.

Индекс полидоминантности (табл. 3) показал изменчивость видовой структуры сообществ цианобактерий перифитона от олигодоминантного сообщества на ст. 3-А до полидоминантного на ст. 2-А. Это противоречит общеизвестному факту, что полидоминантные сообщества организмов характерны только для чистой и благополучной среды обитания [15]. Возможно, что формирование полидоминантного сообщества цианобактерий

Таблица 3

ЗНАЧЕНИЯ ИНДЕКСОВ ДОМИНИРОВАНИЯ
СИМПСОНА (D_s), ПОЛИДОМИНАНТНОСТИ (S_i)
И ШЕННОНА–УИВЕРА (H')

Станции отбора проб	D_s	S_i	H'
Все станции	0,048	20,83	4,36
Ст. 1	0,076	13,16	3,01
Ст. 2	0,055	18,18	3,21
Ст. 2-А	0,036	27,78	3,47
Ст. 3	0,071	14,08	3,01
Ст. 3-А	0,085	11,76	2,62

в загрязненных районах Кольского залива связано с особенностями метаболизма этих микроорганизмов. Так, цианобактерии в неблагоприятных условиях (например, при отсутствии света или биогенных элементов в окружающей среде) способны переходить с фотосинтеза на миксотрофный или гетеротрофный типы питания, а также фиксировать атмосферный азот [1, 2], что, по-видимому, способствует их выживанию при высоком уровне антропогенной нагрузки. Полученные сравнительно высокие значения индекса Шеннона–Уивера (см. табл. 3) также указывают на стабильность экосистемы и благоприятные условия для развития бактериальных сообществ, несмотря на имеющийся значительный уровень антропогенной нагрузки на экосистему залива.

Наименьшее видовое разнообразие сообщества цианобактерий было определено для ст. 3-А, что, по нашему мнению, связано с небольшим, по сравнению с другими станциями, числом отобранных проб из ЗАТО г. Североморск.

Эколого-ценотический анализ видового состава цианобактерий перифитона всех станций литорали Кольского залива представлен на рис. 2, 3.

Наибольшее число видов цианобактерий (всего 36) представлено обрастателями неживых субстратов (в основном камней) и эпифитами, их суммарная доля составляет 53 % от всех видов. Как известно, цианобактерии, вследствие своей теплолюбивости [6], предпочитают обитать на поверхности прогреваемых субстратов: камней, валунов, скал. Высокий уровень развития макрофитов на литорали Кольского залива, в свою очередь, благоприятствует развитию эпифитных форм цианобактерий. Значительный вклад планктонных форм (11 видов) в структуру сообщества, по-видимому, обусловлен привнесением их с приливно-отливными течениями и стоками рек Туломы и Колы, которые оказывают сильное влияние на все фитопланктонное сообщество залива [19]. Бентосные и перифитонно-бентосные цианобактерии представлены 8 видами (12 %), другие смешанные формы – 9 видами (13 %). Такое разнообразие экологических группировок выделенных цианобактерий свидетельствует о наличии на литорали благоприятных для них микроместообитаний и пополнении сообществ за счет миграционных процессов. На станциях, так же как и во всем заливе, но в разных пропорциях, доминировали обрастатели неживых субстратов и эпифиты. Третьими

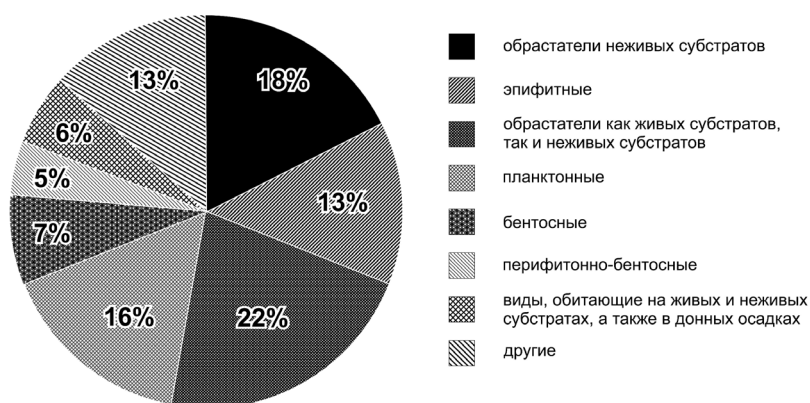


Рис. 2. Экологические группировки цианобактерий перифитона литорали Кольского залива по отношению к местообитанию

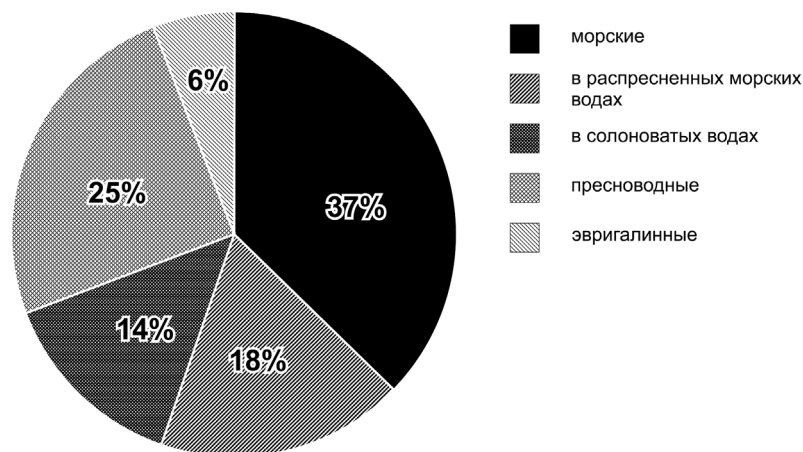


Рис. 3. Экологические группировки цианобактерий перифитона Кольского залива по отношению к солености воды

по значимости формами цианобактерий на ст. 1 и 3 были планктонные, по-видимому, в основном привнесенные впадающими в районы станций реками (реки Кола и Тулома на ст. 1, р. Белокаменка на ст. 3).

Доминирующее положение среди выявленных видов цианобактерий перифитона залива занимают морские виды (25 видов, 37 % – см. рис. 3). Субдоминантное положение занимают виды, способные обитать в распресненных морских (12 видов, 18 %) и солоноватых водах (9 видов, 14 %), пресноводные формы (17 видов, 25 %), и лишь 5 видов (6 %) оказались эвригалинными. Такое распределение форм цианобактерий типично для высокоширотных сообществ [6] и, вероятно, вызвано миграциями биотических компонентов с водными массами Баренцева моря и пресными водами впадающих в залив рек. Ранее при исследовании фитопланктона и фитобентоса Кольского залива также был отмечен морской характер микрофитосообществ со стабильным вкладом пресноводного компонента в его структуру в течение года [19, 20]. Аналогичное распределение форм цианобактерий по отношению к солености воды отмечено и для сообществ на каждой из станций, лишь на литорали ст. 3-А

отсутствуют эвригалинные виды. Наибольшее число пресноводных видов цианобактерий приурочено к опресненной ст. 1, а морских видов – к ст. 2 и 2-А, расположенным в средней части южного колена залива, где влияние континентального стока значительно меньше, чем в районах остальных станций.

Среди выявленных цианобактерий обнаружено 25 видов – индикаторов сапробности. Индекс сапробности вод, рассчитанный для всех станций ($S_{\text{общ}} = 1,60$), характеризует воды залива как β -мезосапробные, умеренно загрязненные (III класс). Сравнение значений индекса Пантле–Букка для каждой станции показало, что качество их вод находится на одном уровне – на переходной ступени между олиго- и β -мезосапробностью ($S_{\text{ст. 1}} = 1,58$; $S_{\text{ст. 2}} = 1,45$; $S_{\text{ст. 2-А}} = 1,44$; $S_{\text{ст. 3}} = 1,41$), т. е. между чистыми и умеренно загрязненными (II–III класс).

По нашему мнению, оценка уровня загрязнения ст. 3-А невозможна, т. к. четырех выявленных на ней индикаторных видов цианобактерий недостаточно для проведения данного анализа.

Выводы:

1. В перифитоне Кольского залива обнаружено 68 видов цианобактерий, из них

33 ранее не упоминались для Баренцева моря. Доминирующими видами являются *Leibleinia nordgaardii*, *L. epiphytica*, *Gloeocapsopsis crepidinum*, *Calothrix scopulorum*, *Pseudophormidium battersii*, *Leptolyngbya fragilis*.

2. Установленные значения индексов сходства и разнообразия указывают на наличие благоприятных, различающихся между собой местообитаний цианобактерий на разных участках литорали.

3. Цианобактерии в основном представлены обрастателями неживых субстратов и эпифитами, высок вклад планктонных форм, мень-

шей встречаемостью обладают бентосные, перифитонно-бентосные, тихопланктонные и эврибионтные виды.

4. Сообщество цианобактерий перифитона Кольского залива – преимущественно морское с большим вкладом пресноводного компонента, реже встречаются солоноватоводные и эвригалитные виды.

5. Прибрежные воды исследованных станций оценены по индикаторным видам цианобактерий как переходные от чистых к умеренно загрязненным (олиго-β-мезосапробные).

Список литературы

1. Пиневиц А.В. Парадоксы биоразнообразия, филогении и систематики цианобактерий // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16, Биология. 2008. № 1. С. 23–26.
2. Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time / ed. B.A. Whitton. New York, 2012. 760 p.
3. Vincent W.F. Cold Tolerance in Cyanobacteria and Life in the Cryosphere // Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments / ed. J. Seckbach. Heidelberg, 2007. P. 287–301.
4. Москвина М.И. Азотфиксация в Баренцевом море: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1991. 24 с.
5. Мишустина И.Е., Москвина М.И., Северина И.И., Родикова Л.П. Цианобактерии рода *Synechococcus* в морях Арктического бассейна // Докл. Акад. наук. 1994. Т. 336, № 4. С. 562–565.
6. Белякова Р.Н. *Cyanoprokaryota* Восточного Мурмана (Баренцево море) // Новости систематики низш. растений. 2005. Т. 38. С. 8–21.
7. Кольский залив: освоение и рациональное природопользование / отв. ред. Г.Г. Матишова. М., 2009. 381 с.
8. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2013 году. Н. Новгород, 2014. 152 с.
9. Луценко Е.С., Шалыгин С.С., Давыдов Д.А. Перифитонные цианобактерии литорали Кольского залива Баренцева моря // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2013. Т. 16, № 3. С. 472–477.
10. Комулайнен С.Ф. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск, 2003. 43 с.
11. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. М., 1953. 398 с.
12. Косинская Е.К. Определитель морских синезеленых водорослей. Л.; М., 1948. 278 с.
13. Komárek J., Anagnostidis K. *Cyanoprokaryota*. 1 Teil. *Chroococcales* // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Berlin, 1998. Bd. 19/1. 548 p.
14. Komárek J., Anagnostidis K. *Cyanoprokaryota*. 2 Teil. *Oscillatoriales* // Süßwasserflora von Mitteleuropa. München, 2005. Bd. 19/2. 759 p.
15. Баринаева С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 498 с.
16. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: метод. руководство. М., 2003. 157 с.
17. Гецен М.В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. Л., 1985. 165 с.
18. Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л., 1974. 244 с.

19. Олейник А.А. Фитопланктон Кольского залива: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мурманск, 2011. 15 с.
20. Витченко Т.В. Структурно-продукционные характеристики морского микрофитобентоса литоральной зоны Восточного Мурмана: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2005. 25 с.

References

1. Pinevich A.V. Paradoxy bioraznoobraziya, filogenii i sistematiki tsianobakteriy [Paradoxes of Biodiversity, Phylogeny and Systematics of Cyanobacteria]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 16: Biologiya* [Moscow University Biological Sciences Bulletin], 2008, no. 1, pp. 23–26.
2. *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*. Ed. by B.A. Whitton. New York, 2012. 760 p.
3. Vincent W.F. Cold Tolerance in Cyanobacteria and Life in the Cryosphere. *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments*. Ed. by J. Seckbach. Heidelberg, 2007, pp. 287–301.
4. Moskvina M.I. *Azotifikatsiya v Barentsevom more: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Nitrogen Fixation in the Barents Sea: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Moscow, 1991. 24 p.
5. Mishustina I.E., Moskvina M.I., Severina I.I., Rodikova L.P. Tsianobakterii roda *Synechococcus* v moryakh Arkticheskogo basseyna [Cyanobacteria of the Genus *Synechococcus* in the Arctic Basin Seas]. *Doklady AN* [Reports of RAS], 1994, vol. 336, no. 4, pp. 562–565.
6. Belyakova R.N. *Cyanoprokaryota Vostochnogo Murmana (Barentsevo more) [Cyanoprokaryota of the East Murman (Barents Sea)]. Novosti sistematiki nizshikh rasteniy* [Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium], 2005, vol. 38, pp. 8–21.
7. *Kol'skiy zaliv: osvoenie i ratsional'noe prirodopol'zovanie* [Kola Bay: Development and Nature Management]. Ed. by G.G. Matishov. Moscow, 2009. 381 p.
8. *Doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Murmanskoy oblasti v 2013 godu* [The Report on the Status and Protection of the Environment of the Murmansk Region in 2013]. Nizhny Novgorod, 2014. 152 p.
9. Lutsenko E.S., Shalygin S.S., Davydov D.A. Perifitonnye tsianobakterii litorali Kol'skogo zaliva Barentseva morya [The Periphytic Cyanobacteria of the Litoral Area of Kola Bay of the Barents Sea]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of MSTU], 2013, vol. 16, no. 3, pp. 472–477.
10. Komulaynen S.F. *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu fitoperifitona v malykh rekakh* [Guidelines for the Phytoperiphyton Study in Minor Rivers]. Petrozavodsk, 2003. 43 p.
11. Gollerbakh M.M., Kosinskaya E.K., Polyanskiy V.I. *Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR. Vyp. 2. Sinezelenye vodorosli* [The Key to Freshwater Algae of the USSR. Iss. 2. The Blue-Green Algae]. Moscow, 1953. 398 p.
12. Kosinskaya E.K. *Opredelitel' morskikh sinezelenykh vodorosley* [The Key to the Blue-Green Algae]. Leningrad; Moscow, 1948. 278 p.
13. Komárek J., Anagnostidis K. *Cyanoprokaryota. 1 Teil. Chroococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Berlin, 1998. Bd. 19/1. 548 p.
14. Komárek J., Anagnostidis K. *Cyanoprokaryota. 2 Teil. Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa*. München, 2005. Bd. 19/2. 759 p.
15. Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. *Bioraznoobrazie vodorosley-indikatorov okruzhayushchey sredy* [Biodiversity of Algae – the Environmental Indicators]. Tel Aviv, 2006. 498 p.
16. Sadchikov A.P. *Metody izucheniya presnovodnogo fitoplanktona* [Methods for Freshwater Phytoplankton Studying]. Moscow, 2003. 157 p.
17. Getsen M.V. *Vodorosli v ekosistemakh Kraynego Severa* [Algae in the Ecosystems of the Far North]. Leningrad, 1985. 165 p.
18. Tolmachev A.I. *Vvedenie v geografiyu rasteniy* [Introduction in Geography of Plants]. Leningrad, 1974. 244 p.
19. Олейник А.А. *Fitoplankton Kol'skogo zaliva: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [The Phytoplankton of Kola Bay: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Murmansk, 2011. 15 p.
20. Витченко Т.В. *Структурно-продукционные характеристики морского микрофитобентоса литоральной зоны Восточного Мурмана: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Structural and Production Characteristics of Sea Microphytobenthos of the Litoral Area of the East Murman: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Moscow, 2005. 25 p.

doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.3.59

*Ekaterina S. Miroshnichenko**, *Mariya I. Moskvina***

*Murmansk State Technical University (Murmansk, Russian Federation)

**Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russian Federation)

THE ENVIRONMENTAL CHARACTERISTIC OF THE CYANOBACTERIAL PERIPHYTON IN THE LITORAL AREA OF KOLA BAY OF THE BARENTS SEA

The results of the analysis of periphyton cyanobacterial species composition of the littoral area of the western and eastern coasts of the southern and middle reaches of Kola Bay (the Barents Sea) allowed us to give the environmental characteristic of the studied community. The periphyton samples were obtained from all littoral horizons of the stations at low tide by the scraping with a scalpel from the surface of the natural and man-made substrates in the periods from September 2010 to April 2012 and from January to May 2014. As a result, 68 species of cyanobacteria were identified; 33 species were presented for the first time for the Barents Sea. The representatives of 5 families are the basis of the cyanobacterial periphyton community in the littoral area of the bay: Pseudanabaenaceae, Phormidiaceae, Chroococcaceae, Synechococcaceae and Xenococcaceae, which consist 69.1 % of the total abundance of species. The dominant species are *Leibleinia nordgaardii*, *L. epiphytica*, *Gloeocapsopsis crepidinum*, *Calothrix scopulorum*, *Pseudophormidium battersii*, *Leptolyngbya fragilis*. The greatest number of periphyton cyanobacteria species is presented by the inanimate substrates fouler and epiphytes, planktonic forms. The benthic, periphytic-benthic and eurybiontic species are rare. The cyanobacterial community is mainly a maritime; the freshwater species occupy the subdominant position; the brackish and euryhaline forms are rare. Specific diversity and similarity within the periphytic cyanobacteria community, determined by the Jaccard, Simpson and Shannon-Weaver indexes, indicate the presence of favourable, but various habitats in different parts of the littoral zone on Kola Bay. We revealed 25 cyanobacteria indicator species. On the basis of the Pantle-Buck saprobity index (modified by Sladeczek) we estimate the waters quality of the stations as transitional from clean to moderately polluted (from oligo- to β -mesosaprobic).

Keywords: cyanobacteria, periphyton, ecological form, similarity index, diversity index, saprobic indicator, Kola Bay, the Barents Sea.

Received on March 24, 2016

Поступила 24.03.2016

Corresponding author: Ekaterina Miroshnichenko, address: Sportivnaya str., 13, Murmansk, 183010, Russian Federation; e-mail: lutsenko@mstu.edu.ru

For citation: Miroshnichenko E.S., Moskvina M.I. The Environmental Characteristic of the Cyanobacterial Periphyton in the Littoral Area of Kola Bay of the Barents Sea. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta*. Ser.: *Estestvennye nauki*, 2016, no. 3, pp. 59–71. doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.3.59