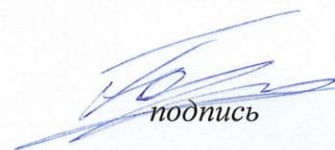


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический институт
им. В.Л. Комарова Российской академии наук

На правах рукописи



подпись

**Научный доклад об основных результатах подготовленной научно-
квалификационной работы (диссертации)**

«Цианопрокариоты российской акватории восточной части
Финского залива Балтийского моря»

по направлению подготовки
06.06.01 Биологические науки
направленность (профиль)
03.02.01 Ботаника

Аспирант Горин Кирилл Константинович

Научный руководитель к.б.н., ведущий научный сотрудник,
Белякова Раиса Николаевна

07 июля 2022 г.

Санкт-Петербург

подпись

Научный доклад об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации)

«Цианопрокариоты российской акватории восточной части
Финского залива Балтийского моря»

по направлению подготовки
06.06.01 Биологические науки
направленность (профиль)
03.02.01 Ботаника

Аспирант Горин Кирилл Константинович

Научный руководитель к.б.н., ведущий научный сотрудник,
Беякова Раиса Николаевна

07 июля 2022 г.

Санкт-Петербург

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Цианопрокариоты – важная для водных экосистем группа водорослей, роль которой в вегетационный период зачастую является определяющей для биотопов Финского залива. Вследствие естественных и антропогенных процессов периодически происходит индуцированное ими токсичное «цветение» воды. По этой причине на протяжении всего периода изучения микроводорослей планктонные цианопрокариоты чаще всего являлись объектами комплексных гидробиологических исследований, осуществляющихся при строительных, гидротехнических, природоохранных и других работах, а также мониторинге в акватории залива (Вислоух, 1913; Никитина, Балашова, 1983; Никулина, Анохина, 1987; Природная..., 2003 и др.). Исследования бентосных сообществ микроводорослей имели скорее эпизодический характер и к настоящему времени сведения о видовом составе бентосных Cyanoprokaryota в восточной части Финского залива ограничивались небольшим числом публикаций и нуждались в дальнейшем изучении (Гоби, Григорьев, 1873; Вислоух, 1913; Вислоух, 1921; Никулина, Анохина, 1987; Губелит, 2008; Горин, 2013; Горин и др., 2016; Балашова и др, 2017).

Изучение флоры цианопрокариот, закономерностей распространения видов, их экологических особенностей не утратило своей актуальности. Обновлённые с учётом современной систематики флористические данные о Cyanoprokaryota важны для понимания целостной картины биологического разнообразия как Финского залива, так и всего Балтийского моря. Особую значимость эти сведения имеют для особо охраняемых территорий, располагающихся по берегам и в акватории залива. Инвентаризация прокариотических водорослей проводилась только для некоторых из них (Горин, 2013; Шилин и др. 2014; Балашова и др. 2017). Помимо этого, ввиду сложности определения и мелких размеров цианопрокариот охране их редких видов и контролю за состоянием их популяций уделено меньше внимания, чем другим группам организмов (Красная..., 2018а; 2018б).

Цель и задачи исследования.

Цель исследования - изучить особенности флоры Cyanoprokaryota российских вод Финского залива Балтийского моря.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Провести инвентаризацию видового состава и таксономический анализ флоры;
- 2) Выполнить эколого-географический анализ;
- 3) Сравнить таксономическую структуру Cyanoprokaryota в разных районах Финского залива;

- 4) Выявить видовой состав и структуру сообществ цианопрокариот, участвующих в «цветении» воды и классифицировать их;
- 5) Оценить состояние популяций и условия обитания охраняемых видов цианопрокариот.

Научная новизна результатов.

Исследование вносят существенный вклад в изучение флоры Cyanoprokaryota Балтийского моря. Впервые инвентаризован таксономический состав и составлен список цианопрокариот российских вод Финского залива Балтийского моря. Получены данные о 10 новых для исследуемой акватории видах. Проведено сравнение флористической структуры Cyanoprokaryota Невской губы и заказника Берёзовые острова, выявлены комплексы видов участвующих в «цветении» воды. Получены сведения о новых местообитаниях видов, занесённых в красные списки Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Теоретическая и практическая значимость проведенных исследований.

Результаты исследования будут полезны для фундаментальных и прикладных научных исследований, касающихся Балтийского моря, в том числе экологического мониторинга. Новые сведения об охраняемых видах будут использованы при составлении красных книг Санкт-Петербурга и Ленинградской области, аннотированных списков и монографий. Коллекция цианопрокариот Финского залива доступна для дальнейшего научного изучения.

Методология и методы исследования.

Настоящее исследование основано на материале, отобранном в период с 2017 по 2021 гг. в прибрежной зоне восточной части Финского залива. Большая часть работ проведена на территории заказника Берёзовые острова и в Невской губе. За весь период исследований автором было отобрано большое количество качественных проб бентосных и планктонных водорослей, хранящихся на данный момент в лаборатории альгологии БИН РАН. Для идентификации цианопрокариот использовали методы световой микроскопии. Подробнее методы исследования представлены в Главе 3.

Положения, выносимые на защиту.

1. Виды *Leptolyngbya amplivaginata* (Goor) Molinari et Guiry, *Leibleinia epiphytica* (Hieron.) Compère, *Dolichospermum curvum* (Hill) Wacklin ex Hoffm et Komárek, *Gloeotrichia echinulata* P.G.Richt., *Aphanocapsa litoralis* Hansg., *Heteroleibleinia infixa* (Frémy) Anagn. et Komárek, *Kamptonema laetevirens* (H.Crouan et P.Crouan ex Gomont) Strunecký, Komárek et J.Šmarda, *Rinularia nitida* C.Agardh ex Born. et Flah., *Calothrix contarenii* Born. et Flah., *Gloeocapsopsis crepidinum* (Thur.) Geitler ex Komárek являются новыми для российских вод Финского залива.
2. Основу флоры Цианопрокариота российских вод Финского залива составляют пресноводно-солонатоводные и пресноводные виды, что связано с определяющим опресняющим влиянием реки Невы и других крупных водотоков на его акваторию;
3. Прибрежная зона Берёзовых островов и Невской губы имеют умеренный уровень таксономического сходства, что обусловлено близким географическим положением, и незначительно отличающимися условиями солёности;
4. Для Финского залива предварительно выделено три типа «цветений»: полидоминантное и монодоминантное с преобладанием представителей *Aphanizomenonaceae*, а также полидоминантное с преобладанием представителей *Aphanizomenonaceae* и *Synechococcaceae*;
5. Большинство охраняемых видов цианопрокариот имеет более широкое распространение, их популяции находятся в стабильном состоянии.

Апробация результатов исследования.

Основные результаты работы были представлены в 2019–2022 гг. на совместных заседаниях Альгологической секции РБО и лаборатории альгологии БИН РАН (Санкт-Петербург, 2019, 2020, 2021, 2022). Некоторые аспекты работы были доложены на всероссийских и международных научных конференциях: на международной научной школе-конференции «Цианопрокариоты (цианобактерии): систематика, экология, распространение» (Сыктывкар, 2019), на всероссийской научной конференции с международным участием «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге (Нижний Новгород, 2021 г.), на V (XIII) международной ботанической конференции молодых ученых (Санкт-Петербург, 2022), на международной научной школе-конференции «Цианопрокариоты (цианобактерии): систематика, экология, распространение, использование в биотехнологии» (Уфа, 2022).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Физико-географическая характеристика восточной части Финского залива Балтийского моря

Приведены сведения о географическом положении, климатических и гидрологических характеристиках Финского залива Балтийского моря. Рассматриваются особенности береговой линии и климатических условий, значения солёности, глубины, течения, а также основные источники антропогенного воздействия на Невскую губу и восточную часть Финского залива.

Глава 2. История изучения цианопрокариот Финского залива

Приведены сведения о истории исследований и степени изученности цианопрокариот Финского залива за последние 150 лет. Основная часть работ посвящена изучению планктона открытой части Финского залива. Изучение прибрежных сообществ водорослей имело эпизодический характер и в основном касалось макрофитов. Опубликованные работы, включающие в себя информацию о цианопрокариотах, по большей части являлись гидробиологическими. Целенаправленных исследований, посвящённых флоре цианопрокариот, ранее не проводилось.

Глава 3. Материалы и методы

Материалом для работы послужили 364 пробы (109 планктонных и 255 бентосных), собранные летом в период с 2017 по 2021 гг. на 55 станциях в прибрежных зонах северного и южного побережий Финского залива, архипелага Берёзовые острова, а также островов Гогланд и Мощный.

Качественные планктонные пробы отбирали с помощью ручной планктонной сети (диаметр ячейки 20 мкм). Пробы бентоса были представлены соскобами с гальки, щебня, валунов, глыб, высших водных и прибрежно-водных растений и макроводорослей, образцами рыхлых грунтов. Пробы фиксировали 4%-ным раствором формальдегида, 53 образца массовых скоплений и колоний цианопрокариот были гербаризированы. На станциях дополнительно регистрировали температуру, рН и солёность.

В лаборатории проводили микроскопирование, с последующим определением видов. Для идентификации цианопрокариот использовали определители и монографии М.М. Голлербаха с соавт. (Голлербах и др., 1953), Р.Н. Беляковой с соавт. (Водоросли...,

2006), Н. Pankow (Pankow , 1971, 1976), М. Plinski, J. Komárek (Plinski, Komárek, 2007), J. Komárek, К. Anagnostidis (Komárek, Anagnostidis, 1997, 2005), J. Komárek (Komárek, 2013),

Аннотированный список цианопрокариот составлен согласно системе J. Komárek с соавт. 2014 (Komárek et al., 2014). Виды приведены к современным синонимам и распределены по высшим таксонам согласно последним обновлениям системы, принятым на сайте algaebase.org (Guiry, Guiry, 2022).

Для сравнения сходства таксономического состава отдельных районов Финского залива использовали коэффициент Сёренсена (Sørensen, 1948).

Для оценки выраженности доминирования видов в сообществах использовали индекс Бергера-Паркера (Berger, Parker, 1970).

Глава 4. Цианопрокариоты российской акватории Финского залива Балтийского моря

4.1. Инвентаризация и таксономический анализ флоры Cyanoprokaryota

В результате инвентаризации таксономического состава, по оригинальным и литературным данным, составлен аннотированный список из 249 видов и внутривидовых таксонов цианопрокариот из 77 родов, 31 семейства, 8 порядков, и одного класса.

Критерием степени изученности видового состава является соблюдение зависимости Виллиса (Willis, 1922, 1949): в хорошо изученных флорах распределение числа видов по числу родов графически выражается в виде гиперболы. Однако для эстуариев характерно выпадение из флоры чувствительных к изменению солёности пресноводных и морских видов. Поэтому, в Финском заливе кривая Виллиса только приближена к гиперболе (Рисунок).



Рисунок. Кривая Виллиса для флоры Cyanoprokaryota российских вод Финского залива Балтийского моря.

Флора Cyanoprokaryota российских вод Финского залива содержит представителей 8 порядков. Наибольшим количеством видов представлены Synechococcales и Nostocales -

83 и 60 видов (33 и 28% от общего числа) соответственно. Меньшее количество видов включали порядки Oscillatoriales (43 вида), Chroococcales (33 видов) и Pseudanabaenales (13 видов). Сложные для обнаружения и идентификации представители порядка Pleurocapsales насчитывали 4 вида. Совсем невелика была роль сравнительно новых, выделенных на основе молекулярных критериев порядков Chroococcidiopsidales и Spirulinales (Komárek et al., 2014), содержащих 1 и 3 вида соответственно.

Для описания таксономической структуры по семействам мы использовали понятие «ведущие таксоны», обозначающее те таксоны, которые в сумме составляют около 50% общего числа обнаруженных видов.

В акватории восточной части Финского залива были выявлены представители 31 семейства цианопрокариот. В число ведущих входят 6 из них, включающих в сумме 45% видов от общего числа. Наиболее разнообразно по количеству видов семейство Aphanizomenonaceae Elenkin включающее 36 видов из 7 родов (14% видов от общего списка). Семейство содержит планктонные гетероцитные роды (Aphanizomenon Morren ex Bornet et Flahault, Dolichospermum (Ralfs ex Bornet et Flahault) Wacklin, Hoffmann et Komárek, Nodularia Mertens ex Bornet et Flahault и др.) виды которых имеют широкое распространение в заливе и довольно часто вызывают «цветения» или сопутствуют им.

Второе по количеству видов семейство – Merismopediaceae Elenkin, насчитывает 26 видов из 4 родов (10% видов от общего списка). В основном это планктонные или планктонно-бентосные коккоидные цианопрокариоты из родов Aphanocapsa Nägeli, Merismopedia Meyen, Eucapsis Clements et Shantz.

Всего на один вид меньше содержало семейство Oscillatoriaceae (S.F. Gray) Harvey ex Kirchner (25 видов), включающее в себя нитчатые гомоцитные формы обычно вегетирующие на дне, но часто впоследствии отрывающиеся от субстрата и плавающие у поверхности в виде матов. Данное семейство было представлено включало всего три рода – Phormidium Kützing ex Gomont, Oscillatoria Vaucher ex Gomont и Lyngbya C. Agardh ex Gomont.

Сравнительно недавно выделенное семейство Microcoleaceae Komárek et al. (Strunecký et al., 2013), насчитывало 13 видов из 6 родов.

Сопоставимое по количеству видов семейство коккоидных цианопрокариот Microcystaceae Elenkin содержало 12 видов из 3 родов: Gloeocapsa Kützing, Radiocystis Skuja и Microcystis Kützing ex Lemmermann. Последний род слагался 9 видами и имел довольно широкое распространение в исследуемой акватории.

Флора российской части Финского залива была дополнена 10 видами цианопрокариот. 4 из них обычны для пресных водоёмов северо-запада России – *Leptolyngbya amplivaginata* (Van Goor) Anagn. et Komárek, *Leiblenia epiphytica* (Hieronymus) Compere, *Dolichospermum curvum* (Hill) Wacklin ex Hoffm et Komárek, *Gloeotrichia echinulata*

P.G.Richt. Виды *Rinularia nitida* C.Agardh ex Born. et Flah., *Calothrix contarenii* Born. et Flah., *Gloeocapsopsis crepidinum* (Thur.) Geitler ex Komárek широко распространённые в эпилимне ранее не были отмечены в российских водах Финского залива несмотря на то, что они являются обычными для Балтики (Pankow, 1971). Оставшиеся 3 солоноватоводно-морских вида – *Aphanocapsa litoralis* Hansg., *Heteroleibleinia infixa* (Frémy) Anagn. et Komárek и *Kamptonema laetevirens* (H.Crouan et P.Crouan ex Gomont) Strunecký, Komárek et J.Šmarda ранее отмечены в северной Атлантике.

4.2. Эколого-географический анализ флоры Цианопрокариота

По отношению к местообитанию выявлено 105 планктонных видов (42% видов от всего списка). Наиболее часто встречаемыми и при этом массовыми видами являлись *Aphanizomenon flosaquae* Ralfs ex Born. et Flah., *Dolichospermum lemmermannii* (P.G.Richt.) Wacklin, L.Hoffm et Komárek, *Nodularia litorea* Thur. ex Komárek, M.Hübel, H.Hübel et J.Šmarda, *N. spumigena* K.N.Mert. ex Born. et Flah., *Woronichinia naegeliana* (Unger) Elenkin, *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek et Hindák.

Выявлено 80 бентосных видов, произрастающих на различных субстратах, для 53 из них были уточнены характеристики местообитания. 23 вида были встречены в эпилимне, по 21 виду на рыхлых грунтах в эпипелоне, а также на растениях и водорослях в эпифитоне. На погруженных в воду древесных субстратах встречено 9 видов.

Группа планктонно-бентосных цианопрокариот представлена 58 видами из 26 родов, в основном это представители родов *Chroococcus* Nägeli, *Merismopedia*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Pseudanabaena* Lauterborn, *Anabaena* Bory ex Bornet et Flahault и др.

4 вида – *Pseudanabaena mucicola* (Naumann et Huber-Pestalozzi) Schwabe, *Anabaena endophytica* (Elenkin et Hollerb.) Anagn., *Pseudanabaena endophytica* (Elenkin et Hollerb.) Anagn., *Synechocystis endobiotica* (Elenkin et Hollerb.) Anagn., *Leptolyngbya* cf. *subcyanea* (Hansg.) Komárek являлись эндоглойными, живущими в слизи других цианопрокариот и водорослей.

Для 173 видов (69% от общего списка) были установлены галобные характеристики. Большинство из них – 81 вид являлись пресноводно-солановатоводными. На втором месте по количеству видов были пресноводные цианопрокариоты - 67 видов. Вероятно преобладание представителей этих групп с одной стороны связано с сильным опреснением Финского залива за счёт впадающей в него крупных водотоков: реки Невы, Луги, Нарвы и других; с другой с морскими течениями создающими непостоянные галобные условия. Доля солановатоводно-морских видов во флоре была не высока и составляла 5% - 13 видов из родов *Gloeocapsopsis* Geitler ex Komárek, *Komvophoron* Anagn. et Komárek, *Limnothrix* M.-E.Meffert, *Yonedaella* I.Umezaki, *Aphanocapsa*, *Microcrocis* P.G.Richter, *Heteroleibleinia* (Geitler) Hoffm., *Nodularia* и другие. Наиболее часто эти виды встречались в глубоководном

районе Финского залива. Всего 3% видов от общего числа относятся к эвригалинным и способны произрастать в широком диапазоне солёности.

По составу зонально-географических элементов были выявлены виды являющиеся к аркто-бореальными, бореальными, бореально-тропическим, голарктическим, голарктическо-тропическим, голарктическо-палеотропическим, голарктическо-неотропическим, голарктическо-австралийским, и космополитным видов. Последние составляли большинство и были представлены 93 видами (37% от флоры). К субкосмополитам относилось 11 видам, к бореально-тропическим и бореальным – 6 и 5 видов соответственно. Количество представителей остальных зон варьировалось от 1 до 2. Для остального 131 вида зонально-географические характеристики не были установлены.

4.3. Сравнительная характеристика таксономического состава *Cyanoprokaryota* в прибрежьях Невской губы и архипелага Берёзовые острова.

Флоры цианопрокариот прибрежий Невской губы и архипелага Берёзовые острова являются наиболее хорошо изученными по сравнению с другими районами Финского залива. Таксономический состав обеих акваторий представлен 133 видами из 52 родов 25 семейств и 8 порядков, что составляет 53% от всей известной флоры Финского залива.

Распределения видов по порядкам в двух районах сходно с таковым во всей флоре Финского залива, однако в данном случае представители Nostocales играют почти равное значение с доминирующим порядком Synecococcales – 31 и 34% соответственно (Таблица 1).

Видовое богатство на Берёзовых островах было незначительно выше, чем в Невской губе и составляло 92 и 83 вида соответственно. Между районами наблюдался умеренный уровень видовой общности (коэффициент Сёренсена = 0,45). Причём акватории совпадали в основном по видам, не дающим массовое развитие, за исключением широко распространённых *Dolichospermum lemmermannii*, *Woronichinia naegeliana*, *Phormidium granulatum* (N.L.Gardner) Anagn., *Lyngbya aestuarii* Liebm. ex Gomont.

Таксономическая структура обоих районов по порядкам была в значительной степени схожа (Таблица 1), однако, в прибрежье Берёзовых островов преобладание доминирующих порядков Synecococcales и Nostocales более выражено, а Oscillatoriales и Chroococcales менее. Доля представителей остальных порядков была менее значима и варьировала от 0 до 8,4%.

Таблица 1. Распределение видов *Cyanoprokaryota* по порядкам в восточной части Финского залива, Невской губе и архипелаге Берёзовые острова.

Порядки	Финский залив		Невская губа		Берёзовые острова	
	Кол-во видов	%	Кол-во видов	%	Кол-во видов	%

Chroococcales	33	13	12	14,5	9	9,8
Chroococciopsidales	1	0,4	1	1,2	1	1,1
Oscillatoriales	43	17	13	15,7	9	9,8
Pleurocapsales	4	1,6	2	2,4	2	2,2
Spirulinales	3	1,2	1	1,2	0	0,0
Pseudanabaenales	13	5,2	7	8,4	3	3,3
Synechococcales	83	33	29	34,9	38	41,3
Nostocales	69	28	18	21,7	29	31,5
Всего видов	249		83		92	

Таксономическая структура семейств в изученных районах отличалась сильнее. В прибрежьях Берёзовых островов отмечены представители 22 семейства цианопрокариот, что на одно семейство больше, чем в сравниваемом районе. В Невской губе присутствовали бедно представленные семейства – *Spirulinaceae* (Gomont) Hoffm., Komárek et J.Ка, *Hapalosiphonaceae* Elenkin, *Tolypothrichaceae* Hauer, Bohunická, J.R.Johansen, Mareš et Berrendero-Gomez которые содержали всего по одному виду. Эвригалинный вид, *Spirulina major* Kütz. ex Gomont встречен в составе цианобактериального мата недалеко от устья довольно загрязнённой реки Красенькой, а два других вида - *Hapalosiphon pumilus* Kirchner ex Born. et Flah. и *Tolypothrix tenuis* Born. et Flah., являлись пресноводными и напротив, были зарегистрированы в прибрежных тростниковых зарослях заказника Северное побережье Невской губы. Стоит отметить, что эти виды не были широко распространёнными и не давали массового развития.

Исключительно в прибрежьях заказника Берёзовые острова были выявлены виды 4 более богато представленных семейств *Calotrichaceae* Cooke и *Rivulariaceae* Born. et Flah., насчитывавшие по два вида. Наиболее часто они встречались в эпилимне практически на всех станциях архипелага – это *Calothrix contarenii* Born. et Flah., *C. scopulorum* C.Agardh ex Born. et Flah., *Rivularia nitida*. Единично в планктоне были отмечены колонии *Gloeothrichia echinulate* P.G.Richt. Cyanobacteriaceae Komárek, J.Kastovsky, Mareš et J.R.Johansen и *Stigonemataceae* (Born. et Flah.) Borzi играли меньшее значение и встречались редко.

В Невской губе наибольшее количество видов содержали семейства *Merismopediaceae* – 16 видов, *Oscillatoriaceae* – 10 видов и *Aphanizomenonaceae* – 8 видов, вместе они содержали 41% видов от всех обнаруженных, в то время как в сопоставимом районе важнейшую роль играло семейство *Aphanizomenonaceae* и *Merismopediaceae* - 16 и 15 видов соответственно, помимо них, богатым также было семейство *Leptolyngbyaceae* Komárek, J.Kastovsky, Mareš et J.R.Johansen – 8 видов.

4.5. Сообщества Цианопрокариота, участвующие в «цветении» воды

При массовом развитии цианопрокариоты способны значительно ухудшать качество воды, способствовать гипоксическим условиям, подавлять жизненную активность гидробионтов, чаще всего, при этом некоторые виды начинают продуцировать токсины, опасные для животных и человека. «Цветению» цианопрокариот посвящено достаточно много исследований, однако попыток классификации их с флористических позиций в Финском заливе не производилось.

Материалом для изучения структуры «цветения» стали качественные пробы планктона отобранные летом 2020 г. в местах массового развития цианопрокариот: на Северном мысу острова Гогланд, западном берегу острова Северный Берёзовый, а также в проливе Тронгзунд в Выборгском заливе. Для классификации систематизации данных о «цветениях» учитывались параметры среды, степень доминирования видов и их относительное обилие в местообитаниях.

Всего в сообществах «цветения» воды было выявлено 18 видов из 12 родов, 11 семейств и 5 порядков. По количеству видов преобладало планктонное семейство Aphanizomenonaceae (7 видов из 3 родов), наибольшим разнообразием отличался род *Dolichospermum* представленный 4 видами - *Dolichospermum affine* (Lemmerm.) Wacklin, *D. ellipsoides* (Böcher. ex Woron.) Wacklin, L.Hoffm. et Komárek, *D. flosaquae* (Bréb. ex Born. et Flah.) Wacklin, L.Hoffm et Komárek, *D. lemmermannii*.

Несмотря на непосредственную близость Выборгского залива и Берёзовых островов, а также практически одинаковые значения температуры, солёности и pH (Таблица 2), между станциями наблюдалось всего 2 общих вида, это *Microcystis novacekii* (Komárek) Compère и *D. lemmermannii*. «Цветение» на восточном берегу Северного Берёзового острова отличалось преобладанием нескольких видов *Aphanizomenon flosaquae*, *D. lemmermannii*, *Nodularia spumigena* из семейства Aphanizomenonaceae при субдоминировании *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. Исходя из этого данный тип цветения был обозначен как полидоминантный с преобладанием представителей семейства Aphanizomenonaceae.

В Выборгском заливе наблюдалось полидоминантное «цветение» с преобладанием видов из семейств Aphanizomenonaceae и Synechococcaceae. Доминировали *Aphanizomenon gracile* Lemmerm. и *Limnothrix planktonica* M.-E.Meffert, а виды из комплекса прибрежий Северного Берёзового острова либо отсутствовали, либо были менее обильны (Таблица 2). Возможно, отличие этих сообществ обусловлено в первую очередь географическим положением станций. Поскольку пролив Тронгзунд Выборгского залива находится в более закрытой части и испытывает на себе меньшее влияние, со стороны открытой Балтики. Прибрежная зона Северного мыса острова Гогланд сильнее всего отличалась по условиям солёности и температуры от остальных станций (t= 18,3; Sal 9), там было выявлено цветение с выраженным доминированием *Aphanizomenon flosaquae* при субдоминировании

солонатоводно-морского вида *Nodularia litorea* (Индекс Бергера-Паркера = 0,36). Такое «цветение» мы обозначили как монодоминантное с преобладанием Aphanizomenonaceae.

Таблица 2. Параметры среды, структурные показатели сообществ и виды цианопрокариот участвующие в «цветении» с указанием относительного обилия по С.М. Вислоуху в районе Берёзовых островов (БО), Выборгского залива (ВЗ) и острова Гогланд (ОГ).

	БО	ВЗ	ОГ
Температура	22	22	18,1
Солёность	3.5	3.5	9
pH	9.5	8.7	9.42
Видовое богатство	8	9	5
Индекс Бергера-Паркера	0,17	0,19	0,36
<i>Microcystis aeruginosa</i>	4	–	–
<i>M. novacekii</i>	2	3	–
<i>Lyngbya aestuarii</i>	2	–	–
<i>Pseudanabaena galeata</i>	–	–	2
<i>Limnothrix planktonica</i>	–	5	
<i>Synechocystis aquatilis</i>	–	1	–
<i>Microcrocis sabulicola</i>	1	–	–
<i>Woronichinia karelica</i>	–	–	2
<i>W. naegeliana</i>	2	–	–
<i>Snowella lacustris</i>	–	1	–
<i>Stenomitros frigidus</i>	–	3	–
<i>Aphanizomenon flosaquae</i>	5	–	5
<i>Ap. gracile</i>	–	5	–
<i>Dolichospermum affine</i>	–	2	–
<i>D. ellipsoides</i>	4	–	–
<i>D. flosaquae</i>	–	4	2
<i>D. lemmermannii</i>	5	2	–
<i>N. litorea</i>	5	–	3

4.6. Вопросы охраны цианопрокариот

Водоросли, и в частности, цианопрокариоты являются неотъемлемой составляющей биологического разнообразия Балтийского моря. Одним из важных условий, способствующих его сохранению, является выявление и охрана редких видов. Для составления красных списков для большинства видов водорослей слишком мало фактических данных о способности их переносить неблагоприятные условия и о связи

между численностью популяции и ее приспособленностью (Основы..., 2008). Тем не менее, в последние десятилетия в России уделяется большее внимание охране низших растений. В Красную книгу Российской Федерации внесены исключительно морские водоросли-макрофиты. Цианопрокариоты же включены только в 14 региональных Красных книг, причём больше всего их видов внесено в списки Санкт-Петербурга и Ленинградской области – 10 и 16 видов соответственно (Красная..., 2018а; 2018б).

В результате нашей работы в акватории российских вод Финского залива были выявлены и подтверждены местообитания 5 охраняемых видов цианопрокариот, занесённых в красные книги Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Три из них (*Dolichospermum curvum*, *D. ellipsoides*, *Woronichinia karelica* Kom. et Kom.-Legner.) ранее были отмечены только в пресных водоёмах, непосредственно связанных с Финским заливом. Присутствие *Nostoc pruniforme* Agardh ex Born. et Flah. и *Microcrocis sabulicola* было подтверждено в известных местообитаниях, а для последнего вида были выявлены новые точки распространения. Наличие ранее встречавшегося на юго-западном побережье Финского залива *Planktothrix rubescens* (De Candolle ex Gomont) Anagn. et Komárek и *Chamaecalyx swirenkoi* (Schirshoff) Komárek et Anagn. не было подтверждено нашими данными. Для понимания состояния популяций этих видов необходимы дополнительные исследования.

4.6.1. Аннотированный список охраняемых видов цианопрокариот российской акватории Финского залива.

***Dolichospermum curvum* (H.Hill) P.Wacklin**

Занесён в Красную книгу Ленинградской области.

Охранный статус: VU – уязвимый вид.

Планктонный пресноводный вид.

Ранее встречался в Ладожском озере (Бухта Петрокрепость) рядом со станцией Ладожское озеро.

В Финском заливе был обнаружен в августовском планктоне прибрежной зоны северо-восточного побережья острова Северный Берёзовый при температуре 20 °С, pH 9.39 и солёности 3‰, что может говорить о более широкой экологической пластичности вида по отношению к минерализации воды. Вид зарегистрирован как редкий в сообществе с выраженным доминированием *Aphanizomenon klebahnii* Elenkin ex Pechar ex Komárek et Komárk.-Legn. и *Pseudanabaena catenate* Lauterborn.

***Dolichospermum ellipsoides* (Bolochoincev) Wacklin**

Занесён в Красную книгу Ленинградской области.

Охранный статус: VU – уязвимый вид

Планктонный пресноводно-солончатководный вид. Космополит.

Ранее отмечен в бухте Петрокрепость Ладожского озера, а также в Сумском пруду на побережье Староладожского канала (Красная..., 2018б). Может выноситься «транзитом» из Ладожского озера центральную часть Финского залива (Водоросли..., 2006).

Вид обнаружен в бухте озёрной Северного Берёзового острова, как часто встречающийся в сообществе «цветения» воды. Вегетировал в августе, при температуре воды 25 °С, рН 9,69 и солёности 4‰.

***Nostoc pruniforme* C. Agardh ex Bornet et Flahault**

Занесён в Красную книгу Санкт-Петербурга и Красную книгу Ленинградской области

Охранный статус: EN — исчезающий вид /VU – уязвимый вид.

Бентосный, пресноводный вид. Космополит

В Ленинградской области отмечен в озёрах Сяберо, Старая Малукса и в искусственном карьере располагающимся недалеко от станции Старая Малукса (Красная..., 2018б). В Санкт-Петербурге и Финском заливе достоверно известно одно местонахождение в Приморском районе Санкт-Петербурга на мелководьях акватории Невской губы в плавнях между пос. Лисий Нос и Ольгино (Красная..., 2018а).

Настоящим исследованием подтверждено его известное местонахождение в Невской губе в 2017-2021 годах. Неприкреплённые макроскопические шаровидные колонии стабильно встречаются на глубине до 2 м в окнах среди тростниково-камышовых сообществ на песчаных грунтах. Колонии вида регистрировали при разных температурных условиях варьирующих от 4 до 20°C и рН от 5.5 до 6.5. Осенью 2020 г. численность колоний *Nostoc pruniforme* варьировала от 1 до 5 единиц на м², а средняя сырая биомасса масса одной колонии достигала 2 г.

***Planktothrix rubescens* (De Candolle ex Gomont) Anagn. et Komárek**

Занесён в Красную книгу Ленинградской области.

Охранный статус: VU – уязвимый вид.

Планктонный вид.

Ранее регистрировался в Лужской, Копорской губах (Красная..., 2018б).

Настоящим исследованием не подтверждено наличие вида.

***Chamaecalyx swirenkoi* (Schirshoff) Komárek et Anagnostidis**

Занесён в Красную книгу Ленинградской области.

Охранный статус: VU – уязвимый вид.

Бентосный, эпифитный, эвригалитный вид.

Ранее был известен в Липовском озере, являющимся лагуной Финского залива (Красная..., 2018б).

Настоящим исследованием не подтверждено наличие вида.

Microcrocis sabulicola (Lagerh.) Geitl.

Занесён в Красную книгу Санкт-Петербурга и Красную книгу Ленинградской области

Охранный статус: VU – уязвимый вид.

Бентосный, эпипелитный, солоноватоводный вид.

Вид ранее был отмечен только двух точках, на юге острова Большой Берёзовый (Красная..., 2018а) и в заказнике Северное побережье Невской губы (Красная..., 2018б).

В результате наших исследований в 2019-2020 гг. эти местообитания были подтверждены, а также обнаружены новые: в прибрежье Северного Берёзового острова, в бухте Ермиловской и на западе Копорской губы, где встречался редко на песчаных грунтах, а также в планктоне, в том числе как сопутствующий «цветению». *Microcrocis sabulicola* произрастал при диапазоне температур от 18-25 °С, и рН от 6,5-9.69. Чаще всего вид регистрировался в точках с солёностью около 4‰, однако в Невской губе обнаружен в пресноводных условиях, что позволяет говорить о более широкой экологической пластичности вида в отношении к солёности.

Woronichinia karelica Kom. et Kom.-Legner.

Занесён в Красную книгу Ленинградской области.

Охранный статус: VU – уязвимый вид.

Планктонный пресноводно-солоноватоводный голарктический вид.

Ранее вид был отмечен в озере Красное Выборгского района Ленинградской области и в акватории Финского залива (Красная..., 2018б).

В ходе настоящего исследования выявлены две новые популяции вида. У Северного мыса острова Гогланд вид редко встречался в планктоне, а в прибрежной зоне северо-восточного побережья острова Северный Берёзовый несколько колоний были выявлены в выжимке из обрастаний *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. В обеих точках вид вегетировал при температуре была 25 °С, рН 9.7, отличались только условия солёности, варьировавшие от 3 до 9 ‰.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты и выводы:

1. По оригинальным и литературным данным составлен аннотированный список таксономического состава по литературным и оригинальным данным составлен список из 249 видов и внутривидовых таксонов *Cyanoprokaryota* из 77 родов, 31 семейства, 8 порядков, и одного класса. Наибольшим количеством видов представлены порядки *Synechococcales* и *Nostocales* – 84 и 69 видов, соответственно;
2. Экологический анализ видового состава цианопрокариот показал преобладание планктонных и пресноводно-солонатоводных форм, по составу зонально-географических элементов преобладали космополиты;
3. Между побережьями Невской губы и Берёзовых островов отмечен умеренный уровень видового сходства; в комплекс ведущих семейств в обоих районах входили представители *Merismoprdiaceae* и *Aphanizomenonaceae*, по составу остальных семейств районы различались;
4. В акватории Финского залива выявлены полидоминантные и монодоминантные «цветения» с преобладанием представителей семейства *Aphanizomenonaceae* и полидоминантные с преобладанием *Aphanizomenonaceae* и *Synechococcales*;
5. Выявлены и подтверждены местообитания 5 охраняемых видов цианопрокариот, занесённых в красные книги Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балашова Н.Б., Тобиас А.В., Киселев Г.А., Чаплыгина О.Я. 2017. Материалы к альгофлоре и микобиоте государственного природного заказника «Южное побережье Невской губы». Региональная экология. № 1(47). СПб.: С. 29-36.
- Вислоух С.М. 1913. Краткий отчет о биологических исследованиях Невской губы в 1911 – 1912 гг. СПб.: 98 с.
- Вислоух С.М. 1921. К познанию микроорганизмов Невской губы. СПб.: Изв. РГИ, №1 – 3. СПб.: 96 с.
- Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо-Запада России. 2006. (ред. К.Л. Виноградова) – М.: 367 с.
- Гоби Х. Я., Григорьев А.В. 1873. Предварительный отчет Х.Я. Гоби и А.В. Григорьева о совершенной ими сообще, летом 1872 г. поездке на северный берег Финского залива для альгологических исследований. Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. Т. 4. СПб.: С. 122-138.
- Голлербах М. М., Косинская Е.К., Полянский В.И. 1953. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. М.: 651с.
- Горин К.К. 2013. Особенности флоры Cynophyta (Cyanoprokaryota) прибрежной зоны заказника «Северное побережье Невской губы». Материалы VIII ежегодной молодежной экологической Школы-конференции в усадьбе Сергиевка – памятнике природного и культурного наследия. СПб.: С. 187-192.
- Горин К.К., Никитина В.Н., Белякова Р.Н. 2016. Структурные показатели цианопрокариот некоторых прибрежных биотопов Невской губы Финского залива Балтийского моря. Труды Кольского научного центра РАН. Прикладная экология севера. Вып. 4. №7. Апатиты: С. 58 – 71.
- Губелит Ю. И. 2008. Фитоперифитон эстуария реки Невы. Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы. СПб.; М.: С. 96 – 104.
- Красная книга Санкт-Петербурга. 2018а. (ред. М.П. Андреев, С.В. Андреева, С.Н. Арсланов и др.) СПб.: 568 с.
- Красная книга Ленинградской области: Объекты растительного мира. 2018б. СПб.: 847 с.
- Никитина, В. Н., Балашова, Н. Б. 1983. К сезонной динамике фитопланктона Копорской губы Финского залива. Экологические аспекты исследований водоемов-охладителей АЭС. М.: С. 33-42.
- Никулина В. Н., Анохина Л. Е. 1987. Флористический состав планктона и перифитона. Невская губа. Гидробиологические исследования. Л.: С 14 – 20.
- Природная среда побережья и акватории Финского залива. 2003. (район порта «Приморск») СПб.: 128 с.
- Основы Альгосозологии. 2008 (Ред. Н.В. Кондратьева, П.М. Царенко) Киев: 480 с.

- Шилин М. Б., Коузов С.А., Ланге Е.К. и др. 2014. Результаты комплексных экспедиционных исследований на акватории создаваемого государственного природного заповедника. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. № 35. СПб.: С. 7-30.
- Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (Accessed on July 2022.)
- Komárek J., Anagnostidis K. 1998. Cyanoprokaryota. 1. Teil. Part: Chroococcales. Berlin: Spektrum. 548 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokaryota. 2. Teil. Part: Oscillatoriales. Berlin: Spektrum. 759 p.
- Komárek J. 2013. Cyanoprokaryota. 3. Teil. 3rd part: Heterocytous genera. Berlin: Springer Spektrum. 1133 p.
- Komárek J., Kastovsky J., Mares J., Johansen J. R. 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. *Preslia*. Vol. 86. P. 295–335.
- Pankow H. 1971. Algenflora der Ostsee I. Benthos (Blau-, Grün, Braun- und Rotalgen). Jena; Stuttgart: 419 S.
- Pankow H. 1976. Algenflora der Ostsee I. Plankton (Blau-, Grün, Braun- und Rotalgen). Jena; Stuttgart: 493 S.
- Plinski M., Komárek J. 2007. Sinice – Cyanobakterie (Cyanoprokaryota) – Gdańsk: Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego. – 172 s.
- Sörensen T. A. 1948. Method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biol. krifter*.
- Strunecký O., Komárek J., Johansen J., Lukesová A., Elster J. 2013. Molecular and morphological criteria for revision of the genus *Microcoleus* (Oscillatoriales, cyanobacteria). *Journal of Phycology*. Vol. 49 (№ 6). P. 1167–1180.
- Willis J. C. 1922. Age and area. A study in geographical distribution and origin of species. — Cambridge: Cambridge University Press. 259 p.
- Willis J. C. 1949 The birth and spread of plants. — Geneva: Conservatoire et Jardin botanique de la Ville. 561 p.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АСПИРАНТОМ ПО ТЕМЕ НКР

Новые находки водорослей, грибов, лишайников и мохообразных. 9 / В. М. Коткова, Р. Н. Белякова, К. К. Горин [и др.] // Новости систематики низших растений. – 2022. – Т. 56-1. – С. 203-220. – DOI 10.31111/nsnr/2022.56.1.203. – EDN HMCCEL.

Суанпрокаруота заказника Берёзовые острова (Финский залив, Балтийское море). /К.К. Горин, Р.Н. Белякова. // Ботанический журнал – 2022. Статья сдана в печать.