

АВТОТРОФНАЯ МИКРОФЛОРА ОЗЕРА БОЛЬШОЙ ВИЛЮЙ (ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)

Е.В. Лепская¹, Т.В. Никулина², Л.А. Медведева², В.Г. Эльчапаров¹

¹Государственный научный центр Российской Федерации. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Камчатский филиал (КамчатНИРО), ул. Набережная, 18, г. Петропавловск-Камчатский, 683000, Россия.

E-mail: e.lepskaya@kamniro.vniro.ru, elchaporov@gmail.com

²Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, пр. 100-летия Владивостока, 159, г. Владивосток, 690022, Россия. E-mail: nikulinatv@mail.ru, medvedeva@biosoil.ru

Представлены результаты изучения альгофлоры меромиктического оз. Большой Вилуй, расположенного в юго-восточной части п-ва Камчатка. Описано видовое богатство альгофлоры, представленное 97 видами цианобактерий и диатомовых водорослей, выделены доминирующие виды: *Lyngbya aestuarii*, *Tabularia fasciculata*, *Melosira lineata*, *M. inflexa*, *Cocconeis scutellum*, *Craticula halophila*. Приведена характеристика одного из наиболее интересных представителей флоры, идентифицированного как *Xenococcus* cf. *elenkinii* Pohribniak. Проведен краткий экологический анализ альгофлоры.

AUTOTROPHIC MICROFLORA OF BOLSHOY VILYUY LAKE (EASTERN KAMCHATKA)

E.V. Lepskaya¹, T.V. Nikulina², L.A. Medvedeva², V.G. Elchaporov¹

¹State Scientific Center of the Russian Federation. Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Kamchatka branch (KamchatNIRO), Naberezhnaya str., 18, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia. E-mail: e.lepskaya@kamniro.vniro.ru, elchaporov@gmail.com

²Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, 159 Stoletiya Vladivostoka Avenue, Vladivostok, 690022, Russia. E-mail: nikulinatv@mail.ru, medvedeva@biosoil.ru

The results of the study of the algal flora of the meromictic Bolshoy Vilyuy Lake located in the southeastern part of the Kamchatka Peninsula are presented. The species richness of the algal flora is described, it represented by 97 species of cyanobacteria and diatoms, and the dominant species are identified: *Lyngbya aestuarii*, *Tabularia fasciculata*, *Melosira lineata*, *M. inflexa*, *Cocconeis scutellum*, *Craticula halophila*. The characteristics of one of the most interesting representatives of the flora, identified as *Xenococcus* cf. *elenkinii* Pohribniak, are given. A brief ecological analysis of the algal flora is carried out.

Введение

Меромиктические водоемы – уникальное природное явление, они представляют собой своеобразные экологические системы, которые благодаря гидрологическим и геоморфологическим особенностям обладают обширным разнообразием экологических ниш. На территории России на 2020 г. выявлено 54 меромиктических водоема (с учетом Черного моря – самого большого меромиктического водоема в мире), но большинство из них пока изучены слабо (Краснова, 2021).

В число таких озер входят озера эстуарной системы р. Большой Вилуй, расположенной на восточном побережье полуострова Камчатка, в частности оз. Большой

Виллой. Разнообразие гидрологических условий в этом озере предполагает наличие специфической водной флоры. Однако эта сторона озерной биоты в настоящее время изучена недостаточно.

Впервые «цветение» воды в оз. Большой Виллой было отмечено 18–19 июля 2000 г. в удаленной от моря части водоема. Было высказано предположение, что окрашивание воды в «красавый» цвет вызвано пурпурными бактериями, окисляющими сероводород (Введенская, Лепская, 2001).

В июле 2022 г. зарегистрирован новый случай окрашивания воды в красноватый цвет, в результате исследования отобранных в этот период образцов альго-бактериального материала, были получены первые сведения о составе альгофлоры оз. Большой Виллой (Лепская и др., 2024).

Цель настоящего исследования – выявление таксономического состава альгофлоры оз. Большой Виллой и структуры альго-бактериальных сообществ, описание их специфических представителей, а также проведение экологического анализа альгофлоры.

Материалы и методы

Озеро Большой Виллой, один из эстуарных водоемов р. Большой Виллой, находится на восточном (Тихоокеанском) побережье Камчатки. Это меромиктический водоем, площадью 4,3 км², со средней глубиной – 3,0 м (в летнюю межень – 2,9 м), максимальной глубиной – 7,0 м, глубиной галоклина/хемоклина – 4 м (Горин, 2013; Краснова, 2021). Температурный максимум в безледный период находится на глубине 2,0 м, а соленость на глубине 1,5 м может составлять 20 ‰ (Stepanenko et al., 2018). Донные отложения в глубоководной части озера представлены водонасыщенными черными илами с сильным запахом сероводорода, почти все дно эстуария (кроме его наиболее глубоководной части) покрыто зарослями zostеры. На дне оз. Большой Виллой предполагается наличие термальных источников.

Альго-бактериальный материал был собран во время вдольберегового объезда оз. Большой Виллой 11 июля 2022 г. у западного берега в кутовой части водоема (рис. 1), где на поверхности воды были найдены рыхлые плавающие маты, окрашенные в различные цвета – болотно-зеленый и сиреневый с розово-фиолетовыми пятнами (рис. 2). Отметим, что в эту же дату скопления подобных образований наблюдали вдоль всего западного берега кутовой части озера (рис. 1). Образцы были собраны из матов сиреневой окраски. Вода в месте обнаружения этих необычных образований имела красноватый оттенок. 28 июля 2022 г. в кутовой акватории сохранялся красноватый оттенок воды, и в точке, обозначенной как станция 2 (рис. 1), была собрана планктонная проба сетью Апштейна.

При помощи мультипараметрического зонда Horiba U-50 (Japan) получены основные гидрологические характеристики воды (Т °С, соленость, pH, общая минерализация) в даты и местах сбора образцов (табл. 1).

В июле 2022 г. в прибрежье в придонном слое вода была солоноватой и хорошо (более 20 °С) прогретой. Измерение температуры на глубоководной станции 2 в первой декаде июля 2022 г. показало наличие прямой стратификации при отсутствии выраженного термоклина. В вертикальном распределении солености выделялся сформированный галоклин, занимавший слой от 1,55 до 3,3 м. Выше галоклина соленость соответствовала нижним значениям, характерным для солоноватых вод, а ниже приближалась к величине морской солености (табл. 1).

Идентификацию цианобактерий и водорослей проводили с использованием светового микроскопа «Axioskop 40» (Carl Zeiss Jena) при увеличениях в 400



Рис. 1. Схема расположения мест отбора альгологического материала в оз. Большой Вилкой: 1 – точка сбора образцов альго-бактериальных матов, 11 июля 2022 г.; 2 – точка сбора фито-планктона, 28 июля 2022 г.; красная линия – разноокрашенные альго-бактериальные маты в прибрежье, 11 июля 2022 г.



Рис. 2. Место сбора проб на прибрежной станции 11 июля 2022 г.: окрашенная вода и альго-бактериальные маты разного цвета

Таблица 1

Основные характеристики в точках отбора альгологического материала в июле 2022 г.

Станция	Координаты		Глубина, м	Т °С	Соленость, ‰	pH	Общая минерализация, г/л
1	52°49'49.13"С.Ш. 158°31'30.49"В.Д.	11.07	0,6	24,8	4,1	-	4,87
		28.07	0,7	20,6	6,4	10,2	6,97
2	52°49'54.60"С.Ш. 158°31'54.60"В.Д.	11.07	0,7	23,87	4,4	9,16	5,06
			1,55	23,92	4,5	9,15	5,12
			2,10	24,28	10,4	-	10,9
			3,30	20,77	25,5	7,16	24,6
			4,05	17,63	26,4	5,41	25,3
			5,35	14,19	27,4	-	25,9
			5,85	10,19	29,7	-	28,5

и 1600 раз. Постоянные препараты для диатомового анализа изготавливали методом прожигания альгологического материала в перекиси водорода с последующим заключением створок в кедровый или канадский бальзам.

При выявлении видовой принадлежности цианобактерий и диатомовых водорослей использовали соответствующие определители и атласы (Забелина и др., 1951; Голлербах и др., 1953; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, b; Hartley et al., 1996; Komárek, Anagnostidis, 1998; Krammer, 2000, 2002). Общий таксономический список водорослей составлен в соответствии с мировой базой данных водорослей AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2016–2025). Внутри отделов водоросли расположены в алфавитном порядке. Для каждого вида отмечалась относительная частота встречаемости по шкале С.М. Вислоуха от 1 до 6 (Кордэ, 1956). Виды, имевшие частоту встречаемости 6 баллов (в массе), отнесены нами к доминантам, 5 баллов (оч. часто) – к субдоминантам, 1–4 балла (единично–часто) – к числу второстепенных видов.

Экологические характеристики указаны в соответствии со сводками С.С. Бариновой с соавторами (Баринова и др., 2006; Баринова и др., 2019).

Результаты и обсуждение

При микроскопировании альгологического материала из оз. Большой Виллой (фитопланктона и образцов альго-бактериальных матов) было выявлено 97 видов, разновидностей и форм цианобактерий и диатомовых водорослей.

Основная масса обрастаний была сформирована нитями цианобактерии *Lyngbya aestuarii* и колониальных диатомей *Melosira lineata*, *M. inflexa* (рис. 3). В качестве доминантов и обрастателей на нитях *Lyngbya* в большом количестве присутствовали слоевища *Xenococcus* cf. *elenkinii*, а также диатомей *Tabularia fasciculata*, *Cocconeis scutellum*, *Craticula halophila*. Видовой состав фитопланктона был сходен с составом прибрежных альгосообществ, отличаясь только частотой встречаемости видов. Главным отличием можно назвать массовое развитие в планктоне пресноводно-солонатоводной цианобактерии *Chroococcus dispersus*. Этот вид образовывал протяженные слизистые скопления, в которых клетки располагались с разной плотностью как одиночно, так и группами. Колониальная слизь крупных свободноплавающих колоний *Ch. dispersus* имела различную окраску, отмечены цветовые вариации от бесцветной (неокрашенной) до розово-пурпурной (рис. 4).

В 2000 г. в первой декаде августа в планктоне была обнаружена взвесь в виде хлопьев малинового цвета. Отмершие и плавающие листья зостеры также оказались облепленными малиновыми комковатыми колониями. При микроскопическом исследовании живой пробы определили, что хлопья состоят из одноклеточных безъядерных организмов малиновой окраски, диаметром до 3,0 мкм. Внутри клеток наблюдались черные диффузные включения. Эти же организмы в виде одиночных клеток в массе обитали в толще воды. Тогда с учетом температурных условий в озере (13,0–18,7°C), присутствия сероводорода и низкой прозрачности воды (менее 1 м), предположили, что в озере происходило массовое развитие фототрофных пурпурных бактерий сем. Chromatiaceae, окисляющих сероводород (Введенская, Лепская, 2001). Вновь отобранный в июле 2022 г. альгологический материал и более широкие возможности его микроскопирования позволяют выразить мнение, что в 2000 г. в оз. Большой Виллой также наблюдалось массовое развитие вида *Chroococcus dispersus*.

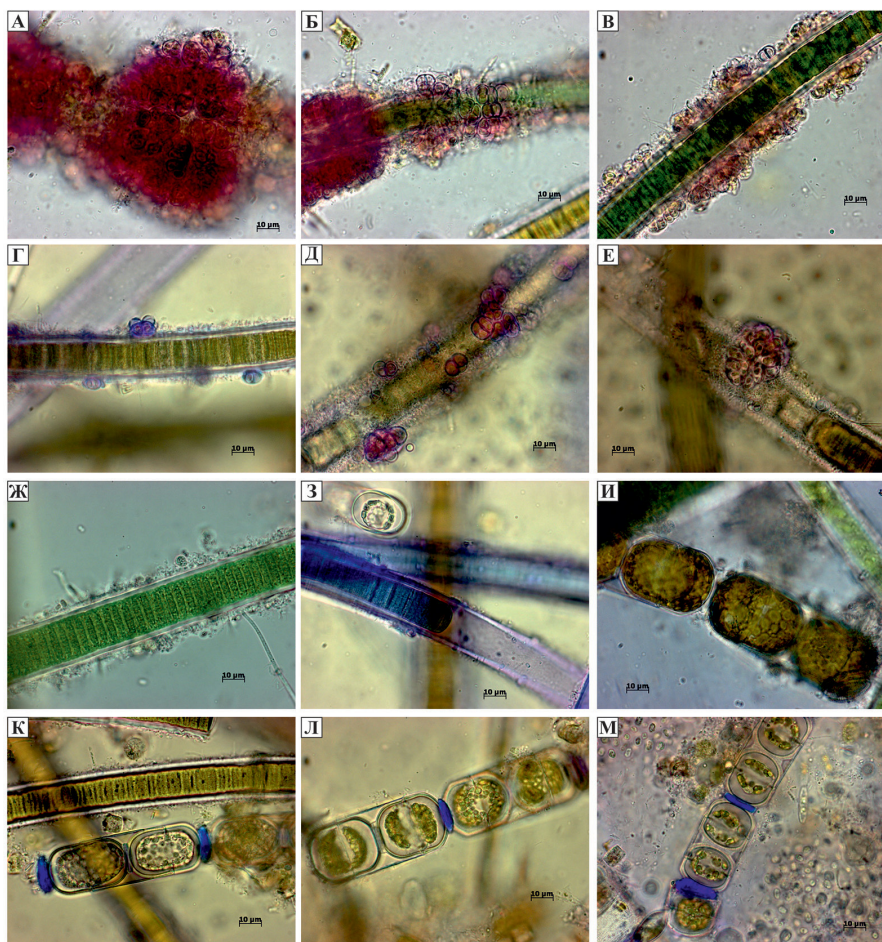


Рис. 3. *Xenococcus* cf. *elenkinii* Pohribniak: А, Б, В – живой материал, Г, Д, Е – материал, фиксированный 4% формалином; *Lyngbya aestuarii* (Mertens) Liebman ex Gomont: Ж – живой материал, З – материал, фиксированный 4% формалином; виды *Melosira*: И – живой материал, К, Л, М – материал, фиксированный 4% формалином

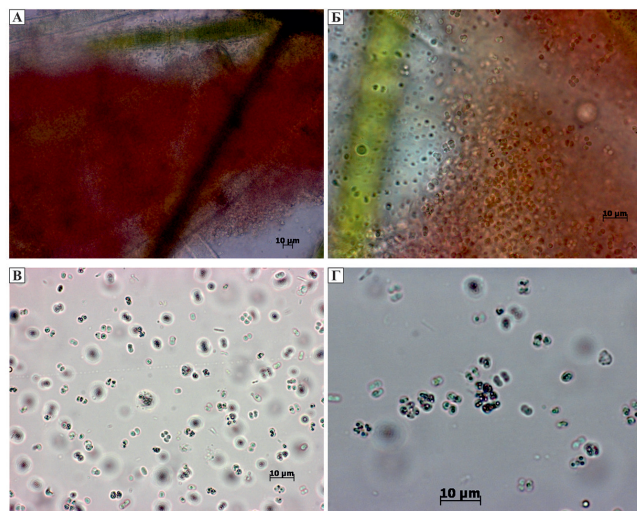


Рис. 4. *Chroococcus dispersus* (Keissler) Lemmermann, живой материал: А, Б – окрашенные колонии с плотно расположенными группами клеток; В, Г – далеко отстоящие друг от друга клетки

В разряд субдоминантов отнесены диатомовые водоросли *Achnanthes brevipes*, *Diatoma tenue*, *Halimnophora holsatica*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Stephanodiscus hantzschii*, некоторые виды рода *Nitzschia*.

Список видов, обнаруженных в оз. Большой Виллой в июле 2022 г., приведен в таблице 2. Кроме частоты встречаемости указаны также некоторые экологические характеристики: местообитание, галобность (отношение к солености воды) и отношение к рН среды.

Таблица 2

**Таксономический список водорослей оз. Большой Виллой
(п-в Камчатка, июль 2022 г.)**

№	Таксон	Место- обитание	Галоб- ность	Отноше- ние к рН среды	Альго- бактериаль- ные маты, 11.07	Фито- планктон, 28.07
1	2	3	4	5	6	7
CYANOBACTERIA						
1.	<i>Chroococcus dispersus</i> (Keissler) Lemmermann	P	-	-	-	6
2.	<i>Lyngbya aestuarii</i> (Mertens) Liebman ex Gomont	P-B	mh	-	6	5
3.	<i>Oscillatoria tenuis</i> C. Agardh ex Gomont	P-B	hl	-	-	3
4.	<i>Xenococcus</i> cf. <i>elenkii</i> Pohribniak	-	-	-	5	5
BACILLARIOPHYTA						
5.	<i>Achnanthes brevipes</i> C. Agardh var. <i>brevipes</i>	B	mh	alf	1-4	4-5
6.	<i>A. brevipes</i> C. Agardh var. <i>intermedia</i> (Kützing) Cleve	B	mh	-	1-4	2-4
7.	<i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	P-B	i	ind	1	-
8.	<i>Actinocyclus octonarius</i> Ehrenberg	P-B	eh	-	1	1
9.	<i>Amphiprora sulcata</i> O'Meara [= <i>Entomoneis gigantea</i> var. <i>sulcata</i> (O'Meara) Moreno, Licea et Santoyo]	-	hl	-	1	1
10.	<i>Amphora</i> aff. <i>turgida</i> Gregory	B	-	-	1-2	2
11.	<i>A. copulata</i> (Kützing) Schoeman et R.E.M. Archibald	B	i	alf	1	1
12.	<i>A. libyca</i> Ehrenberg	B	i	alf	-	1
13.	<i>A. ovalis</i> (Kützing) Kützing	B	i	alf	-	1
14.	<i>A. pediculus</i> (Kützing) Grunow	B	i	alf	1	1
15.	<i>Amphora</i> sp.	B	-	-	1-2	1
16.	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	P-B	i	alf	1	-
17.	<i>Brebissonia boeckii</i> (Ehrenberg) E.O. Meara	B	hl	alf	1	1
18.	<i>Caloneis crassa</i> (W. Gregory) R. Ross	-	-	-	1	-
19.	<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg [= <i>C. placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow]	P-B	i	alf	1	1
20.	<i>C. placentula</i> Ehrenberg	P-B	i	alf	1	1
21.	<i>C. scutellum</i> Ehrenberg	B	hl	alf	1-4	4-6

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
22.	<i>Cosmioneis pusilla</i> (W. Smith) Mann et Stickle	P-B	hl	ind	-	1
23.	<i>Craticula halophila</i> (Grunow) Mann	B	mh	alf	6	2-4
24.	<i>Ctenophora pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Williams et Round	P-B	mh	alf	1	1
25.	<i>Cyclotella distinguenda</i> Hustedt	P	hl	alf	2	-
26.	<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg) O. Kirchner	B	i	alf	-	1
27.	<i>C. cf. affinis</i> Kützing	-	-	-	-	1
28.	<i>Diatoma moniliformis</i> Kützing (Williams)	P-B	i	alf	1-2	1
29.	<i>D. tenue</i> C. Agardh	P-B	hl	alf	3-4	1-4
30.	<i>D. vulgaris</i> Bory	P-B	i	alf	-	1
31.	<i>Diploneis mereschkowskyi</i> Lange-Bertalot, Fuhrmann, Werum [= <i>D. smithii</i> var. <i>rhombica</i> Mereschkowsky]	B	eh	-	1	1
32.	<i>Encyonema minutum</i> (Hilse ex Rabenhorst) Mann	B	i	ind	2	-
33.	<i>E. silesiacum</i> (Bleisch) Mann	B	i	ind	1-2	1-2
34.	<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	B	i	alb	1	-
35.	<i>E. porcellus</i> Kützing [= <i>E. adnata</i> var. <i>porcellus</i> (Kützing) Ross]	B	i	alf	-	1
36.	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	P-B	i	ind	1	-
37.	<i>F. vaucheriae</i> (Kützing) Petersen	P-B	i	alf	1-2	1
38.	<i>Fragilaria</i> sp.	-	-	-	3-6	2
39.	<i>Gomphonella quadripunctata</i> (Østrup) Tuji [= <i>Gomphoneis quadripunctatum</i> (Oestrup) Dawson ex Ross et Sims]	B	i	ind	1	1
40.	<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	B	i	ind	-	1
41.	<i>G. brebissonii</i> Kützing	B	i	ind	1	-
42.	<i>G. productum</i> (Grunow) Lange-Bertalot et Reichardt	B	i	ind	1	-
43.	<i>G. truncatum</i> Ehrenberg	B	i	ind	1	-
44.	<i>G. ventricosum</i> Gregory	B	i	ind	1	-
45.	<i>Halamphora coffeiformis</i> (C. Agardh) Mereschkowsky [= <i>Amphora coffeaeformis</i> (C. Agardh) Kützing]	B	mh	alf	1-2	2
46.	<i>H. holsatica</i> (Hustedt) Levkov [= <i>Amphora holsatica</i> Hustedt]	P-B	hl	alf	2-4	2-3
47.	<i>H. veneta</i> (Kützing) Levkov [= <i>Amphora veneta</i> Kützing]	B	hl	alf	-	1
48.	<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) Patrick var. <i>arcus</i>	B	i	alf	1	1
49.	<i>H. arcus</i> var. <i>amphioxys</i> (Rabenhorst) Patrick	B	i	alf	-	1
50.	<i>H. inaequidentata</i> (Lagerstedt) Genkal et Kharitonov [= <i>Hannaea arcus</i> var. <i>rectus</i> (Cleve) M. Idei]	P-B	i	alf	1	1

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
51.	<i>Hippodonta capitata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin et Witkowski	B	hl	alf	-	1
52.	<i>H. hungarica</i> (Grunow) Lange-Bertalot, Metzeltin et Witkowski	B	hl	alf	1	1
53.	<i>H. linearis</i> (Østrup) Lange-Bertalot, Metzeltin et Witkowski	B	i	alf	1	-
54.	<i>Lindavia bodanica</i> (Eulenstein ex Grunow) Nakov, Guillory, Julius, Theriot et Alversen	P	i	ind	1-2	-
55.	<i>Melosira discigera</i> C. Agardh [= <i>M. nummuloides</i> (Dillwyn) C. Agardh]	P-B	mh	alf	-	2
56.	<i>M. inflexa</i> (Roth) Guiry [= <i>M. moniliformis</i> (O. Müller) C. Agardh]	P-B	mh	alf	5	5-6
57.	<i>M. lineata</i> (Dillwyn) C. Agardh	P-B	mh	alf	5	5-6
58.	<i>M. varians</i> C. Agardh	P-B	hl	ind	2	1
59.	<i>Meridion circulare</i> (Greville) C. Agardh	P-B	i	ind	1	1
60.	<i>Navicula avenacea</i> (Rabenhorst) Brébisson ex Grunow	B	hl	alf	-	1
61.	<i>N. cryptocephala</i> Kützing	P-B	i	ind	-	1
62.	<i>N. lanceolata</i> Ehrenberg	-	-	-	-	1
63.	<i>N. peregrina</i> (Ehrenberg) Kützing	P-B	mh	alf	-	1
64.	<i>N. radiosa</i> Kützing	B	i	ind	1	1
65.	<i>N. rhynchocephala</i> Kützing	B	hl	alf	1	1
66.	<i>N. slesvicensis</i> Grunow	P-B	hl	alf	-	1
67.	<i>Nitzschia fonticola</i> (Grunow) Grunow	P-B	i	alf	2-6	2
68.	<i>N. frustulum</i> (Kützing) Grunow	P-B	hl	alf	1-6	-
69.	<i>N. inconspicua</i> Grunow	B	hl	alf	3-4	2-5
70.	<i>N. sigma</i> (Kützing) W. Smith	B	mh	alf	1-3	-
71.	<i>N. vermicularis</i> (Kützing) Hantzsch	P-B	i	alf	1	-
72.	<i>Odontidium anceps</i> (Ehrenberg) Ralfs [= <i>Diatoma anceps</i> (Ehrenberg) Kirchner]	P-B	hb	ind	1	-
73.	<i>O. hyemale</i> (Roth) Kützing [= <i>Diatoma hiemalis</i> (Lyngbye) Heiberg]	P-B	hb	ind	1	1
74.	<i>O. mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing [= <i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing]	B	hb	ind	1	1-2
75.	<i>Planothidium delicatulum</i> (Kützing) Round et Bukhtiyarova	P-B	mh	alb	2	3
76.	<i>P. ellipticum</i> Cleve) Edlund	P-B	i	alf	1	-
77.	<i>P. haynaldii</i> (Schaarschmidt) Lange-Bertalot	B	i	alf	1	1
78.	<i>P. lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	P-B	i	alf	1-2	1
79.	<i>Pleurosigma elongatum</i> W. Smith	P-B	mh	alf	1-3	1
80.	<i>P. salinarum</i> (Grunow) Grunow	B	mh	alf	2	-
81.	<i>P. strigosum</i> W. Smith	P-B	eh	-	1-2	1-2
82.	<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek et Stoermer	P-B	i	ind	-	1

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
83.	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	B	i	alf	3-4	3
84.	<i>Rhopalodia acuminata</i> Krammer	B	mh	alb	1	-
85.	<i>R. musculus</i> (Kützing) O. Müller	P-B	mh	alb	1	-
86.	<i>Staurosira subsalina</i> (Hustedt) Lange-Bertalot [= <i>Staurosira construens</i> Ehrenberg f. <i>subsalina</i> (Hustedt) Bukhtiyarova]	P-B	hl	alf	1	-
87.	<i>Staurosirella leptostauron</i> (Ehrenberg) Williams et Round	P-B	i	alf	-	1
88.	<i>Stephanocyclus meneghinianus</i> (Kützing) Kulikovskiy, Genkal et Kociolek [= <i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing]	P-B	hl	alf	1	1
89.	<i>Stephanodiscus</i> cf. <i>hantzschii</i> Grunow	P	oh	-	1-4	5
90.	<i>Surirella brebissonii</i> Krammer et Lange-Bertalot var. <i>brebissonii</i>	B	hl	alf	2	1
91.	<i>S. brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i> Krammer et Lange-Bertalot	B	i	alf	-	1
92.	<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	P-B	i	acf	1	-
93.	<i>Tabularia fasciculata</i> (C. Agardh) Williams et Round	P-B	mh	alf	5-6	4-5
94.	<i>T. tabulata</i> (C. Agardh) Snoeijjs	B	mh	alf	1-2	1
95.	<i>Tryblionella salinarum</i> (Grunow) Pelletan	B	-	-	-	1
96.	<i>Ulnaria inaequalis</i> (H. Kobayasi) M. Idei	B	-	-	1	-
97.	<i>U. ulna</i> (Nitzsch) Compère	P-B	i	alf	1	1

Условные обозначения. Частота встречаемости: 1 – единично, 2 – редко, 3 – нередко, 4 – часто, 5 – очень часто, 6 – масса (Кордэ Н.В. 1956); местообитание: P – планктонные, P-B – планктонно-бентосные, B – бентосные; галобность: eh – эвгалобы, mh – мезогалобы, oh – олигогалобы, hl – галофилы, i – индифференты, hb – галофобы; отношение к pH: alb – алкалибионты, alf – алкалофилы, acf – ацидофилы; «-» – нет данных.

Несомненный интерес представляли прикрепленные к трихомам *Lyngbya aestuarii* яркие розово-фиолетовые колонии, состоящие из плотно прилегающих клеток (рис. 3: А, Б, В). Колонии согласно нескольким признакам: форме клеток, их расположению в колониях, а также специфической окраске были отнесены нами к роду *Xeopococcus*. Виды рода *Xeopococcus* имеют клетки округлой, яйцевидной или неправильной формы, покрыты слизистой оболочкой, образуют полушаровидные или плоско-накипные колонии из рыхло соединенных клеток, сросшихся боками и сливающихся в ложнопаренхиматическое слоевище. Виды рода обитают как в пресной, так и в морской воде.

По имеющимся видовым признакам был проведен сравнительный анализ для уточнения видовой принадлежности *Xeopococcus*, найденного в оз. Большой Виллой. Форма клеток у представителей рода *Xeopococcus* весьма разнообразная: округлые, уплощенные, полигональные, субсферические; колонии практически у всех видов корковые, неясно слоистые или сформированы из беспорядочно сгруппированных клеток. Наиболее важными признаками мы посчитали размеры клеток, их окраску, а также учитывали экологию видов. В сравнительном ряду фиолетово окрашенных морских или солоноватоводных видов оказались *X. violaceus*

Anand, *X. yonedae* Umezaki et Watanabe (Голлербах, 1953; Komárek, Anagnostidis, 1998). Вид *X. kernery* Hansgirg образует весьма сходные с обсуждаемым видом бесцветные или желтоватые колонии, обрастающие крупные нитчатые водоросли. Именно для последнего вида отмечено, что в фиксированном формалином состоянии его клетки приобретают фиолетовую окраску (Kučera, et al., 2005). Учитывая все вышесказанное, с некоторой долей сомнения, вид, найденный в оз. Большой Виллой, идентифицирован как *Xenococcus* cf. *elenkinii* Pohribniak (рис. 3).

Слоевница *Xenococcus* зачастую сплошь покрывали нити *Lyngbya*, причем в живом состоянии они имели яркий розово-фиолетовый цвет (рис. 3, А, Б, В). После фиксации 4 % формалином клетки приобретали фиолетово-чернильную окраску (рис. 3, Г, Д, Е). Фиксация формалином имела необычное воздействие и на другие водоросли в пробе. Трихомы *Lyngbya aestuarii* в живом состоянии имели вполне обычный сине-зеленый цвет, а нити видов рода *Melosira* покрыты бесцветной слизистой оболочкой (табл. 3, Ж, И). После фиксации влагалища трихомов *Lyngbya* приобрели яркий сине-фиолетовый окрас (табл. 3, З). Окрашивания створок диатомовых не наблюдалось, а слизистые подушечки, соединяющие клетки в колониях *Melosira* изменяли цвет на ярко-синий (табл. 3, К, Л, М). По-видимому, в результате воздействия раствора формалина происходит разрушение внутреннего содержимого клеток *Xenococcus* и проникновение пигмента в структуры и клетки других водорослей, находящихся в пробе.

Сравнение экологических характеристик видов озера Большой Виллой показало, что половина обнаруженных форм являются бентосными организмами – 45 видов (49,4 %), практически такое же число видов относится к группе планктонно-бентосных видов (42 или 46,1 %). Только четыре представителя относятся к чисто планктонным видам (4,4 %) (табл. 3).

Таблица 3

Распределение водорослей озера Большой Виллой по экологическим группам

Группы	Всего таксонов	%
МЕСТООБИТАНИЕ		
Планктонные (Р)	4	4,1
Планктонно-бентосные (Р-В)	42	43,3
Бентосные (В)	45	46,4
Нет данных	6	6,2
ГАЛОБНОСТЬ		
Эвгалобы (eh)	3	3,1
Мезогалобы (mh)	18	18,6
Галофилы (hl)	20	20,6
Индифференты (i)	42	43,3
Галофобы (hb)	3	3,1
Нет данных	11	11,3
ОТНОШЕНИЕ К рН		
Алкалибионты (alb)	4	4,1
Алкалифилы (alf)	54	55,7
Индифференты (ind)	20	20,6
Ацидофилы (acf)	1	1,0
Нет данных	18	18,6

Примечание: здесь и далее процент учитывается от общего числа таксонов.

Распределение водорослей по категориям галобности (отношение к солености воды) показывает, что наиболее многочисленна группа индифферентных видов – 42 таксона (43,3 %), однако нужно уточнить, что доминирующих видов в этой группе не отмечено, все они обнаружены с незначительной частотой встречаемости (табл. 3). Практически равны по количеству видов группы галофилов и мезогалобов: 20 и 18 видов, соответственно (20,6 и 18,6 %). Представители именно этих двух групп являются массовыми: *Lyngbya aestuarii*, *Melosira lineata*, *M. inflexa*, *Cocconeis scutellum*, *Craticula halophila*. Найдены также три представителя группы эвгалобных видов (*Actinocyclus octonarius*, *Pleurosigma strigosum*, *Diploneis mereschowskyi*) и, хотя они обнаружены в небольших количествах, но уже само их нахождение (в сумме с доминированием мезогалобных и галофильных видов) свидетельствует о наличии в оз. Большой Вилкой осолоненного водного слоя.

По отношению к рН среды виды распределены следующим образом: на первом месте стоит группа алкалифилов, то есть видов, предпочитающих слабо щелочную среду – 54 вида (55,7 %); алкалибионты представлены четырьмя видами (4,1 %); индифференты насчитывают 20 видов (20,6 %) (табл. 3). Основными, массовыми видами, образующими прибрежные альго-бактериальные маты являются исключительно алкалофильные виды, такие как *Melosira lineata*, *M. inflexa*, *Cocconeis scutellum*, *Craticula halophila*, *Achnanthes brevipes*, некоторые виды рода *Nitzschia*. Обнаружена единичная клетка ацидофила *Tabellaria flocculosa*.

Заключение

Основная масса обрастаний озера Большой Вилкой была сформирована нитями цианобактерии *Lyngbya aestuarii* и колониальными диатомеями *Melosira lineata*, *M. inflexa*. Нити *Lyngbya* в большом количестве обрастали слоевищами *Xenococcus* cf. *elenkinii*. Из диатомовых водорослей доминировали *Tabularia fasciculata*, *Cocconeis scutellum*, *Craticula halophila*. Составы водорослей альго-бактериальных матов и планктонных проб были сходны, отличаясь только частотой встречаемости видов. Массовые слизистые скопления в планктоне были образованы цианобактериями вида *Chroococcus dispersus*. Отмечено окрашивание трихомов *Lyngbya* в фиолетово-чернильный и слизистых соединительных структур в колониях *Melosira* в ярко-синий цвета. По-видимому, в результате воздействия раствора формалина происходит разрушение внутреннего содержимого клеток *Xenococcus* и проникновение пигмента в структуры и клетки других водорослей, находящихся в пробе.

Во флоре водорослей озера в равной степени развивались бентосные и планктонно-бентосные организмы. По отношению к солености воды массовыми видами, доминирующими в обрастаниях, были галофилы и мезогалобы, а в отношении рН среды – алкалофильные виды.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, темы № 121031000147-6, № 124012400285-7.

Авторы благодарят ведущего инженера Камчатского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ ВНИРО В.В. Коломейцева за помощь в построении картосхемы озера и станций отбора проб.

Литература

- Барина С.С., Белоус Е.П., Царенко П.М. 2019. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. Хайфа, Киев: Издательство University of Haifa Publisher, Haifa, Israel. 367 с.
- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Русское издательство. 498 с.

- Введенская Т.Л., Лепская Е.В. 2021.** «Цветение» пурпурных бактерий в оз. Большой Виллой // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Петропавловск-Камчатский: Камшат. С. 41–43.
- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. 1953.** Синезеленые водоросли. М.: Советская наука. 652 с. (Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2).
- Горин С.Л. 2013.** Гидролого-морфологические процессы в эстуарии реки Большой Виллой (восточное побережье Камчатки) // *Водные ресурсы*. 40(1). С. 3–18.
- Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. 1951.** Диатомовые водоросли. М.: Советская наука. 619 с. (Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4).
- Кордэ Н.В. 1956.** Методика биологического изучения донных отложений озер (полевая работа и биологический анализ) // *Жизнь пресных вод СССР*. Т. 4. Ч. 1. М., Л.: Изд-во АН СССР. С. 383–413.
- Краснова Е.Д. 2021.** Экология меромиктических озер России. 1. Прибрежные морские водоемы // *Водные ресурсы*. 48(3). С. 322–333.
- Лепская Е.В., Медведева Л.А., Никулина Т.В., Орлова Т.Ю. 2024.** Элементы автотрофной микробиоты озера Большой Виллой, Восточная Камчатка // Материалы VII Всероссийской научной конференции с международным участием «Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии», Владивосток. С. 69.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2016–2025.** AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org> (accessed 10.02.2025).
- Hartley B., Barber H.G., Carter J.R. 1996.** An Atlas of British Diatoms. Bristol: Biopress Ltd. 601 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 1998.** Cyanoprokaryota. 1. Chroococcales // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. B. 19/1. Heidelberg & Berlin: Spektrum, Akademischer Verlag. 548.
- Krammer K. 2000.** The genus *Pinnularia* // *Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. Vol. 1. 703 p.
- Krammer K. 2002.** The genus *Cymbella* // *Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. Vol. 3. 584 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986.** Bacillariophyceae. Naviculaceae. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Teil 1. Jena. 876 s.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988.** Bacillariophyceae. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Teil 2. Stuttgart, New York. 596 s.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a.** Bacillariophyceae. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Teil 2, 3. Stuttgart, Jena. 576 s.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b.** Bacillariophyceae. Achnanthaceae, *Navicula* und *Gomphonema*. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Teil 4. Stuttgart, Jena. 438 s.
- Kučera P., Uher B., Komárek O. 2005.** Epiphytic cyanophytes *Xenococcus kernerii* and *Chamaesiphon minutus* on the freshwater red alga *Paralemanea catenata* (Rhodophyta) // *Biologia*, Bratislava, 60/6: 1–3.
- Stepanenko V.M., Repina I.A., Artamonov A.Yu., Gorin S.L., Lykossov V.N., Kulyaminet D.V. 2018.** Mid-depth temperature maximum in an estuarine lake // *Environ. Res. Lett.* 13 035006.