

УДК [582.261.1:551.326.7](265.54.04)

**ВИДОВОЙ СОСТАВ СООБЩЕСТВА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ
МОРСКОГО ЛЬДА И ПОДЛЁДНОЙ ВОДЫ
В БУХТАХ ОСТРОВА РУССКИЙ
(ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

© 2025 г. **Е. А. Юрикова, А. А. Бегун**

Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН,
Владивосток, Российская Федерация
E-mail: komicitykat@mail.ru

Поступила в редакцию 22.02.2024; после доработки 12.04.2024;
принята к публикации 12.08.2025.

Морской лёд способен выступать в качестве местообитания для микроводорослей, которые могут приспосабливаться к его уникальным условиям и успешно размножаться в нём. В настоящей работе продолжен анализ материала, впервые полученного при исследовании морского льда двух бухт острова Русский (Японское море) в 2020–2021 гг., с целью изучить послойное распределение качественного и количественного состава микроводорослей, населяющих его. В результате таксономического анализа идентифицировано 87 видов из 48 родов и 7 отделов микроводорослей. Максимальное видовое богатство представлено видами отдела Bacillariophyta (57–100 % числа видов в слое льда). Альгофлора морского льда и подлёдной воды была сформирована в основном бентосными видами, относящимися к группе космополитов. Состав доминирующих видов изменялся в зависимости от года, бухты и глубины изучаемого слоя льда; в число преобладающих видов входили *Chaetoceros socialis* f. *radians*, *Cylindrotheca closterium*, *Navicula septentrionalis*, *Nitzschia frigida*, *Thalassiosira gravida*, *T. nordenskioeldii* и *Plagioselmis* sp. Наиболее значительно видовой состав различался между годами исследования, а также в зависимости от бухты, биотопа и расположения слоя в толще льда.

Ключевые слова: ледовая альгофлора, диатомовые водоросли, Японское море

Морской лёд представляет собой совокупность достаточно суровых условий обитания. Однако некоторые виды микроводорослей способны приспосабливаться к ним и успешно населять лёд, оказывая воздействие на его физико-химические свойства. В свою очередь, состояние льда, его толщина и сроки вскрытия влияют на экосистему и продуктивность всей акватории на протяжении зимнего периода и в начале весеннего. Микроводоросли, обильно развивающиеся во льду, выступают в это время важным источником первичной продукции.

Залив Петра Великого Японского моря является одной из самых южных акваторий Северного полушария, на которых в течение нескольких месяцев способен формироваться устойчивый ледяной покров. Однако здесь изучение ледовой биоты ограничено анализом содержания хлорофилла и значений первичной продукции микроводорослей [Кузнецов, 1980], а также продукционных характеристик во льду эстуария реки Раздольной [Звалинский и др., 2010]. В бухтах Воевода и Новик острова Русский были проведены работы гидрологической, гидрохимической и экологической направленности [Барабанщиков и др., 2015, 2018; Бойченко и др., 2019; Мельниченко и др., 2014, 2017; Христофорова и др., 2016, 2017]. Ледовый биотоп в заливе Петра Великого

не был охвачен альгологическими исследованиями, очевидно в силу методических трудностей пробоотбора, в то время как подлёдный фитопланктон уже достаточно широко изучен в видовом и количественном отношении [Орлова и др., 2009; Пономарева, 2017; Стоник, 2018; Шевченко и др., 2020; Semkin et al., 2022; Sorokin, Konovalova, 1973].

В 2020–2021 гг. впервые было проведено исследование микроводорослей морского льда в двух бухтах острова Русский — Воевода и Новик; по его результатам вышла публикация, посвящённая анализу количественных характеристик ледовых микроводорослей [Юрикова, Бегун, 2022]. Настоящая работа является продолжением исследования, и её цель — более подробно рассмотреть видовой состав микроводорослей льда и подлёдной воды в бухтах острова Русский (Воевода и Новик) в зимние сезоны 2020 и 2021 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в феврале 2020 и 2021 гг. в бухтах Воевода и Новик острова Русский (Японское море) (рис. 1). Условия в дни полевых работ и методика пробоотбора подробно описаны Е. А. Юриковой и А. А. Бегуном ранее [2022].

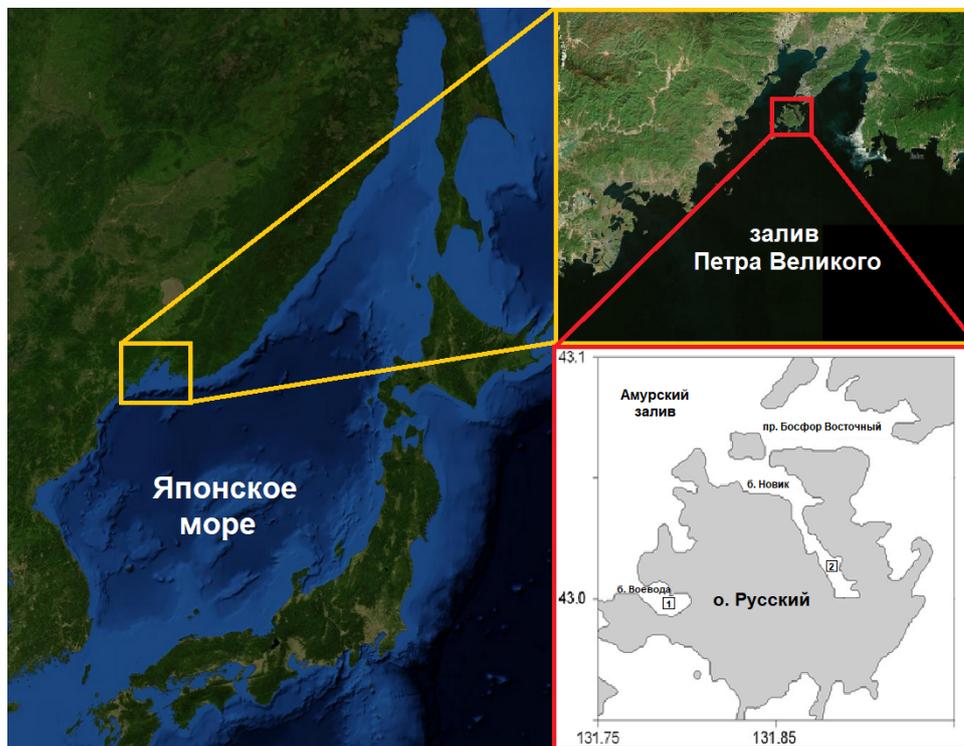


Рис. 1. Местоположение станций отбора проб в бухтах острова Русский (Японское море): 1 — бухта Воевода; 2 — бухта Новик

Fig. 1. Sampling sites in bays of Russky Island (the Sea of Japan): 1, the Voevoda Bay; 2, the Novik Bay

В 2020 г. толщина льда в обеих бухтах составляла около 40 см, в 2021 г. — около 60 см. В 2020 г. в обеих бухтах отобрано по 4 пробы льда и по 1 пробе подлёдной воды, в 2021 г. — по 6 проб льда и по 1 пробе подлёдной воды. Пробы фиксировали раствором Утермеля до светло-жёлтого цвета [Utermöhl, 1958]. Следуя методике осаждения [Радченко и др., 2010], по истечении 12 дней избыток воды сливали до 100–200 мл остатка с каждой пробой.

Подготовку проб для электронной сканирующей микроскопии осуществляли методом кипячения в 98%-ной серной кислоте в течение 40 мин с последующей промывкой дистиллированной водой. Анализ материала производили в лаборатории морской микробиоты ННЦМБ ДВО РАН.

При видовой идентификации микроводорослей использовали световой микроскоп проходящего света Olympus BX41 и объектив UPLanF1 100×/1.30 (Япония). Видовой состав уточняли с помощью сканирующего электронного микроскопа Zeiss Sigma 300 VP (Великобритания). Отделы микроводорослей приведены согласно данным [Коновалова и др., 1989] с учётом номенклатурных изменений за последние 10 лет. В ходе видовой идентификации использовали определители [Коновалова, 1998; Коновалова и др., 1989; Рябушко, Бегун, 2015; Hoppenrath et al., 2009; Identifying Marine Phytoplankton, 1997].

Графики сходства построены в программе PRIMER v7.0.21 [Clarke, Gorley, 2015; Clarke, Warwick, 2001] с применением метода неметрического многомерного шкалирования для ординации альгофлор на основании сходства видов в разных слоях льда и в подлёдной воде. Мерой расстояния был избран уровень сходства Сёренсена.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Всего в пробах льда и подлёдной воды в 2020–2021 гг. идентифицировано 87 видов, разновидностей и форм из 48 родов и 7 отделов (табл. 1) — Ochrophyta (2 вида), Bacillariophyta (67), Cryptophyta (1), Dinophyta (13), Chlorophyta (2), Euglenophyta (1) и Harpophyta (1). У 16 таксонов не определена видовая принадлежность. Во льду всего отмечены 79 видов, из них 46 встречены только в этом биотопе. Для подлёдной воды выявлены всего 41 вид и 8 видов соответственно.

Всего в 2020 г. в обеих бухтах встречено 52 вида из 31 рода и 4 отделов, из них в бухте Воевода зарегистрировано 36 видов, в бухте Новик — 37; общий для двух бухт — 21 вид. В 2021 г. всего отмечено 63 вида из 41 рода и 7 отделов, из них в бухте Воевода — 50 видов, в бухте Новик — 43; общий для двух бухт — 31 вид.

Экологическая характеристика определена для 66 таксонов из 87 выявленных, фитогеографическая — для 62. Из них бентосные виды составили 50 % (51 % из обнаруженных во льду и 45 % из найденных в подлёдной воде), бенто-планктонные — 9 %. Среди планктонных видов неритические составили 24 %, океанические — 8 %, панталассные — 8 %, пресноводные — 1 %. Согласно фитогеографической характеристике, большинство видов — 40 % — относилось к космополитам (40 % из обнаруженных во льду и 48 % из найденных в подлёдной воде). Тропическо-арктобореальные водоросли включали 19 % от общего числа видов с известной фитогеографической характеристикой, тропическо-бореальные — 18 %, аркто-бореальные — 15 %, бореальные — 5 %, биполярные — 3 %.

Таблица 1. Список видов микроводорослей во льду (Л) и подлёдной воде (ПВ) двух бухт острова Русский в 2020–2021 гг.

Table 1. Species composition of microalgae in sea ice (Л) and under-ice water (ПВ) of two bays of Russky Island in 2020–2021

Таксон	Экологическая характеристика	Фито-географическая характеристика	2020 г.				2021 г.				
			Бухта Воевода		Бухта Новик		Бухта Воевода		Бухта Новик		
			Л	ПВ	Л	ПВ	Л	ПВ	Л	ПВ	
Ochrophyta											
<i>Ebria tripartita</i> (Schumann) Lemmermann, 1899	Н	Б	–	–	–	–	–	–	–	+	–
<i>Octactis speculum</i> (Ehrenberg) F. H. Chang, J. M. Grieve et J. E. Sutherland, 2017	О	К	+	–	+	–	+	–	+	–	–

Продолжение на следующей странице...

Таксон	Экологическая характеристика	Фито-географическая характеристика	2020 г.				2021 г.			
			Бухта Воевода		Бухта Новик		Бухта Воевода		Бухта Новик	
			Л	ПВ	Л	ПВ	Л	ПВ	Л	ПВ
Bacillariophyta										
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, 1843	БП	К	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Amphora proteus</i> Gregory, 1857	Бен	К	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Asterionella formosa</i> Hassall, 1850	Пр	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Caloneis liber</i> (W. Smith) Cleve, 1894	Бен	К	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Chaetoceros socialis</i> f. <i>radians</i> (F. Schütt) A. I. Proshkina-Lavrenko, 1963	Н	ТАБ	+	-	+	-	+	-	+	-
<i>Cocconeis costata</i> Gregory, 1855	Бен	К	-	-	-	-	+	-	+	-
<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg, 1838	Бен	К	+	-	-	-	+	+	+	-
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, 1840	П	АБ	+	-	+	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus</i> sp.	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-
<i>Cyclotella choctawhatcheeana</i> Prasad, 1990	Н	ТБ	-	-	+	-	+	-	-	-
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann et J. C. Lewin, 1964	БП	К	+	+	+	-	+	-	+	+
<i>Cymbella falsa diluviana</i> (Krasske) Lange-Bertalot et Metzeltin, 2009	Бен	Б	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Detonula confervacea</i> (Cleve) Gran, 1896	Н	АБ	+	-	-	-	+	-	+	-
<i>Diploneis chersonensis</i> (Grunow) Cleve, 1894	Бен	ТАБ	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Diploneis lineata</i> (Donkin) Cleve, 1894	Бен	ТБ	+	-	-	-	+	-	+	-
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve, 1894	Бен	К	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Entomoneis gigantea</i> var. <i>decussata</i> (Grunow) Nizamuddin, 1982	БП	Б	-	-	-	-	+	-	+	+
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kützing, 1844	Бен	К	+	-	-	+	+	-	+	-
<i>Gyrosigma arcuatum</i> (Donkin) Sterrenburg, 2005	Бен	К	-	-	-	-	+	-	-	-

Продолжение на следующей странице...

Таксон	Экологическая характеристика	Фито-географическая характеристика	2020 г.				2021 г.				
			Бухта Воевода		Бухта Новик		Бухта Воевода		Бухта Новик		
			Л	ПВ	Л	ПВ	Л	ПВ	Л	ПВ	
<i>Gyrosigma fasciola</i> (Ehrenberg) J. W. Griffith et Henfrey, 1856	Бен	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>Gyrosigma tenuissimum</i> (W. Smith) Griffith et Henfrey, 1856	Бен	ТБ	–	–	–	–	–	–	–	+	–
<i>Halamphora costata</i> (W. Smith) Levkov, 2009	Бен	ТБ	+	–	–	–	+	–	+	–	–
<i>Halamphora cymbifera</i> (Gregory) Levkov, 2009	Бен	ТБ	+	–	–	–	+	–	–	–	–
<i>Haslea ostrearia</i> (Gaillon) Simonsen, 1974	Бен	ТБ	–	–	–	–	+	–	–	–	–
<i>Leptocylindrus minimus</i> Gran, 1915	Н	ТАБ	+	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Licmophora abbreviata</i> C. Agardh, 1831	Бен	К	–	–	–	–	–	–	–	+	–
<i>Licmophora communis</i> (Heiberg) Grunow, 1881	Бен	АБ	–	–	–	–	+	–	–	–	–
<i>Melosira moniliformis</i> (O. F. Müller) C. Agardh, 1824	БП	ТАБ	–	–	–	–	–	–	–	+	–
<i>Melosira moniliformis</i> var. <i>subglobosa</i> (Grunow) Hustedt, 1927	БП	АБ	–	–	–	–	+	–	–	–	–
<i>Navicula distans</i> (W. Smith) Ralfs, 1861	Бен	ТАБ	–	–	–	–	+	+	–	–	+
<i>Navicula granii</i> (Jørgensen) Gran, 1908	Н	АБ	–	–	–	–	+	+	–	–	+
<i>Navicula johanrossii</i> Giffen, 1967	Бен	ТБ	–	–	–	–	+	–	–	–	–
<i>Navicula ramosissima</i> (C. Agardh) Cleve, 1895	Бен	ТАБ	–	–	–	–	+	+	–	–	+
<i>Navicula septentrionalis</i> Cleve, 1896	Н	АБ	+	+	–	–	+	–	+	–	+
<i>Navicula</i> sp. 1	–	–	+	+	+	+	–	–	–	–	–
<i>Navicula</i> sp. 2	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Navicula</i> sp. 3	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
<i>Navicula transitans</i> var. <i>derasa</i> (Grunow) Cleve, 1883	–	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+
<i>Navicula transitans</i> var. <i>derasa</i> f. <i>delicatula</i> Heimdal, 1970	–	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+
<i>Nitzschia angularis</i> W. Smith, 1853	Бен	К	–	–	–	+	–	–	–	–	–
<i>Nitzschia distans</i> W. Gregory, 1857	Бен	ТБ	–	–	+	–	–	–	–	–	–
<i>Nitzschia frigida</i> Grunow, 1880	–	–	+	+	+	+	+	–	+	–	+

Продолжение на следующей странице...

Таксон	Экологическая характеристика	Фито-географическая характеристика	2020 г.				2021 г.			
			Бухта Воевода		Бухта Новик		Бухта Воевода		Бухта Новик	
			Л	ПВ	Л	ПВ	Л	ПВ	Л	ПВ
<i>Nitzschia</i> sp. 1	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>Nitzschia</i> sp. 2	–	–	–	+	+	+	–	–	–	–
<i>Nitzschia</i> sp. 3	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
<i>Nitzschia</i> sp. 4	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) C. Agardh, 1832	БП	ТАБ	+	+	+	–	+	+	+	+
<i>Parlibellus delognei</i> (Van Heurck) E. J. Cox, 1988	Бен	К	–	–	–	–	+	+	–	+
<i>Pinnularia</i> sp.	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>Pleurosigma elongatum</i> W. Smith, 1852	Бен	К	–	–	–	–	+	+	+	+
<i>Pleurosigma formosum</i> W. Smith, 1852	Бен	ТАБ	+	–	–	–	–	–	–	–
<i>Pleurosigma inflatum</i> Shadbolt, 1854	Бен	ТБ	+	+	–	–	–	–	–	–
<i>Pleurosigma intermedium</i> W. Smith, 1853	Бен	ТАБ	+	–	–	–	–	–	–	–
<i>Pseudo-nitzschia fraudulenta</i> (Cleve) Hasle, 1993	П	К	–	–	+	–	–	–	–	–
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) G. R. Hasle, 1993	П	К	–	–	+	–	–	–	–	–
<i>Rhaphoneis amphicerus</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, 1844	Бен	ТБ	–	–	–	–	–	–	+	–
<i>Rhoicosphenia marina</i> (Kützing) M. Schmidt, 1889	Бен	ТАБ	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>Skeletonema</i> sp.	–	–	+	–	+	–	+	–	–	–
<i>Tabularia fasciculata</i> (C. Agardh) D. M. Williams et Round, 1986	Бен	К	+	+	+	+	+	–	+	–
<i>Tabularia tabulata</i> (C. Agardh) Snoeijs, 1992	Бен	К	+	–	–	–	+	+	+	–
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky, 1902	П	ТАБ	+	+	+	–	–	–	–	–
<i>Thalassiosira gravida</i> Cleve, 1896	П	Бип	–	–	–	+	+	–	–	–
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i> Cleve, 1873	Н	АБ	+	+	+	–	+	+	+	+
<i>Thalassiosira punctigera</i> (Castracane) Hasle, 1983	Н	ТБ	–	–	–	–	+	+	+	–
<i>Thalassiosira</i> sp.	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
<i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenberg) Cleve, 1894	Бен	К	+	–	+	–	+	–	+	+
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P. Compère, 2001	Бен	К	–	–	–	–	–	–	+	–

Продолжение на следующей странице...

Таксон	Экологическая характеристика	Фито-географическая характеристика	2020 г.				2021 г.				
			Бухта Воевода		Бухта Новик		Бухта Воевода		Бухта Новик		
			Л	ПВ	Л	ПВ	Л	ПВ	Л	ПВ	
Cryptophyta											
<i>Plagioselmis</i> sp.	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	+
Dinophyta											
<i>Alexandrium</i> sp.	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–
<i>Amphidinium sphenoides</i> Wulff, 1919	О	АБ	–	–	–	+	–	–	–	–	+
<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède et Lachmann, 1859	Н	К	+	–	+	–	–	–	–	–	–
<i>Gyrodinium fusiforme</i> Kofoid et Swezy, 1921	Н	ТАБ	–	–	+	+	–	–	–	–	+
<i>Gyrodinium lacryma</i> (Meunier) Kofoid et Swezy, 1921	О	АБ	–	–	–	–	–	–	–	–	+
<i>Oblea rotunda</i> (Lebour) Balech ex Sourmia, 1973	О	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
<i>Protoceratium reticulatum</i> (Claparède et Lachmann) Bütschli, 1885	Н	К	+	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Protoperidinium brevipes</i> (Paulsen, 1908) Balech, 1974	Н	К	+	–	–	+	–	–	–	+	–
<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey, 1854) Balech, 1974	О	К	+	–	+	–	–	–	–	–	–
<i>Protoperidinium granii</i> (Ostenfeld) Balech, 1974	Н	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+
<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh, 1881	Н	К	+	+	+	+	+	–	–	–	–
<i>Protoperidinium pentagonum</i> (Gran) Balech, 1974	Н	Бип	+	–	+	–	–	–	–	–	–
<i>Protoperidinium</i> sp.	–	–	+	–	–	–	+	+	–	–	–
Chlorophyta											
<i>Carteria</i> sp.	–	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–
<i>Chlamydomonas</i> sp.	–	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–
Euglenophyta											
<i>Eutreptiella braarudii</i> Throndsen, 1969	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+	+
Haptophyta											
Неидентифицированный вид	–	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–

Примечание: Н — неритический; О — океанический; П — панталассный; Бен — бентосный; БП — бенто-планктонный; Пр — пресноводный; Б — бореальный; К — космополит; АБ — аркто-бореальный; ТБ — тропическо-бореальный; ТАБ — тропическо-аркто-бореальный; Бип — биполярный.

Note: Н, neritic; О, oceanic; П, panthalassic; Бен, benthic; БП, bento-planktonic; Пр, freshwater; Б, boreal; К, cosmopolite; АБ, arcto-boreal; ТБ, tropical-boreal; ТАБ, tropical-arcto-boreal; Бип, bipolar.

В бухте Воевода в 2020 г. наибольшее число видов (22) отмечено в слоях льда 0–10 и 10–20 см, в 2021 г. (28 видов) — в слое 10–20 см (рис. 2). В бухте Новик в оба года максимальное видовое богатство выявлено в подлёдной воде (19 и 22 вида). Основу сообщества микроводорослей

как во льду, так и в подлёдной воде составляли диатомовые водоросли, доля которых от общего числа видов в одном из слоёв льда достигала 100 %. Пеннатных видов было 53, центрических — 14; их среднее соотношение в пробах льда и воды — 3 : 1 и 6 : 1 соответственно. В 2020 г. наибольшее число центрических видов встречено в обеих бухтах в слоях льда 0–10 и 10–20 см (5 и 4 вида), в 2021 г. — в бухте Воевода в нижнем слое льда, 50–62 см (6 видов), и в бухте Новик в середине ледяной толщи, 30–40 см (4 вида).

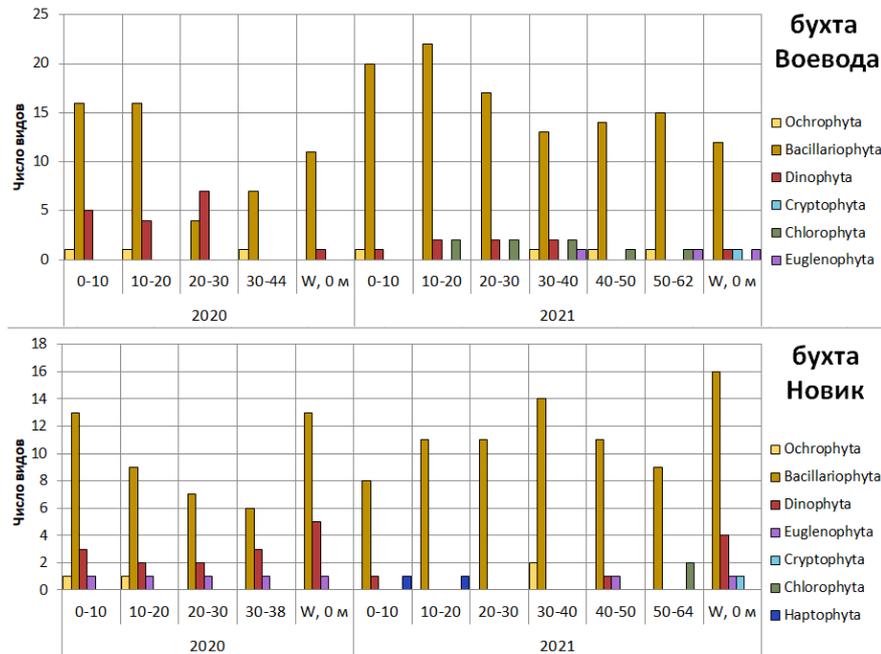


Рис. 2. Число видов в пробах льда и подлёдной воды в бухтах Воевода и Новик

Fig. 2. Species number in samples of ice and under-ice water in the Voevoda Bay (the upper plot) and the Novik Bay (the lower plot)

В ледовой флоре преобладали планктонные неритические виды, в основном относящиеся к группе аркто-бореальных (рис. 3). Доминанты различались в зависимости от места, года, биотопа и глубины отбора. Так, в 2020 г. во льду бухты Воевода преобладали *Nitzschia frigida* (до 94 % от общей численности в слое льда) и *Thalassiosira nordenskioldii* (до 41 %), в подлёдной воде — *Nitzschia* sp. 2 (до 41 %) и *Cylindrotheca closterium* (до 31 %). Во льду бухты Новик доминировали *C. closterium* (до 63 %), *T. nordenskioldii* (до 55 %) и *N. frigida* (до 28 %), в подлёдной воде — *Thalassiosira gravida* (до 88 %). В 2021 г. во льду бухты Воевода преобладали *Navicula septentrionalis* (до 59 %), *Nitzschia* sp. 4 (до 46 %), *Navicula granii* (до 41 %) и *Chaetoceros socialis* f. *radians* (до 76 %), в подлёдной воде — *Plagioselmis* sp. (до 67 %). Во льду бухты Новик доминировали *Nitzschia* sp. 4 (до 72 %), *N. frigida* (до 40 %) и *C. socialis* f. *radians* (до 27 %), в подлёдной воде — *T. nordenskioldii* (до 34 %) и *Plagioselmis* sp. (до 25 %).

Статистический анализ распределения видов микроводорослей в слоях льда и в подлёдной воде показал существенные различия в уровнях сходства горизонтов между собой в зависимости от типа биотопа, глубины отбора пробы, а также места и года исследования (рис. 4). Наиболее значительно видовой состав в пробах отличался между годами исследования: уровень сходства проб, отобранных в один год, составил 25 %. При этом пробы 2021 г. существенно отличались друг от друга по видовому составу в зависимости от места отбора: в каждой из бухт уровень сходства составил 40 %. В 2020 г. подобной чёткой корреляции не было выявлено. Пробы из некоторых соседствующих слоёв оказались сходными на 65 %: в 2020 г. — из слоёв 20–40 см в бухте Новик; в 2021 г. — из слоёв 30–50 см в бухте Воевода и 0–20 см в бухте Новик.

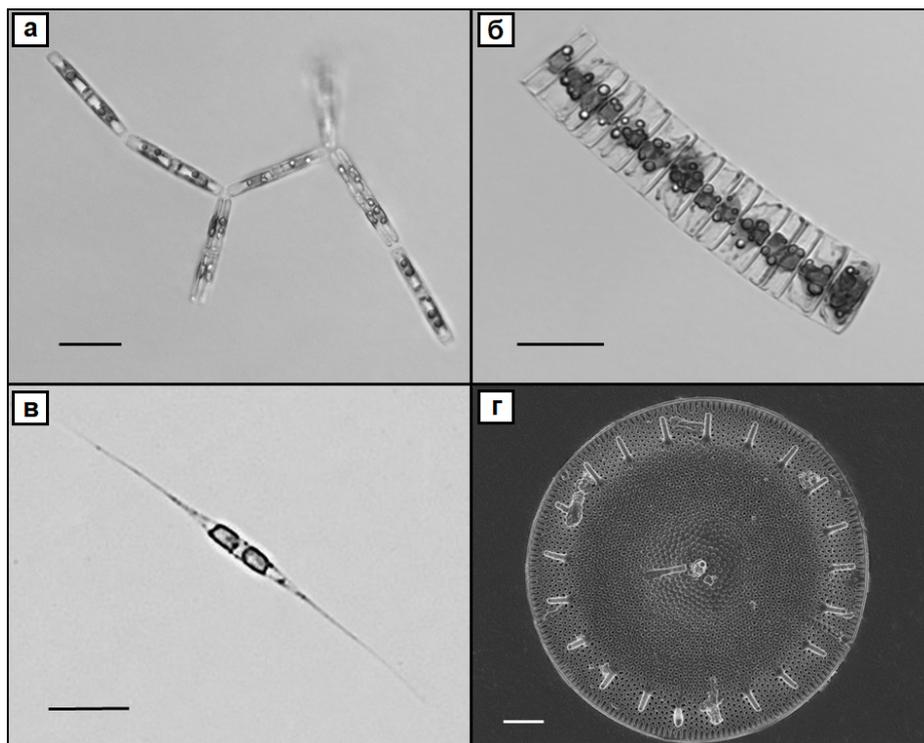


Рис. 3. Доминирующие виды микроводорослей: а — *Nitzschia frigida*; б — *Navicula septentrionalis*; в — *Cylindrotheca closterium* (световой микроскоп); г — *Thalassiosira nordenskiöldii* (сканирующий электронный микроскоп). Масштабные линейки — 20 мкм (а–в) и 4 мкм (г)

Fig. 3. Dominant microalgal species: а, *Nitzschia frigida*; б, *Navicula septentrionalis*; в, *Cylindrotheca closterium*; (a light microscope); г, *Thalassiosira nordenskiöldii* (a scanning electron microscope). Scale bars are 20 μm (а–в) and 4 μm (г)

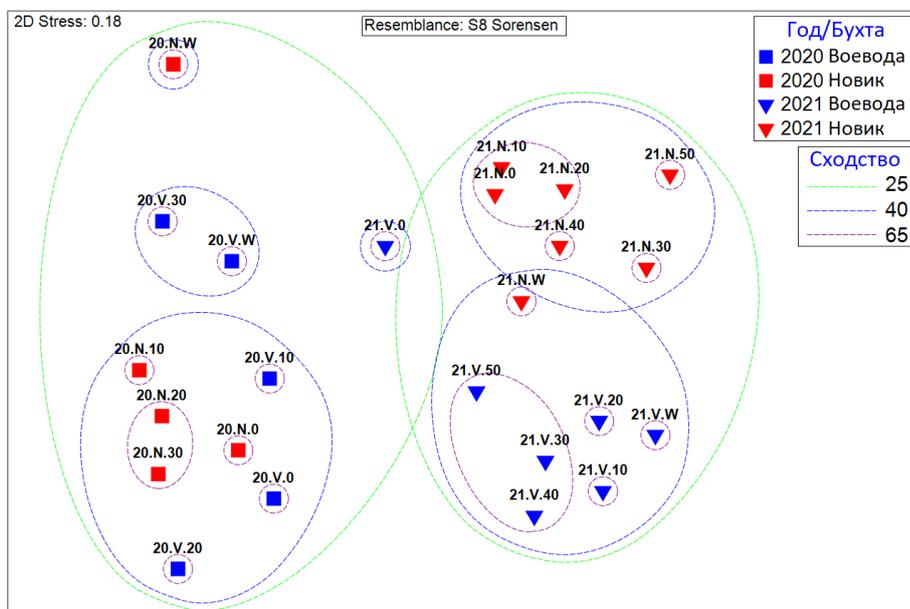


Рис. 4. Неметрическое многомерное шкалирование ординации альгофлоры для проб льда и подлёдной воды. Пробы подписаны по шаблону «год.бухта.слой»; номер в индексе слоя указывает на его верхнюю границу; W означает пробу подлёдной воды

Fig. 4. Non-metric multidimensional scaling of algal flora ordination for samples of ice and under-ice water. Samples are signed according to a “year.bay.layer” pattern; a digit in a layer index indicates its upper boundary; W denotes a sample of under-ice water

ОБСУЖДЕНИЕ

Ледовая альгофлора бухт Воевода и Новик характеризовалась схожей таксономической структурой, в которой по видовому составу и количеству видов доминировали диатомовые водоросли [Юрикова, Бегун, 2022]. Общими за 2020–2021 гг. для двух бухт оказались 45 видов (52 % от общего числа). Сходство альгофлоры в бухтах прослеживается и по отмеченным родам с наиболее разнообразным видовым составом. При этом в бухте Новик выявлено большее количество представленных групп в каждом из исследованных периодов. В 2021 г. число видов ледовых микроводорослей в бухте Воевода было выше в 1,3 раза, чем в бухте Новик, в то время как в 2020 г. оно было сходным. Вероятно, наблюдаемое сходство видового состава вызвано достаточно близким географическим положением этих бухт и их связью с Амурским заливом, с его замкнутым типом циркуляции вод. Отмеченные различия в таксономической структуре ледовой альгофлоры обусловлены расположением бухт. Так, бухта Новик глубоко врежется в остров Русский, её кутовая часть значительно отдалена от вод пролива Босфор Восточный, что объясняет высокий уровень замкнутости биотопа. Более открытая бухта Воевода опресняется стоками реки Русской, из-за чего там формируется видовой состав микроводорослей, отличный от такового бухты Новик.

Статистический анализ показал наиболее значительную вариабельность видового состава в пробах льда и подлёдной воды в зависимости от года исследования. В 2021 г. состав микроводорослей изученных бухт оказался богаче, чем в 2020 г., что совпадает с результатами по их количественному развитию [Юрикова, Бегун, 2022]. Данное явление может быть связано с особенностями метеорологических условий, которые способствовали формированию ледяного покрова большей толщины, чем в предыдущем году. На различия в видовом составе также влияют локация (точка отбора проб), тип биотопа и глубина залегания ледяного слоя.

Большинство видов диатомовых водорослей морского льда бухт Воевода и Новик широко известны для подлёдного фитопланктона акваторий залива Петра Великого, развивающегося при отрицательной температуре воды и достигающего уровня, характерного для цветения вод в зимний и ранневесенний период [Бегун и др., 2003, 2011; Коновалова и др., 1989; Орлова и др., 2009; Пономарева, 2017; Стоник, 2018; Шевченко и др., 2020; Ryabushko et al., 2019]. В микрофитобентосе каменистых грунтов в ледяной корке залива Восток в январе 1980 г. при температуре воды до $-1,2$ °C была указана максимальная биомасса диатомовых ($2576 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2}$) с доминированием бенто-планктонного вида *Odontella aurita* (Lyngbye) C. Agardh, 1832 [Рябушко, 1986; Рябушко, Бегун, 2015], который встречался и в бухтах Воевода и Новик. Некоторые зарегистрированные нами виды также отмечены в большинстве работ по биоте ледяного покрова морей полярных регионов [Буйницкий, 1973; Мельников, 1989; Усачёв, 1949; Kauko et al., 2009].

Обнаруженные массовые представители ледовой альгофлоры бухт острова Русский являются планктонными неритическими видами. Однако среди других видов значительную часть составляли бентосные (49 %) и бенто-планктонные (10 %) формы, характерные для грунтового биотопа или обрастания различных подводных субстратов, что может быть обусловлено мелководностью бухт и близостью донного биотопа. В результате волнового воздействия и поднятия к поверхности воды бентосные виды способны прикрепляться к нижней части ледяного покрова как к субстрату, выступая в роли криоперифитона [Буйницкий, 1973; Мельников, Бондарчук, 1987; Ewert, Deming, 2013]. Известно [Kauko et al., 2009], что в результате турбулентного перемешивания вод пелагиали клетки микроводорослей включаются в морской лёд в процессе его формирования. Однако, по мнению некоторых исследователей [Olsen et al., 2017; Ratkova, Wassmann, 2005], микрофитобентос тоже является источником пополнения ледового биотопа альгофлорой.

В сообществе микроводорослей бухт острова Русский планктонные виды диатомовых представлены как центрическими формами (большинство из них обитает в пелагиали), так и пеннатыми (более присущими бентали), что в целом характерно и для подлёдного фитопланктона акваторий залива Петра Великого [Бегун и др., 2011; Пономарева, 2017; Шевченко и др., 2020; Sorokin, Konovalova, 1973]. Отметим, что представителей пеннатных видов встречено в 4 раза больше, чем центрических, что некоторые авторы считают закономерным результатом основной стадии сукцессии во время цветения ледовых микроводорослей [Leu et al., 2015; Van Leeuwe et al., 2018].

Исследование морского льда бухт острова Русский показало, что ледовая альгофлора представлена как планктонными, так и бентосными микроводорослями. Это связано с тем, что во время закономерного для зимнего сезона массового развития подлёдного фитопланктона при формировании морского льда массовые виды способны с большей или меньшей интенсивностью включаться в состав ледового сообщества. Эта интенсивность обусловлена рядом сложных метеорологических и гидрохимических процессов, происходящих в акватории в момент льдообразования, что находит отражение в различиях в видовом составе сообщества и количественном обилии микроводорослей [Юрикова, Бегун, 2022] в каждом конкретном слое ледяного покрова.

Выводы. Значительно расширены сведения о флоре микроводорослей морского льда и подлёдной воды залива Петра Великого. Впервые приведён список видов-криофилов, насчитывающий 87 таксонов из 48 родов и 7 отделов. Альгофлора морского льда и подлёдной воды акваторий острова Русский представлена в основном бентосными космополитными видами. Таксономический состав микроводорослей открытой акватории бухты Воевода в целом характеризуется большим видовым богатством, но меньшим количеством отделов микроводорослей, чем таковой закрытой бухты Новик.

Всего в 2020 г. в обеих бухтах встречено 52 вида из 31 рода и 4 отделов, из них в бухте Воевода зарегистрировано 36 видов, в бухте Новик — 37; общим для двух бухт стал 21 вид. В 2021 г. всего отмечено 63 вида из 41 рода и 7 отделов, из них в бухте Воевода — 50 видов, в бухте Новик — 43; общий для двух бухт — 31 вид. Выявлены различия в послыном распределении видов. Установлено, что наиболее значительно видовой состав в пробах льда и подлёдной воды различался в разные годы исследования.

Данное исследование поддержано Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации (соглашение № 169-15-2023-002).

Благодарность. Авторы выражают признательность сотрудникам Тихоокеанского океанологического института имени В. И. Ильичёва ДВО РАН П. Я. Тищенко, П. Ю. Семкину, Ю. А. Барабанщикову и С. Г. Сагалаеву за помощь в организации и проведении полевых работ. Также авторы благодарят А. Ю. Лазарюка за научную консультацию. Работа проведена на базе ЦКП РК «Морской биобанк» ННЦМБ ДВО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Барабанщиков Ю. А., Тищенко П. Я., Семкин П. Ю., Волкова Т. И., Звалинский В. И., Михайлик Т. А., Сагалаев С. Г., Сергеев А. Ф., Тищенко П. П., Швецова М. Г., Шкирникова Е. М. Сезонные гидролого-гидрохимические исследования бухты Воевода (Амурский залив, Японское море) // *Известия ТИНРО*. 2015. Т. 180. С. 161–178. [Barabanshchikov Yu. A., Tishchenko P. Ya., Semkin P. Yu., Volkova T. I., Zvalinsky V. I., Mikhailik T. A., Sagalaev S. G., Sergeev A. F., Tishchenko P. P., Shvetsova M. G., Shkirmikova E. M. Seasonal hydrological and hydrochemical surveys in the Voevoda Bay (Amur Bay, Japan Sea). *Izvestiya TINRO*, 2015, vol. 180, pp. 161–178. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2015-180-161-178>
2. Барабанщиков Ю. А., Тищенко П. Я., Семкин П. Ю., Михайлик Т. А., Косьяненко А. А.

- Условия образования лечебных грязей в бухте Воевода (Амурский залив, Японское море) // *Известия ТИНРО*. 2018. Т. 192. С. 167–176. [Barabanshchikov Yu. A., Tishchenko P. Ya., Semkin P. Yu., Mikhailik T. A., Kosyanenko A. A. Conditions of forming for therapeutic mud in the Voevoda Bay (Amur Bay, Japan Sea). *Izvestiya TINRO*, 2018, vol. 192, pp. 167–176. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2018-192-167-176>
3. Бегун А. А., Орлова Т. Ю., Звягинцев А. Ю. Фитопланктон Амурского залива Японского моря в районе г. Владивостока // *Альгология*. 2003. Т. 13, № 2. С. 204–215. [Begun A. A., Orlova T. Yu., Zvyagintsev A. Yu. Phytoplankton of Amur Bay in the Sea of Japan near Vladivostok. *Al'gologiya*, 2003, vol. 13, no. 2, pp. 204–215. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/ahnogo>
 4. Бегун А. А., Звягинцев А. Ю., Масленников С. И. Фитопланктон в районе очистных сооружений г. Владивостока (Амурский залив, Японское море) // *Научные труды Дальрыбвтуза*. 2011. Т. 24. С. 3–12. [Begun A. A., Maslennikov S. I., Zvyagintsev A. Yu. Phytoplankton in treatment facilities area near Vladivostok (Amurskii Bay, Japan Sea). *Nauchnye trudy Dal'rybvтуza*, 2011, vol. 24, pp. 3–12. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/oirajb>
 5. Бойченко Т. В., Христофорова Н. К., Емельянов А. А. Микробная индикация загрязнения поверхностных вод бухты Новик (остров Русский, залив Петра Великого, Японское море) // *Известия ТИНРО*. 2019. Т. 198. С. 186–194. [Boychenko T. V., Khristoforova N. K., Emelyanov A. A. Microbial indication of pollution for the surface waters in the Novik Bay (Russky Island, Peter the Great Bay, Japan Sea). *Izvestiya TINRO*, 2019, vol. 198, pp. 186–194. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2019-198-186-194>
 6. Буйницкий В. Х. *Морские льды и айсберги Антарктики*. Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1973. 256 с. [Buinitskii V. Kh. *Morskie l'dy i aisbergi Antarktiki*. Leningrad : Izd-vo LGU, 1973, 256 p. (in Russ.)]
 7. Звалинский В. И., Марьяш А. А., Стоник И. В., Швецова М. Г., Сагалаев С. Г., Бегун А. А., Тищенко П. Я. Продукционные и гидрохимические характеристики льда, подлёдной воды и донных осадков эстуария реки Раздольной (Амурский залив, Японское море) в период ледостава // *Биология моря*. 2010. Т. 36, № 3. С. 186–195. [Zvalinsky V. I., Maryash A. A., Shvetsova M. G., Sagalaev S. G., Tishchenko P. Y., Stonik I. V., Begun A. A. Production and hydrochemical characteristics of ice, under-ice water and sediments in the Razdolnaya River estuary (Amursky Bay, Sea of Japan) during the ice cover period. *Biologiya morya*, 2010, vol. 36, no. 3, pp. 186–195. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/ouiphz>
 8. Коновалова Г. В. *Динофлагелляты (Dinophyta) дальневосточных морей России и сопредельных акваторий Тихого океана*. Владивосток : Дальнаука, 1998. 300 с. [Konovalova G. V. *Dinoflagellyaty (Dinophyta) dal'nevostochnykh morei Rossii i sopredel'nykh akvatorii Tikhogo okeana*. Vladivostok : Dal'nauka, 1998, 300 p. (in Russ.)]
 9. Коновалова Г. В., Орлова Т. Ю., Паутова Л. А. *Атлас морского фитопланктона Японского моря*. Ленинград : Наука, 1989. 160 с. [Konovalova G. V., Orlova T. Yu., Pautova L. A. *Atlas morskogo fitoplanktona Yaponskogo morya*. Leningrad : Nauka, 1989, 160 p. (in Russ.)]
 10. Кузнецов Л. Л. Хлорофиллы и первичная продукция микроводорослей, связанных со льдом Амурского залива Японского моря // *Биология моря*. 1980. № 5. С. 72–74. [Kuznetsov L. L. Chlorophylls and primary production of microalgae connected with ice of the Amur Bay (Sea of Japan). *Biologiya morya*, 1980, no. 5, pp. 72–74. (in Russ.)]
 11. Мельников И. А. *Экосистема арктического морского льда*. Москва : АН СССР, 1989. 192 с. [Mel'nikov I. A. *Ekosistema arkticheskogo morskogo l'da*. Moscow : AN SSSR, 1989, 192 p. (in Russ.)]
 12. Мельников И. А., Бондарчук Л. Л. К экологии массовых скоплений колониальных диатомовых водорослей под арктическим дрейфующим льдом // *Океанология*. 1987. Вып. 2. С. 317–321. [Mel'nikov I. A., Bondarchuk L. L. To the ecology of the mass aggregations of colonial diatom algae under the arctic drifting sea ice. *Okeanologiya*, 1987, iss. 2, pp. 317–321. (in Russ.)]
 13. Мельниченко Н. А., Тювеев А. В., Лазарюк А. Ю., Савченко В. Г., Кустова Е. В. Особенности формирования вертикальной структуры льда в бухте Новик (о-в Русский) по данным ЯМР и МРТ // *Вестник Дальневосточного*

- отделения Российской академии наук. 2017. № 4 (194). С. 70–80. [Mel'nichenko N. A., Tyuveev A. V., Lazaryuk A. Yu., Savchenko V. G., Kustova E. V. Particular features of forming sea ice vertical structure in the Novik Bay (the Russian Island) by NMR and MRT. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk*, 2017, no. 4 (194), pp. 70–80. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/zndttz>
14. Мельниченко Н. А., Тюевев А. В., Лазарюк А. Ю., Савченко В. Г., Харламов П. О., Юрцев А. Ю., Марьина Е. Н. Вертикальное распределение содержания рассола, температуры и солёности в припайных льдах бухты Новик (о-в Русский) залива Петра Великого // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2014. № 5 (177). С. 32–38. [Mel'nichenko N. A., Tyuveev A. V., Lazaryuk A. Yu., Savchenko V. G., Kharlamov P. O., Yurtsev A. Yu., Mar'yina E. N. Vertical distribution of brine content, temperature and salinity in land fast ice of the Novik Bay (Russky Island) of Peter the Great Bay. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk*, 2014, no. 5 (177), pp. 32–38. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/tndocn>
15. Орлова Т. Ю., Стоник И. В., Шевченко О. Г. Флора микроводорослей планктона Амурского залива Японского моря // *Биология моря*. 2009. Т. 35, № 1. С. 48–61. [Orlova T. Yu., Stonik I. V., Shevchenko O. G. Flora of planktonic microalgae of Amursky Bay, Sea of Japan. *Biologiya morya*, 2009, vol. 35, no. 1, pp. 48–61. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.1134/S106307400901009X>
16. Пономарёва А. А. *Структура и динамика фитопланктона в бухте Парис (залив Петра Великого, Японское море)* : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.10. Владивосток : ННЦМБ ДВО РАН, 2017. 171 с. [Ponomareva A. A. *Struktura i dinamika fitoplanktona v bukhte Paris (zaliv Petra Velikogo, Yaponskoe more)*. [dissertation]. Vladivostok : NNTsMB DVO RAN, 2017, 171 p. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/zqepgn>
17. Радченко И. Г., Капков В. И., Федоров В. Д. *Практическое руководство по сбору и анализу проб морского фитопланктона* : учебно-методическое пособие для студентов биологических специальностей университетов. Москва : Мордвинцев, 2010. 60 с. [Radchenko I. G., Kapkov V. I., Fedorov V. D. *Prakticheskoe rukovodstvo po sboru i analizu prob morskogo fitoplanktona* : uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov biologicheskikh spetsial'nostei universitetov. Moscow : Mordvintsev, 2010, 60 p. (in Russ.)]
18. Рябушко Л. И. *Диатомовые водоросли верхней сублиторали северо-западной части Японского моря* : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.18. Севастополь, 1986. 244 с. [Ryabushko L. I. *Diatomovye vodorosli verkhnei sublitorali severo-zapadnoi chasti Yaponskogo morya*. [dissertation]. Sevastopol, 1986, 244 p. (in Russ.)]
19. Рябушко Л. И., Бегун А. А. *Диатомовые водоросли микрофитобентоса Японского моря* : в 2 т. Симферополь ; Севастополь : Н.Орианда, 2015. Т. 1. 288 с. [Ryabushko L. I., Begun A. A. *Diatoms of Microphytobenthos of the Sea of Japan* : in 2 vols. Simferopol ; Sevastopol : N.Orianda, 2015, vol. 1, 288 p. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/7924>
20. Стоник И. В. Качественный и количественный состав фитопланктона бухты Золотой Рог Японского моря // *Известия ТИНРО*. 2018. Т. 194. С. 167–174. [Stonik I. V. Qualitative and quantitative composition of phytoplankton in the Golden Horn Bay, Japan Sea. *Izvestiya TINRO*, 2018, vol. 194, pp. 167–174. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2018-194-167-174>
21. Усачёв П. И. Микрофлора полярных льдов // *Труды Института океанологии*. 1949. Т. 3. С. 216–259. [Usachev P. I. Mikroflora polyarnykh l'dov. *Trudy Instituta okeanologii*, 1949, vol. 3, pp. 216–259. (in Russ.)]
22. Христофорова Н. К., Бойченко Т. В., Емельянов А. А., Попова А. В. Микробиологический контроль состояния вод бухты Новик (залив Петра Великого, Японское море) // *Известия ТИНРО*. 2017. Т. 189. С. 121–130. [Khristoforova N. K., Boychenko T. V., Emelyanov A. A., Popova A. V. Microbiological control of the water condition in the Novik Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea). *Izvestiya TINRO*, 2017, vol. 189, pp. 121–130. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2017-189-121-130>
23. Христофорова Н. К., Дёгтева Ю. Е., Бердасова К. С., Емельянов А. А., Лазарюк А. Ю. Химико-экологическое состояние вод бухты Новик (остров Русский, зал. Петра

- Великого, Японское море) // *Известия ТИНРО*. 2016. Т. 186. С. 135–144. [Khristoforova N. K., Degteva Yu. E., Berdasova K. S., Emelyanov A. A., Lazaryuk A. Yu. Chemical and ecological state of the waters in the Novik Bay (Russky Island, Peter the Great Bay, Japan Sea). *Izvestiya TINRO*, 2016, vol. 186, pp. 135–144. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2016-186-135-144>
24. Шевченко О. Г., Тевс К. О., Шулькин В. М. Комплексный мониторинг фитопланктона в мелководной бухте залива Петра Великого (Японское море): динамика хлорофилла «a» и биогенных элементов // *Известия ТИНРО*. 2020. Т. 200, вып. 1. С. 141–154. [Shevchenko O. G., Tevs K. O., Shul'kin V. M. Integrated monitoring of phytoplankton in a shallow inlet of Peter the Great Bay (Japan Sea): Dynamics of chlorophyll *a* and nutrients. *Izvestiya TINRO*, 2020, vol. 200, iss. 1, pp. 141–154. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2020-200-141-154>
 25. Юрикова Е. А., Бегун А. А. Количественная структура сообщества микроводорослей морского льда (остров Русский, залив Петра Великого, Японское море) // *Морской биологический журнал*. 2022. Т. 7, № 2. С. 98–112. [Yurikova E. A., Begun A. A. Quantitative structure of the sea ice microalgae community (Russky Island, Peter the Great Bay, Sea of Japan). *Marine Biological Journal*, 2022, vol. 7, no. 2, pp. 98–112. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.21072/mbj.2022.07.2.08>
 26. *Identifying Marine Phytoplankton* / T. R. Carmelo (Ed.). San Diego, CA : Academic Press, 1997, 874 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-693018-4.X5000-9>
 27. Clarke K. R., Gorley R. N. *PRIMER version 7: User Manual / Tutorial*. Plymouth, UK : PRIMER-E, 2015, 296 p.
 28. Clarke K. R., Warwick R. M. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2nd edition. Plymouth : PRIMER-E, 2001, 176 p.
 29. Ewert M., Deming J. W. Sea ice microorganisms: Environmental constraints and extracellular responses. *Biology*, 2013, vol. 2, iss. 2, pp. 603–628. <https://doi.org/10.3390/biology2020603>
 30. Hoppenrath M., Elbrächter M., Drebes G. *Marine Phytoplankton: Selected Microphytoplankton Species from the North Sea Around Helgoland and Sylt*. Stuttgart : E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2009, 264 p.
 31. Kauko H. M., Olsen L. M., Duarte P., Peeken I., Granskog M. A., Johnsen G., Fernández-Méndez M., Pavlov A. K., Mundy Ch. J., Assmy Ph. Algal colonization of young Arctic sea ice in spring. *Frontiers in Marine Science*, 2018, no. 5, art. no. 199 (20 p.). <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00199>
 32. Leu E., Mundy Ch. J., Assmy Ph., Campbell K., Gabrielsen T. M., Gosselin M. Arctic spring awakening – steering principles behind the phenology of vernal ice algal blooms. *Progress in Oceanography*, 2015, vol. 139, pp. 151–170. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.07.012>
 33. Olsen L. M., Laney S. R., Duarte P., Kauko H. M., Fernández-Méndez M., Mundy Ch. J., Rösel A., Meyer A., Itkin P., Cohen L., Peeken I., Tatarek A., Rózańska-Pluta M., Wiktor J., Taskjelle T., Pavlov A. K., Hudson S. R., Granskog M. A., Hop H., Assmy Ph. The seeding of ice algal blooms in Arctic pack ice: The multiyear ice seed repository hypothesis. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2017, vol. 122, iss. 7, pp. 1529–1548. <https://doi.org/10.1002/2016JG003668>
 34. Ratkova T. N., Wassmann P. Sea ice algae in the White and Barents seas: Composition and origin. *Polar Research*, 2005, vol. 24, no. 1–2, pp. 95–110. <https://doi.org/10.3402/polar.v24i1.6256>
 35. Ryabushko L. I., Balycheva D. S., Bondarenko A. V., Zheleznova S. N., Begun A. A., Stonik I. V. Different aspects of studying a diatom *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin, 1964 in natural and laboratory conditions. *Marine Biological Journal*, 2019, vol. 4, no. 2, pp. 52–62. <https://doi.org/10.21072/mbj.2019.04.2.06>
 36. Semkin P., Tishchenko P., Pavlova G., Barabanshchikov Yu., Tishchenko P., Shvetsova M., Shkirknikova E., Fedorets Yu. O₂ and CO₂ responses of the synaptic period to under-ice phytoplankton bloom in the eutrophic Razdolnaya River estuary of Amur Bay, the Sea of Japan. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2022, vol. 10, iss. 12, art. no. 1798 (17 p.). <https://doi.org/10.3390/jmse10121798>

37. Sorokin Y. I., Konovalova G. V. Production and decomposition of organic matter in a bay of the Japan Sea during the winter diatom bloom. *Limnology and Oceanography*, 1973, vol. 18, iss. 6, pp. 962–967. <https://doi.org/10.4319/lo.1973.18.6.0962>
38. Utermöhl H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Mitteilungen*, 1958, vol. 9, iss. 1, pp. 1–38. <https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>
39. Van Leeuwe M. A., Tedesco L., Arrigo K. R., Assmy Ph., Campbell K., Meiners K. M. Microalgal community structure and primary production in Arctic and Antarctic sea ice: A synthesis. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 2018, vol. 6, art. no. 4 (25 p.). <https://doi.org/10.1525/elementa.267>

**SPECIES COMPOSITION OF THE MICROALGAL COMMUNITY
IN SEA ICE AND UNDER-ICE WATER
IN BAYS OF RUSSKY ISLAND (PETER THE GREAT BAY, SEA OF JAPAN)**

E. Yurikova and A. Begun

A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation
E-mail: komcitykat@mail.ru

Sea ice can serve as a habitat for microalgae which can adapt to its unique conditions and successfully reproduce in it. This paper continues the analysis of material obtained for the first time from sea ice in two bays of Russky Island (the Sea of Japan) in 2020–2021 aimed at studying layer-by-layer distribution of the qualitative and quantitative composition of inhabiting microalgae. The taxonomic analysis allowed for identifying 87 species of microalgae from 48 genera and 7 phyla. The maximum species richness was characteristic of the Bacillariophyta phylum (57–100% of the species number in an ice layer). Algal flora of sea ice and under-ice water was formed mainly by benthic cosmopolites. The composition of dominant species varied depending on year, bay, and depth of an ice layer; the prevailing species were *Chaetoceros socialis* f. *radians*, *Cylindrotheca closterium*, *Navicula septentrionalis*, *Nitzschia frigida*, *Thalassiosira gravida*, *T. nordenskiöldii*, and *Plagioselmis* sp. Species composition varied most significantly between years of the study. Differences in species composition were also noted between bays and biotopes, as well as depending on the position of the layer in the ice column.

Keywords: ice algal flora, diatoms, Sea of Japan