

Научная статья

УДК 581.526.325(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-880-893

EDN: MFZEXK

**ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ
ГОРОДА ВЛАДИВОСТОКА В 2019–2021 ГГ.****К.О. Тевс¹, О.Г. Шевченко^{2,3*}**¹ Дальневосточный федеральный университет,
690920, г. Владивосток, пос. Аякс, 10;² Национальный научный центр морской биологии
им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17;³ Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

Аннотация. Изучен качественный и количественный состав фитопланктона Спортивной гавани и бухты Парис в период с октября 2019 по декабрь 2021 г. Обнаружено соответственно 130 и 144 таксона фитопланктона. Общая численность варьировала от 1,3 тыс. до 19 млн кл./л (средние значения 209,7–844,7 тыс. кл./л), биомасса — от 3 мг/м³ до 38,5 г/м³ (0,8–2,6 г/м³). Многолетние исследования микроводорослей Спортивной гавани проводились впервые. Установлены закономерности компонентных характеристик микроводорослей, характерных при эвтрофировании вод. Если в бухте Парис развитие альгоценоза соответствовало классической схеме развития, то в Спортивной гавани отмечали увеличение случаев интенсивного развития микроводорослей, при этом наблюдали замещение диатомового комплекса жгутиковым сообществом, а также нитчатыми цианобактериями. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о наличии антропогенного эвтрофирования акватории Спортивной гавани, предположительно за счет неконтролируемого поступления неочищенных сточных вод.

Ключевые слова: фитопланктон, видовой состав, сезонная динамика, количественные характеристики, Спортивная гавань, бухта Парис, залив Петра Великого, Японское море

Для цитирования: Тевс К.О., Шевченко О.Г. Динамика фитопланктона в прибрежных водах города Владивостока в 2019–2021 гг. // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 880–893. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-880-893. EDN: MFZEXK.

* Тевс Кирилл Олегович, аспирант, tevs.kirill.95@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8893-1720; Шевченко Ольга Геннадьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент, 713553@mail.ru, ORCID 0000-0003-2394-8673.

© Тевс К.О., Шевченко О.Г., 2022

Dynamics of phytoplankton in the coastal waters at Vladivostok in 2019–2021

Kirill O. Tevs*, Olga G. Shevchenko**

* Far Eastern Federal University, Ajax Bay, 10, Vladivostok, 690920;

** Institute of Marine Biology, National Scientific Centre of Marine Biology.

Far Eastern Branch. Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041, Russia;

Far-Eastern State Technical Fisheries University, 52b Lugovaya St., Vladivostok, 690087, Russia

* post-graduate student, tevs.kirill.95@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8893-1720

** Ph.D., senior researcher, 713553@mail.ru, ORCID 0000-0003-2394-8673

Abstract. Structure and abundance of phytoplankton community in the Sportivnaya Harbour and Paris Bay in Vladivostok (western coast of the Japan Sea) was monitored from October 2019 to December 2021. In total, 130 and 144 phytoplankton taxa were identified in these two areas, respectively. The overall cell abundance ranged from $1.3 \cdot 10^3$ to $19 \cdot 10^6$ cells/L (on average $21 \cdot 10^4$ and $84.5 \cdot 10^4$ cells/L); the total phytoplankton biomass — from 3.0 mg/m^3 to 38.5 g/m^3 (on average 0.8 and 2.6 g/m^3 , respectively, by areas). The long-term observations were made for the first time in the Sportivnaya Harbour. The community composition was typical of eutrophic waters, with usual seasonal succession in the Paris Bay but frequent blooms in the Sportivnaya Harbour, when diatoms were replaced by flagellates and filamentous cyanobacteria. Such dynamics is presumably caused by anthropogenic eutrophication due to uncontrolled wastewater discharge.

Keywords: phytoplankton, species composition, seasonal dynamics, phytoplankton abundance, Sportivnaya Harbour, Paris Bay, Peter the Great Bay, Japan Sea

For citation: Tevs K.O., Shevchenko O.G. Dynamics of phytoplankton community in the coastal waters at Vladivostok in 2019–2021, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 880–893. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-880-893. EDN: MFZEXK.

Введение

Одной из самых серьезных экологических проблем современности является загрязнение Мирового океана, особенно в районах расположения крупных городов. На российском побережье Японского моря примером такой акватории является Амурский залив. Согласно докладам об экологической ситуации в Приморском крае в 2019 г. воды залива имели IV класс качества «загрязненные»*, в 2020–2021 гг. — III класс «умеренно загрязненные»**. Несмотря на улучшение качества вод, прибрежные акватории в районе г. Владивосток подвержены значительному антропогенному воздействию, которое проявляется в высокой концентрации загрязняющих веществ в различных компонентах водных экосистем [Бегун, 2004; Христофорова, Саломай, 2006; Стоник, 2018]. Прибрежная зона Спортивной гавани — одно из основных мест отдыха горожан. В непосредственной близости расположены городская инфраструктура (кафе, рестораны, жилые постройки) и водный транспорт (стоянка для катеров и яхт), поэтому целесообразно проводить регулярный мониторинг микроводорослей для выявления биологических последствий органического загрязнения поверхностных вод данной акватории. Водные растительные сообщества активно используют для оценки качества среды, а также в качестве показателей состояния экосистем водоемов. Мониторинг фитопланктона в значительной степени помогает выявить биологические последствия антропогенного воздействия. На загрязненных акваториях нередко прослеживается изменение видового состава и структурно-функциональных характеристик микроводорослей [Абакумов, 1977; Cloern, Jassby, 2010]. Исследование результатов

* Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2019 году. Владивосток, 2020. 270 с.

** Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2021 году. Владивосток, 2022. 334 с.

многолетнего изучения фитопланктона Спортивной гавани ранее не проводились. В то же время исследованию фитопланктона Амурского залива посвящено более 40 работ. Среди них есть работы по изучению сообщества в целом [Паутова, Силкин, 2000; Шулькин и др., 2013], отдельных родов микроводорослей [Шевченко, Орлова, 2010; Стоник и др., 2012], проблем эвтрофирования и «цветения» воды [Симакова и др., 1990; Селина, 1992].

Детальная характеристика фитопланктона также необходима для прибрежных вод, используемых как особо охраняемые акватории, нерестилища или участки развития марикультуры. К такой акватории относится бухта Парис на восточном побережье о. Русского, где расположена База изучения морских млекопитающих Научно-образовательного комплекса «Приморский океанариум» филиала ННЦМБ ДВО РАН. Ранее проведенные исследования показали отсутствие явного влияния антропогенного воздействия на данную акваторию [Шевченко и др., 2020; Shevchenko et al., 2018].

Цель данной работы заключалась в сравнении сезонных изменений качественных и количественных показателей фитопланктона в различных акваториях зал. Петра Великого.

Материалы и методы

Сбор материала. В основу работы легли планктонные сборы, выполненные в период с октября 2019 по декабрь 2021 г. на 2 станциях, расположенных в прибрежных водах Амурского залива (Спортивная гавань; $43^{\circ}07'16''$ с.ш. $131^{\circ}52'27''$ в.д.) и прол. Босфор Восточный (бухта Парис; $43^{\circ}00'44''$ с.ш. $131^{\circ}54'45''$ в.д.) (рис. 1).

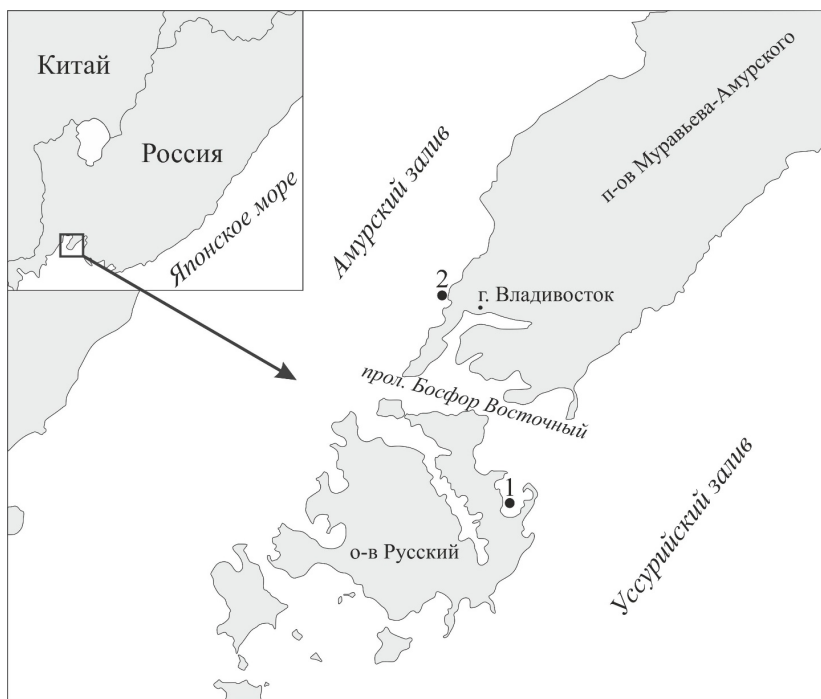


Рис. 1. Карта-схема расположения станций: 1 — бухта Парис; 2 — Спортивная гавань
Fig. 1. Scheme of smpling: 1 — Paris Bay; 2 — Sportivnaya Harbor

Пробы фитопланктона собирали с причалов 2 раза в месяц 5-литровым батометром Нискина с горизонта 0,5 м. Температуру и соленость поверхностного слоя воды измеряли с помощью многопараметрического зонда HORIBA U-52G.

Обработка материала. Для исследования микроводорослей материал фиксировали раствором Утермеля до бледно-желтого цвета. Концентрирование проб объемом

1 л производили методом осаждения [Utermöhl, 1958]. Численность клеток микроводорослей подсчитывали в счетной камере типа Нахотта объемом 0,05 мл [Федоров, 1979]. Биомассу микроводорослей оценивали объемным методом, используя собственные и литературные данные измерений объема клеток каждого вида [Olenina et al., 2006]. Вид считали доминирующим, если его численность или биомасса превышала 50 % общей численности или биомассы фитопланктона.

«Цветение» воды рассматривали как массовое развитие водорослей, численность клеток которых превышала 10^6 кл./л [Colijn, 1992]. Видовую идентификацию фитопланктона проводили с помощью светового микроскопа Carl Zeiss, Axio Scope.A1. Тонкую структуру панцирей доминирующих видов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss, Sigma 300 и трансмиссионного электронного микроскопа Carl Zeiss, Libra 120. Подготовку препаратов для электронной микроскопии проводили по стандартным методикам [Hasle, Fryxell, 1970; Truby, 1997]. При проведении экологического анализа использовали классификацию фитопланктона, предложенную И.А. Киселевым [1969]. Фитогеографический анализ производили по типам ареалов на основе различий в широтно-зональном распространении видов микроводорослей [Семина, 1974].

Результаты и их обсуждение

За весь период исследования идентифицировано 168 таксонов фитопланктона, относящихся к 7 классам, из которых в Спортивной гавани обнаружено 130 видов и внутривидовых фор микроводорослей: Bacillariophyceae (82 вида и внутривидовых таксонов), Dinophyceae (40), Chrysophyceae (3), Raphidophyceae (2), Euglenophyceae (1), Cryptophyceae (1) и Naptophyceae (1). В фитопланктоне бухты Парис отмечено 144 таксона микроводорослей из 6 классов: Bacillariophyceae (81), Dinophyceae (56), Chrysophyceae (4), Euglenophyceae (1), Raphidophyceae (1) и Cryptophyceae (1). Только в Спортивной гавани регистрировали гаптофитовые водоросли. В определении видового богатства ведущая роль (63,1 и 55,9 % общего числа видов фитопланктона соответственно Спортивной гавани и бухты Парис) принадлежала диатомовым водорослям. Второе место по числу видов занимали динофлагелляты (30,8 и 38,6 %), другие систематические группы были представлены единичными видами (менее 3 % каждая). Среди Bacillariophyceae наиболее разнообразным оказался род *Chaetoceros* (соответственно 26 и 24 вида и внутривидовых таксонов), среди Dinophyta — *Prorocentrum* (11 и 21 вид). В пробе число видов фитопланктона изменялось от 1 (Спортивная гавань) до 43 (бухта Парис) видов и внутривидовых таксонов.

Наиболее полное представление о структуре флоры дает эколого-географическая характеристика [Селина и др., 2005]. Экологические характеристики известны для 111 видов, обнаруженных в прибрежной зоне Спортивной гавани (84,7 % общего количества видов). В биотопическом отношении основу флористического списка составляли неритические виды (65,8 % числа видов с известной характеристикой), вторую позицию занимали панталассные виды (14,4 %). Океанические и бентические были представлены почти в равной степени — соответственно 10,8 и 8,1 %, пресноводные насчитывали менее 1 %. В бухте Парис наблюдали незначительное расхождение в соотношении экологических группировок. Экологическая характеристика установлена для 125 видов (86,2 %). Также основу флоры составляли неритические виды (61,6 %). Второе место занимали океанические (17,6 %), а панталассные (10,4 %), бентические (8,8 %) и пресноводные (1,6 %) значительно им уступали. По сравнению со Спортивной гаванью доля океанических видов в бухте Парис была выше, что свидетельствует о большем влиянии вод Уссурийского залива посредством водообмена с открытой частью зал. Петра Великого. Незначительная примесь пресноводных и бентических видов наряду с преобладанием неритических форм отражала прибрежное положение районов исследования.

В Спортивной гавани географический статус фитопланктона установлен для 105 видов и внутривидовых таксонов (80,2 % общего числа видов). Анализ соотношения географических элементов флоры выявил преобладание космополитов (47,7 % числа видов с известной характеристикой). Аркто-бореальные составляли 17,2 %, тропическо-бореальные и тропическо-аркто-бореальные — соответственно 15,2 и 7,6 %. Также микроводоросли включали 5 тропических (4,8 %), 4 бореальных (3,8 %), 2 биполярных (1,9 %) и 2 тропическо-антарктических (1,9 %) вида. В бухте Парис типы ареалов установлены для 120 видов, что составляет 82,8 % всего видового состава. В целом в фитоценозе доминировали космополиты (48,3 %), на втором месте тропическо-бореальные (15,8 %), на третьем — аркто-бореальные (12,5 %). Тропическо-аркто-бореальные виды составляли 10,0 %, бореальные — 5,0 %, тропические — 4,2 %, биполярные — 2,5 % и тропическо-антарктические — 1,7 %. Таким образом, широко распространенные виды (космополиты, тропическо-бореальные и тропическо-аркто-бореальные) насчитывали более половины от всех видов с известной географической характеристикой, что характерно для зал. Петра Великого [Бегун, 2004; Орлова и др., 2009] и в целом для прибрежных вод морей умеренной зоны [Селина и др., 2005; Skaloud et al., 2006].

Гидрохимические параметры поверхностного слоя воды изменялись в пределах: соленость — от 2 до 38 ‰, температура — от минус 1,8 до плюс 26 °C. Минимальные значения солености отмечены в январе (Спортивная гавань), максимальные — в апреле и мае 2021 г. (бухта Парис).

Анализ количественных данных показал, что на протяжении периода исследования численность фитопланктона изменялась в пределах от 1,3 тыс. до 19 млн кл./л, а биомасса варьировала от 3,0 до 38,5 г/м³ (рис. 2).

Количественные характеристики микроводорослей между годами и станциями имели значительные различия. Максимальные значения численности и биомассы фитопланктона были характерны для Спортивной гавани. Средние значения численности фитопланктона в период 2019–2021 гг. изменялись в пределах от 388,5 тыс. до 1,3 млн кл./л, биомассы — от 1,2 до 4,1 г/м³. Увеличение средних показателей происходило постепенно, максимальные величины отмечали в 2021 г. В ранневесенний период 2021 г. «цветение» воды обуславливали рафидофитовые рода *Heterosigma* (19 млн кл./л; 19,6 г/м³), доминирование которых также наблюдали и в летний период. Зимой 2021 г. отмечали развитие динофлагеллят, максимальную биомассу фитопланктона формировал *Gyrodinium lachryma*. Диатомовые водоросли вызывали «цветение» воды в летний и осенний периоды. Так, осенью 2019 г. отмечали «цветение» воды (1,5 млн кл./л), вызванное развитием *Skeletonema japonicum* (91,5 % общей численности). Последующее увеличение численности наблюдали летом, в июле 2020 г. (3,5 млн кл./л) в планктоне преобладал преимущественно *Skeletonema dorhnii* (87 %). Осенью 2021 г. на исследуемой акватории регистрировали развитие нитчатых форм цианобактерий (до 4,7 млн кл./л; 1,8 г/м³).

В бухте Парис численность микроводорослей изменялась от 10,2 тыс. до 2,3 млн кл./л (среднее значение 209,7–844,7 тыс. кл./л), биомасса — от 50,0 до 8,9 г/м³ (0,8–2,6 г/м³) (рис. 2). В отличие от Спортивной гавани, снижение средних значений численности и биомассы фитопланктона наблюдалось на протяжении всего периода исследования. Максимальную численность фитопланктона, вызванную развитием диатомовой водоросли *S. japonicum*, регистрировали в октябре 2019 г. «Цветение» воды, обусловленное массовым развитием микроводорослей, наблюдали в декабре 2019 г., июне 2020 г. и в августе 2021 г. Анализ соотношения численности отдельных групп фитопланктона показал, что подледное «цветение» воды (1,6 млн кл./л) было сформировано диатомовой водорослью *Thalassiosira nordenskioeldii* (90,7 % общей численности фитопланктона). Основу биомассы фитопланктона в январе составляла крупноклеточная водоросль *Coscinodiscus oculus-iridis* (88,5 % общей биомассы микроводорослей). В июне 2020 г. в планктоне наблюдали массовое развитие *S. dorhnii* (76,9 % от общей плотности и 32,3 % от общей биомассы фитопланктона), совместно с динофлагеллятой *Protoperdinium thulesense* (32,0 %) они составляли основу био-

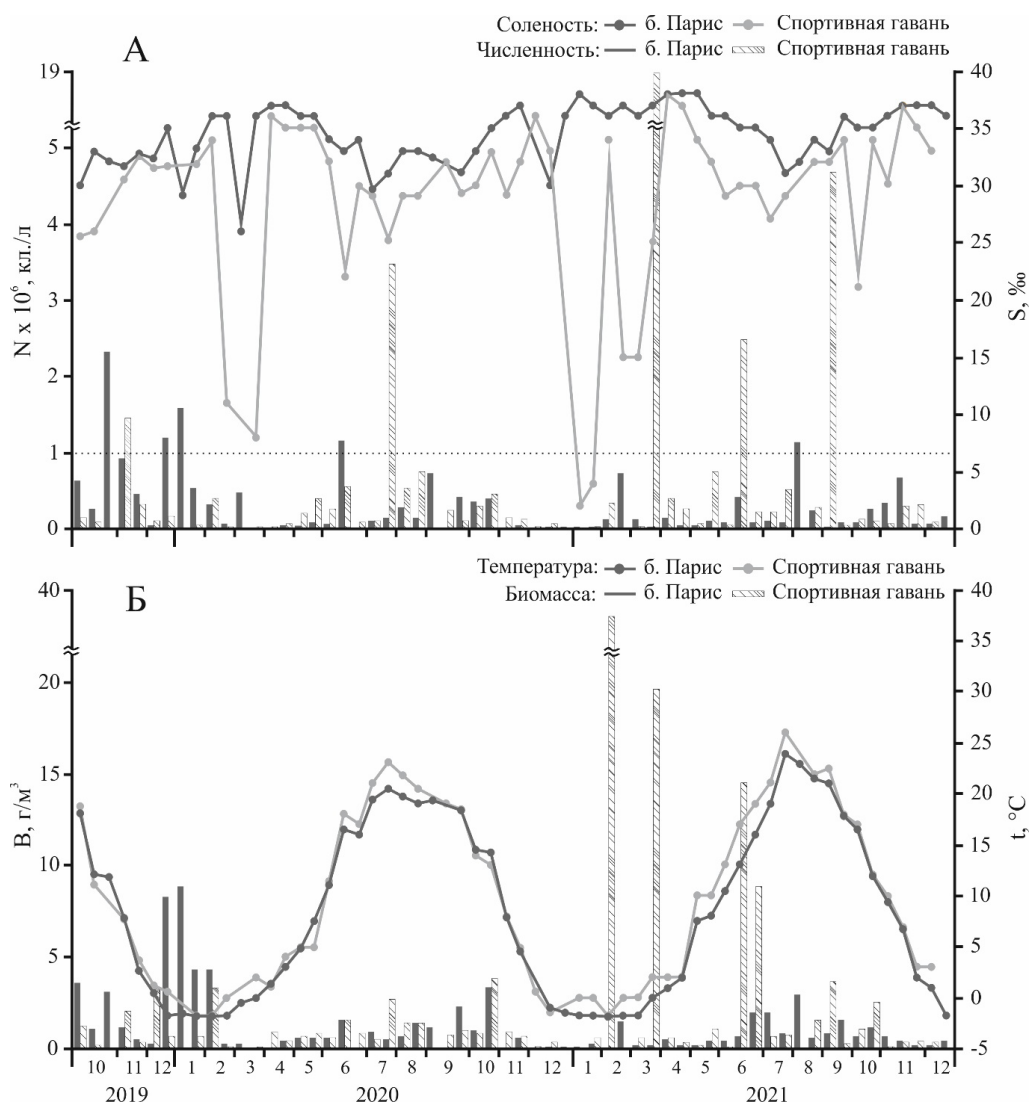


Рис. 2. Динамика численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона, солёности (А) и температуры (Б) поверхностного слоя воды в районе исследования в 2019–2021 гг.

Fig. 2. Dynamics of phytoplankton abundance (А, bars) and biomass (Б, bars), salinity (А, dotted line), and water temperature (Б, dotted line) for the surface layer in 2019–2021

массы микроводорослей. В августе 2021 г. «цветение» формировал *S. dornanii* (66,0 % общей численности фитопланктона), по биомассе преобладал *C. oculus-iridis* (46,6 %).

В период исследования обнаружено 26 доминирующих видов фитопланктона, из них по численности преобладали 19 (табл. 1), по биомассе — 18 видов (табл. 2). Степень доминирования видов составляла 50,0–96,1 % общей численности и 54,0–99,9 % общей биомассы фитопланктона. В Спортивной гавани отмечали 18 видов-доминантов микроводорослей, из которых 15 видов преобладали по численности, 12 по биомассе. В бухте Парис идентифицировали 15 видов-доминантов: по численности — 9, по биомассе — 10 видов. В осенне-зимний период 2019 г. в планктоне исследуемых акваторий преобладали исключительно диатомовые водоросли, формировавшие до 91,6 % общей численности и 93,1 % общей биомассы. В 2020 г. в Спортивной гавани среди диатомей отмечали доминирование центрических видов — *Chaetoceros pseudocrinitus* (55 % общей численности), *C. socialis* (66,9 %), *S. dornanii* (87,0 %), *S. japonicum* (63,0 %), видов родов *Cyclotella* (92,2 %) и *Thalassiosira* (81,0–85,5 %). Из пennisных диатомо-

Таблица 1

Максимальные доли численности доминирующих видов фитопланктона
в период исследования, % от суммарной численности фитопланктона на станции

Table 1

Maximum relative abundance for the dominant phytoplankton species,
% of the total phytoplankton cells number, by areas (Paris Bay/Sportivnaya Harbor)

Отдел, вид	2019 г.		2020 г.				2021 г.			
	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима
BACILLARIOPHYTA										
<i>Chaetoceros concavicornis</i>	—/—	—/—	—/80	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Chaetoceros debilis</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	85/—	—/—	—/—	—/—
<i>Chaetoceros pseudocritus</i>	—/—	—/—	—/—	55/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Chaetoceros socialis</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	67/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Cyclotella</i> sp.	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	92/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Cylindrotheca closterium</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/68	—/—	—/—
<i>Navicula directa</i>	—/—	—/—	71/—	—/—	—/—	54/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Navicula septentrionalis</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/59	—/—	—/—	—/—
<i>Nitzschia</i> sp.	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	96/—	—/—
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/91	83/88	—/—
<i>Skeletonema dohrnii</i>	—/—	—/—	—/—	87/77	—/62	—/—	—/—	92/66	—/—	—/—
<i>Skeletonema japonicum</i>	92/92	—/—	—/—	—/—	63/73	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Thalassiosira nordenskioeldii</i>	—/—	81/96	—/—	—/—	—/—	85/96	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Thalassiosira</i> sp.	—/—	—/—	—/—	—/—	81/66	—/91	51/—	54/—	62/—	60/94
DINOPHYTA										
<i>Gyrodinium lachryma</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	98/—	—/—	—/—	96/—
<i>Oxytoxum sceptrum</i>	—/—	—/—	—/61	—/—	—/—	—/89	—/—	—/—	—/—	—/—
RAPHYDOPHYTA										
Raphydophyta	—/—	—/—	50/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Heterosigma</i> sp.	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	96/—	88/—	—/—	—/—
CRYPTOPHYTA										
Цианобактерии	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	50/—	—/—

Примечание. Здесь и далее через косую черту указана доля численности вида Спортивная гавань/бухта Парис.

вых водорослей отмечали преобладание *Navicula directa* (54,0 %). Весной в планктоне регистрировали развитие рафидофитовых водорослей, достигавших 50 % общей численности и 69,7–99,8 % общей биомассы фитопланктона.

В 2021 г. в Спортивной гавани, помимо преобладания диатомовых и рафидофитовых водорослей, осенью отмечали доминирование нитчатых форм цианобактерий (50,0 % общей численности), а в весенне-летний период динофлагелляты *G. lachryma* (до 98,4 % общей численности и до 99,9 % общей биомассы фитопланктона). В бухте Парис на протяжении всего периода исследования по численности преобладали диатомовые водоросли. Только в весенний и зимний периоды 2020 г. в планктоне регистрировали доминирование динофлагелляты *Oxytoxum sceptrum* (до 88,9 % общей численности фитопланктона). Основу биомассы фитопланктона на протяжении исследования формировали диатомовые водоросли. Только в 2021 г. наблюдали замещение диатомового комплекса динофитовыми водорослями: в весенний период наблюдали преобладание крупноклеточного вида *Gyrodinium spirale* (54,7 % общей биомассы), летом — *Gyrodinium fusiforme* (58,6 %), в осенний период — *Protoperidinium depressum* (56,8 %).

Долгое время промышленные, бытовые и сельскохозяйственные сточные воды г. Владивосток попадали в прибрежную зону Амурского залива практически без очистки [Ростов и др., 2001]. При этом в основном на акваторию органические вещества и

Таблица 2

Максимальные доли биомассы доминирующих видов фитопланктона в период исследования, % от суммарной биомассы фитопланктона на станции

Table 2

Maximum relative biomass for the dominant phytoplankton species, % of the total phytoplankton biomass, by areas (Paris Bay/Sportivnaya Harbor)

Отдел, вид	2019		2020				2021			
	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима
BACILLARIOPHYTA										
<i>Chaetoceros concavicornis</i>	–/–	–/–	–/65	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Chaetoceros debilis</i>	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	60/–	–/–	–/–	–/–
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	–/–	–/–	–/–	–/65	–/–	–/88	–/–	57/–	77/–	–/80
<i>Cyclotella</i> sp.	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	66/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Ditylum brightwellii</i>	–/–	–/–	–/–	–/61	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Navicula directa</i>	–/–	–/–	66/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Skeletonema dohrnii</i>	–/–	–/–	–/–	63/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Skeletonema japonicum</i>	–/70	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Sundstroemia setigera</i>	–/0	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/54	–/–
<i>Thalassiosira nordenskioeldii</i>	–/–	93/93	–/–	–/–	–/–	84/98	–/–	–/–	–/–	57/–
<i>Thalassiosira</i> sp.	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/91	64/–	–/–	–/–	72/87
DINOPHYTA										
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/59	–/–	–/–
<i>Gyrodinium lachryma</i>	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	99/–	–/–	–/–	99/–
<i>Gyrodinium spirale</i>	–/–	–/–	82/–	–/–	–/–	–/–	–/55	–/–	–/–	–/–
<i>Protoperidinium conicum</i>	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	82/–	–/–	–/–
<i>Protoperidinium depressum</i>	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/57	–/–
RAPHYDOPHYTA										
Raphydophyta	–/–	–/–	70/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Heterosigma</i> sp.	–/–	–/–	99/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–

биогенные элементы поступают с бытовыми стоками [Майоров и др., 2008]. Несмотря на близкое расположение Спортивной гавани к городской зоне, экологические и гидро-биологические исследования акватории носили фрагментарный характер, охватывали отдельные сезоны, а полноценные многолетние исследования не проводились. В ряде работ [например, Христофорова, Саломай, 2006] указывается, что воды Спортивной гавани характеризуются повышенными показателями перманганатной окисляемости, что свидетельствует о присутствии в воде окисляемой органики, поступление которой может быть обусловлено как распадом макрофитов, так и интенсивным поверхностным смывом. Также воды Спортивной гавани характеризуются высокими показателями содержания фосфатов, основным источником попадания которого служат промышленные, канализационные и бытовые стоки. Вероятно, высокий уровень биогеогенных и растворенных органических элементов, поступающих с береговыми стоками с побережья городской зоны, способствовал интенсивному развитию планктонного альгоценоза по сравнению с бухтой Парис, где береговые стоки отсутствуют. В бухте Парис сезонная динамика микроводорослей была близка к классической схеме развития, характерной для морских прибрежных акваторий умеренной зоны [Раймонт, 1983], что согласуется с ранее проведенными исследованиями [Shevchenko et al., 2018; Шевченко и др., 2020]. Сравнение сезонной динамики фитопланктона в бухте Парис с некоторыми районами Амурского залива, не испытывающими значительной антропогенной нагрузки [Стоник, 1999; Бегун и др., 2003], показало схожие черты. Численность и биомасса некоторых видов микроводорослей в Спортивной гавани достигали величин «цветения» и значительно превосходили таковые для бухты Парис, при этом периоды развития фитопланктона различались как между станциями, так и в пределах одной станции между годами.

Стоит отметить, что на протяжении всего периода исследования в Спортивной гавани наблюдали постепенное повышение средней численности фитопланктона и резкое увеличение средних значений биомассы в 2021 г., что косвенно свидетельствовало о высокой эвтрофированности вод. В бухте Парис, напротив, регистрировали постепенное снижение средних значений как численности, так и биомассы. *Skeletonema* spp. является традиционным компонентом осеннего и летнего фитопланктона, способным вызывать «цветение» воды [Shevchenko et al., 2022]. В 2019–2020 гг. виды рода *Skeletonema* развивались повсеместно в районе исследования. В 2021 г. вспышки жгутикового планктона указывали на нарушение классической схемы сукцессии и косвенно свидетельствовали об увеличении антропогенной нагрузки. Увеличение частоты и интенсивности развития микроводорослей рассматривается многими исследователями как проявление антропогенного эвтрофирования [Smayda, 1998; Бегун, 2004]. Регистрируемые «цветения» воды в Спортивной гавани были обусловлены микроводорослями, известными как индикаторы неблагоприятного экологического состояния вод. К ним относились водоросли родов *Skeletonema* и *Heterosigma*, а также цианобактерии. Представители рода *Skeletonema* известны как факультативные гетеротрофы, достигающие массового развития в наиболее загрязненных высокоэвтрофных районах зал. Петра Великого [Стоник, Селина, 1995; Стоник, 2018], прибрежных водах Японии [Yoshida et al., 2011], Черного моря [Bodeanu, 1995], а также восточного побережья США [Borkman, Smayda, 2009] и Канады [Pan, Subba Rao, 1997]. Не единожды отмечалось, что антропогенное воздействие (хозяйственно-бытовые и промышленные стоки) способствуют повышению обилия фитопланктона с ростом доли в нем рафидофитовых водорослей и цианобактерий [Весман, 2012; Kang et al., 2021]. Хотя рафидофитовые являются космополитической группой фитопланктона, встречающейся в широком диапазоне условий окружающей среды [Clay et al., 1999], ранние исследования показывают, что виды рода *Heterosigma* являются индикаторами высокой эвтрофированности вод [Lewitus et al., 2003; Lemley et al., 2020]. Как известно, характерной особенностью сукцессии микроводорослей в районах с высоким уровнем органического загрязнения воды является резкий переход от диатомового планктонного сообщества к жгутиковому [Bode, Fernandez, 1992]. Высокую численность жгутикового планктона в Амурском заливе отмечали и ранее [Stonik, Orlova, 2002; Бегун, 2004]. Также стоит отметить, что численность цианобактерий может резко возрасти со степенью ухудшения качества воды, в то время как другие группы фитопланктона, такие как диатомовые водоросли и динофлагелляты, погибают [Marshall et al., 2006]. В последние десятилетия роль диатомовых водорослей в мировом масштабе снижается, что приводит к увеличению планктона меньшей размерной фракции [Laufkötter et al., 2015; Rousseaux, Gregg, 2015]. Таким образом, об органическом загрязнении акватории Спортивной гавани в 2021 г. свидетельствует изменение качественного и количественного состава фитопланктона с преобладанием жгутикового компонента.

Заключение

В результате проведенных исследований фитопланктона в Спортивной гавани и бухте Парис показано, что в 2019–2021 гг. существовали различия в составе и количественных характеристиках микроводорослей. В бухте Парис сезонная динамика фитопланктона была близка к классической схеме развития, характерной для прибрежных морских вод умеренной зоны. Регистрируемые «цветения» воды обуславливали диатомовые водоросли. В Спортивной гавани в 2019–2020 гг. также преобладал диатомовый планктон, в 2021 г. «цветения» воды вызывали виды, известные как индикаторы неблагоприятного экологического состояния вод, отмечалось замещение диатомового комплекса жгутиковыми водорослями.

Для более достоверных выводов относительно степени антропогенного загрязнения необходимы дальнейшие исследования микроводорослей синхронно с параметрами

водной среды, в том числе с количественным анализом биогенных органических и минеральных элементов.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарят сотрудников Центра коллективного пользования «Приморский океанариум» ННЦМБ ДВО РАН, где выполнялась работа.

This study was maintained by the Center for Collective Use «Primorsky Oceanarium» in Vladivostok.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках темы государственного задания «Динамика морских экосистем, адаптации морских организмов и сообществ к изменениям среды обитания», № 121082600038-3.

Financial support for the study was provided by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, for the Government Program «Dynamics of marine ecosystems and acclimation of marine organisms and communities to changing environmental conditions», № 121082600038-3.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Данные исследования выполнены без использования животных или людей в качестве объектов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The research does not involve humans or animals as the objects of experiments. The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

К.О. Тевс — сбор и обработка проб фитопланктона, анализ полученных данных, написание текста статьи; О.Г. Шевченко — генерация идеи исследования, анализ полученных данных, научное редактирование текста статьи.

K.O. Tevs performed sampling of phytoplankton and processing of the samples, conducted the data analysis, and wrote the text of manuscript. O.G. Shevchenko conceived the study, conducted the data analysis, and revised the manuscript.

Список литературы

Абакумов В.А. Контроль качества вод по гидробиологическим показателям в системе Гидрометеорологической службы СССР // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. — Л. : Гидрометеоиздат, 1977. — С. 93–100.

Бегун А.А. Фитопланктон бухты Золотой Рог и Уссурийского залива (Японское море) в условиях антропогенного загрязнения // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 138. — С. 320–344.

Бегун А.А., Орлова Т.Ю., Звягинцев А.Ю. Фитопланктон Амурского залива Японского моря г. Владивостока // Альгология. — 2003. — Т. 13, № 2. — С. 204–215.

Весман А. В. Современные проблемы Балтийского моря // Современные научные исследования и инновации. — 2012. — № 3. <http://web.snauka.ru/issues/2012/03/10613>.

Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Т. 1: Вводные и общие вопросы планктологии : моногр. — Л. : Наука, 1969. — 658 с.

Майоров И.С., Кочеткова О.А., Дулепов В.И. Мониторинговые оценки экологической ситуации в Амурском заливе // Вестн. ТГЭУ. — 2008. — № 3. — С. 34–45.

Орлова Т.Ю., Стоник И.В., Шевченко О.Г. Флора микроводорослей планктона Амурского залива Японского моря // Биол. моря. — 2009. — Т. 35, № 1. — С. 48–61.

Паутова Л.А., Силкин В.А. Зимний фитопланктон северо-западной части Японского моря. Некоторые закономерности формирования структуры фитоценоза в прибрежном мелководье // Океанол. — 2000. — Т. 40, № 4. — С. 553–561.

Раймонт Дж. Планктон и продуктивность океана. Т. 1. Фитопланктон : пер. с англ. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1983. — 568 с.

Ростов И.Д., Юрасов Г.И., Ростов В.И. Залив Петра Великого. Физико-географические, гидрологические характеристики и гидрометеорологические условия : моногр. — Владивосток : ТОИ ДВО РАН, 2001 (CD-ROM).

Селина М.С. Фитопланктон в районе мидиевого хозяйства в заливе Восток Японского моря // Биол. моря. — 1992. — № 5–6. — С. 15–24.

Селина М.С., Стоник И.В., Кантаков Г.А., Орлова Т.Ю. Сезонная и межгодовая изменчивость видового состава фитопланктона залива Анива Охотского моря // Тр. Сах-НИРО. — 2005. — Т. 7. — С. 179–196.

Семина Г.И. Фитопланктон Тихого океана : моногр. — М. : Наука, 1974. — 239 с.

Симакова Н.К., Орлова Т.Ю., Селина М.С. «Красный прилив», вызванный жгутиковой водорослью *Chattonella* sp. (Raphidophyceae) в Амурском заливе Японского моря // Биол. моря. — 1990. — № 5. — С. 77–88.

Стоник И.В. Качественный и количественный состав фитопланктона бухты Золотой Рог Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 194. — С. 167–174. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-194-167-174.

Стоник И.В. Фитопланктон Амурского залива (Японское море) в условиях евтрофирования : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 1999. — 26 с.

Стоник И.В., Орлова Т.Ю., Пропп Л.Н. и др. Осеннее «цветение» диатомовых водорослей рода *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo, 1900 в Амурском заливе Японского моря // Биол. моря. — 2012. — Т. 38, № 3. — С. 197–202.

Стоник И.В., Селина М.С. Фитопланктон как показатель трофности вод залива Петра Великого Японского моря // Биол. моря. — 1995. — Т. 21, № 6. — С. 403–406.

Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности : моногр. — М. : МГУ, 1979. — 168 с.

Христофорова Н.К., Саломай М.С. Химико-экологическая оценка качества прибрежных вод города Владивосток // Исследовано в России. — 2006. — Т. 9. — С. 1380–1386.

Шевченко О.Г., Орлова Т.Ю. Морфология и экология диатомовой водоросли *Chaetoceros contortus*, вызывающей «цветение» в заливе Петра Великого Японского моря // Биол. моря. — 2010. — Т. 36, № 4. — С. 251–258.

Шевченко О.Г., Тевс К.О., Шулькин В.М. Комплексный мониторинг фитопланктона в мелководной бухте залива Петра Великого (Японское море): динамика хлорофилла «а» и биогенных элементов // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 1. — С. 141–154. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-141-154.

Шулькин В.М., Орлова Т.Ю., Шевченко О.Г., Стоник И.В. Влияние речного стока и продукции фитопланктона на сезонную изменчивость химического состава прибрежных вод Амурского залива Японского моря // Биол. моря. — 2013. — Т. 39, № 3. — С. 202–212.

Bode A., Fernandes E. Influence of water-column stability on phytoplankton size and biomass succession patterns in the central Cantabrian Sea (Bay of Biscay) // J. Plankton Res. — 1992. — Vol. 14, № 6. — P. 885–902. DOI: 10.1093/plankt/14.6.885.

Bodeanu N. Algal blooms in Mamaia Bay (Romanian Black Sea coast) // Harmful marine algae blooms: proceeding of sixth international conference on toxic marine phytoplankton. — Nantes, France, 1995. — P. 127–132.

Borkman D., Smayda T. Multidecadal (1959–1997) changes in *Skeletonema* abundance and seasonal bloom patterns in Narragansett Bay, Rhode Island, USA // J. Sea Res. — 2009. — Vol. 61, № 1–2. — P. 84–94. DOI: 10.1016/j.seares.2008.10.004.

Clay B.L., Kugrens P., Lee R.E. A revised classification of Cryptophyta // Bot. J. Linn. Soc. — 1999. — Vol. 131, № 2. — P. 131–151. DOI: 10.1111/j.1095-8339.1999.tb01845.x.

Cloern J.E., Jassby A.D. Patterns and scales of phytoplankton variability in estuarine-coastal ecosystems // Estuar. Coast. — 2010. — Vol. 33. — P. 230–241. DOI: 10.1007/s12237-009-9195-3.

Colijn F. Changes in plankton communities: when, where and why? // ICES Mar. Sci. Symp. — 1992. — Vol. 195. — P. 193–212.

Hasle G.R., Fryxell G.A. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy // Trans. Amer. Microsc. Soc. — 1970. — Vol. 89, № 4. — P. 469–474. DOI: 10.2307/3224555.

Kang J.J., Min J.O., Kim Y.L. et al. Vertical distribution of phytoplankton community and pigment production in the Yellow Sea and the East China Sea during the late summer season // Water. — 2021. — Vol. 13, № 23: 3321. DOI: 10.3390/w13233321.

Laufkötter C., Vogt M., Gruber N. et al. Drivers and uncertainties of future global marine primary production in marine ecosystem models // Biogeosciences. — 2015. — Vol. 12, № 23. — P. 6955–6984. DOI: 10.5194/bg-12-6955-2015.

Lemley D.A., Adams J.B., Rishworth G.M., Purdie D.A. Harmful algal blooms of *Heterosigma akashiwo* and environmental features regulate *Mesodinium* cf. *rubrum* abundance in eutrophic conditions // Harmful Algae. — 2020. — Vol. 100: 101943. DOI: 10.1016/j.hal.2020.101943.

Lewitus A.J., Schmidt L.M., Mason L.J. et al. Harmful algae blooms in South Carolina Residential and Golf Course Ponds // Population and Environmental. — 2003. — Vol. 24, № 5. — P. 387–413. DOI: 10.1023/A:1023642908116.

Marshall H.G., Lacouture R.V., Buchanan C., Johnson J.M. Phytoplankton assemblages associated with water quality and salinity regions in Chesapeake Bay, USA // Estuar. Coast. Shelf. Sci. — 2006. — Vol. 69, № 1–2. — P. 10–18. DOI: 10.1016/j.ecss.2006.03.019.

Olenina I., Hajdu S., Edler L., et al. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea : HELCOM Balt. Sea Environ. Proc. — 2006. — № 106. — 144 p.

Pan Y., Subba Rao D.V. Impact of domestic sewage effluent on phytoplankton from Bedford Basin, Eastern Canada // Mar. Pollut. Bull. — 1997. — Vol. 34, № 12. — P. 1001–1005. DOI: 10.1016/S0025-326X(97)00115-X.

Rousseaux C.S., Gregg W.W. Recent decadal trends in global phytoplankton composition // Global Biogeochem. Cycles. — 2015. — Vol. 29, № 10. — P. 1674–1688. DOI: 10.1002/2015GB005139.

Shevchenko O.G., Ponomareva A.A., Shulgina M.A. et al. *Skeletonema* species (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan: morphology, ecology, seasonal and long-term dynamics // Bot. Mar. — 2022. — Vol. 65, № 3. — P. 159–175. DOI: 10.1515/bot-2021-0102.

Shevchenko O.G., Ponomareva A.A., Shulkin V.M. Phytoplankton and hydrochemical parameters near net pens with beluga whales in a shallow Bay of the Northwestern Sea of Japan // Thalassas: Int. J. Mar. Sci. — 2018. — Vol. 34, № 1. — P. 139–151. DOI: 10.1007/s41208-017-0046-x.

Škaloud P., Řezáčová M., Ellegaard M. Spatial distribution of phytoplankton in spring 2004 along a transect in the eastern part of the North Sea // J. Oceanogr. — 2006. — Vol. 62. — P. 717–729. DOI: 10.1007/s10872-006-0089-8.

Smayda J.S. Patterns of variability characterizing marine phytoplankton, with examples from Narragansett Bay // ICES J. Mar. Sci. — 1998. — Vol. 55, № 4. — P. 562–573. DOI: 10.1006/jmsc.1998.0385.

Stonik I.V., Orlova T.Yu. Phytoplankton of the coastal waters off Vladivostok (the Northwestern part of the East Sea) under Eutrophic Conditions // Ocean Polar Res. — 2002. — Vol. 24, № 4. — P. 359–365. DOI: 10.4217/OPR.2002.24.4.359.

Truby E.W. Preparation of single-celled marine dinoflagellates for electron microscopy // Microsc. Res. Tech. — 1997. — Vol. 36. — P. 337–340. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0029(19970215)36:4<337::AID-JEMT11>3.0.CO;2-Q.

Utermöhl H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik // Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie. — 1958. — Vol. 9. — P. 1–38.

Yoshida K., Chiba S., Ishimaru T. Long-term variation in the wintertime diatom community structure in Tokyo Bay, Japan (1981–2000) // Plankton Benthos Res. — 2011. — Vol. 6, № 4. — P. 195–205. DOI: 10.3800/pbr.6.195.

References

Abakumov, V.A., *Nauchnyye osnovy kontrolya kachestva poverkhnostnykh vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam* (Water quality control by hydrobiological indicators in the system of the Hydrometeorological Service of the USSR), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, pp. 93–100.

Begun, A.A., Phytoplankton in the Golden Horn Bay and the Ussuri Bay (Japan Sea) under conditions of anthropogenic pollution, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 138, pp. 320–344.

Begun, A.A., Orlova, T.Yu., and Zvyagintsev, A.Yu., Phytoplankton of Amur Gulf of the Sea of Japan Near Vladivostok, *Algologia*, 2003, vol. 13, no. 2, pp. 204–215.

Vesman, A.V., Modern problems of the Baltic Sea, *Modern scientific research and innovation*, 2012, no. 3. <http://web.snauka.ru/issues/2012/03/10613>.

Kiselev, I.A., *Plankton morey i kontinental'nykh vodoyemov. T. 1: Vvodnyye i obshchiye voprosy planktologii* (Plankton of seas and continental bodies of water. Vol. 1: Introductory and general questions of planktology, Leningrad: Nauka, 1969.

Mayorov, I.S., Kochetkova, O.A., and Dulepov, V.I., Monitoring assessments of the environmental situation in the Amur Bay, *Vestn. TGEU*, 2008, no. 3, pp. 34–45.

Orlova, T.Yu., Stonik, I.V., and Shevchenko, O.G., Flora of planktonic microalgae of Amursky Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2009, vol. 35, no. 1, pp. 60–78.

Pautova, L.A. and Silkin, V.A., Winter phytoplankton of the northwestern part of the Sea of Japan. Some regularities of the formation of the phytocene structure in coastal shallow water, *Okeanologiya*, 2000, vol. 40, no. 4, pp. 553–561.

- Raymont, J.E.G.**, *Plankton and productivity in the Oceans*, vol. 1: Phytoplankton, London: Pergamon press, 1980.
- Rostov, I.D., Yurasov, G.I., and Rostov, V.I.**, *Zaliv Petra Velikogo. Fiziko-geograficheskiye, gidrologicheskiye kharakteristiki i gidrometeorologicheskiye usloviya* (Peter the Great Bay, Physical-geographical, hydrological characteristics and hydrometeorological conditions), Vladivostok: Tikhookean. Okeanogr. Inst., 2001 (CD-ROM).
- Selina, M.S.**, Phytoplankton in the area of mussel farming in the East Bay of the Sea of Japan, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1992, no. 5–6, pp. 15–24.
- Selina, M.S., Stonik, I.V., Kantakov, G.A., and Orlova, T.Yu.**, Seasonal and interannual variability of phytoplankton species composition in Aniva Bay (Sea of Okhotsk), *Tr. Sahalin. Nauchno-Issled. Inst. Ryb. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 7, pp. 179–196.
- Semina, G.I.**, *Fitoplankton Tikhogo okeana* (Phytoplankton of the Pacific Ocean), Moscow: Nauka, 1974.
- Simakova, N.K., Orlova, T.Yu., and Selina, M.S.**, The “red tide” caused by the flagellate algae *Chattonella* sp. ((Raphidophyceae) in the Amur Bay of the Sea of Japan, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1990, no. 5, pp. 77–88.
- Stonik, I.V.**, Qualitative and quantitative composition of phytoplankton in the Golden Horn Bay, Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 194, pp. 167–174. doi 10.26428/1606-9919-2018-194-167-174
- Stonik, I.V.**, Phytoplankton of Amur Bay (Sea of Japan) under the conditions of eutrophication, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 1999.
- Stonik, I.V., Orlova, T.Yu., Propp, N.L., Demchenko, N.L., and Skriptsova, A.V.**, An autumn bloom of diatoms of the genus *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo, 1900 in Amursky Bay, the Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2012, vol. 38, no. 3, pp. 211–217. doi 10.1134/S1063074012030121
- Stonik, I.V. and Selina, M.S.**, Phytoplankton as an indicator of trophic waters of Peter the Great Bay of the Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1995, vol. 21, no. 6, pp. 403–406.
- Fedorov, V.D.**, *O metodakh izucheniya fitoplanktona i ego aktivnosti* (On the Methods for the Study of Phytoplankton and Its Activity), Moscow: Moscow Gos. Univ., 1979.
- Khristoforova, N.K. and Salomay, M.S.**, Chemical and ecological assessment of the quality of coastal waters of the city of Vladivostok, *Res. Russ.*, 2006, vol. 9, pp. 1380–1386.
- Shevchenko, O.G. and Orlova, T.Yu.**, Morphology and ecology of the bloom-forming diatom *Chaetoceros contortus* from Peter the Great Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2010, vol. 36, no. 4, pp. 243–251. doi 10.1134/S1063074010040024
- Shevchenko, O.G., Tevs, K.O., and Shulkin, V.M.**, Integrated monitoring of phytoplankton in a shallow inlet of Peter the Great Bay (Japan Sea): dynamics of chlorophyll *a* and nutrients, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 1, pp. 141–154. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-141-154
- Shulkin, V.M., Orlova, T.Yu., Shevchenko, O.G., and Stonik, I.V.**, The effect of river runoff and phytoplankton production on the seasonal variation of the chemical composition of coastal waters of the Amursky Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2013, vol. 39, no 3, pp. 197–207. doi 10.1134/S1063074013030115
- Bode, A. and Fernandes, E.**, Influence of water-column stability on phytoplankton size and biomass succession patterns in the central Cantabrian Sea (Bay of Biscay), *J. Plankton Res.*, 1992, vol. 14, no. 6, pp. 885–902. doi 10.1093/plankt/14.6.885
- Bodeanu, N.**, Algal blooms in Mamaia Bay (Romanian Black Sea coast), in *Harmful marine algae blooms: proceeding of sixth international conference on toxic marine phytoplankton*, Nantes, France, 1995, pp. 127–132.
- Borkman, D. and Smayda, T.**, Multidecadal (1959–1997) changes in *Skeletonema* abundance and seasonal bloom patterns in Narragansett Bay, Rhode Island, USA, *J. Sea Res.*, 2009, vol. 61, no. 1–2, pp. 84–94. doi 10.1016/j.seares.2008.10.004
- Clay, B.L., Kugrens, P., and Lee, R.E.**, A revised classification of Cryptophyta, *Bot. J. Linn. Soc.*, 1999, vol. 131, no. 2, pp. 131–151. doi 10.1111/j.1095-8339.1999.tb01845.x
- Cloern, J.E. and Jassby, A.D.**, Patterns and scales of phytoplankton variability in estuarine-coastal ecosystems, *Estuar. Coast.*, 2010, vol. 33, pp. 230–241. doi 10.1007/s12237-009-9195-3
- Colijn, F.**, Changes in plankton communities: when, where and why?, *ICES Mar. Sci. Symp.*, 1992, vol. 195, pp. 193–212.
- Hasle, G.R. and Fryxell, G.A.**, Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy, *Trans. Amer. Microsc. Soc.*, 1970, vol. 89, no. 4, pp. 469–474. doi 10.2307/3224555
- Kang, J.J., Min, J.O., Kim, Y.L., Lee, C.H., Yoo, H., Jang, H.K., Kim, M.J., Oh, H.J., and Lee, S.H.**, Vertical distribution of phytoplankton community and pigment production in the Yellow

Sea and the East China Sea during the late summer season, *Water*, 2021, vol. 13, no. 23, art. ID 3321. doi 10.3390/w13233321

Laufkötter, C., Vogt, M., Gruber, N., Aita-Noguchi, M., Aumont, O., Bopp, L., Buitenhuis, E., Doney, S.C., Dunne, J., Hashioka, T., Hauck, J., Hirata, T., John, J., Le Quere, C., Lima, I.D., Nakano, H., Seferian, R., Totterdell, I., Vichi, M., and Völker, C., Drivers and uncertainties of future global marine primary production in marine ecosystem models, *Biogeosciences*, 2015, vol. 12, no. 23, pp. 6955–6984. doi 10.5194/bg-12-6955-2015

Lemley, D.A., Adams, J.B., Rishworth, G.M., and Purdie, D.A., Harmful algal blooms of *Heterosigma akashiwo* and environmental features regulate *Mesodinium* cf. *rubrum* abundance in eutrophic conditions, *Harmful Algae*, 2020, vol. 100, art. ID 101943. doi 10.1016/j.hal.2020.101943

Lewitus, A.J., Schmidt, L.B., Mason, L.J., Kempton, J.W., Wilde, S.B., Wolny, J.L., Williams, B.J., Hayes, K.C., Hymel, S.N., Keppler, C.J., and Ringwood, A.H., Harmful algae blooms in South Carolina Residential and Golf Course Ponds, *Popul. Environ.*, 2003, vol. 24, no. 5, pp. 387–413. doi 10.1023/A:1023642908116

Marshall, H.G., Lacouture, R.V., Buchanan, C., and Johnson, J.M., Phytoplankton assemblages associated with water quality and salinity regions in Chesapeake Bay, USA, *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 2006, vol. 69, no. 1–2, pp. 10–18. doi 10.1016/j.ecss.2006.03.019

Olenina, I., Hajdu, S., Edler, L., Andersson, A., Wasmund, N., Busch, S., Göbel, J., Gromisz, S., Huseby, S., Huttunen, M., Jaanus, A., Kokkonen, P., Ledaine, I. and Niemkiewicz, E., Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea, *HELCOM Balt. Sea Environ. Proc.*, 2006, no. 106.

Pan, Y. and Subba Rao, D.V., Impact of domestic sewage effluent on phytoplankton from Bedford Basin, Eastern Canada, *Mar. Pollut. Bull.*, 1997, vol. 34, no. 12, pp. 1001–1005. doi 10.1016/S0025-326X(97)00115-X

Rousseaux, C.S. and Gregg, W.W., Recent decadal trends in global phytoplankton composition, *Global Biogeochem. Cycles*, 2015, vol. 29, no. 10, pp. 1674–1688. doi 10.1002/2015GB005139

Shevchenko, O.G., Ponomareva, A.A., Shulgina, M.A., Tevs, K.O., and Orlova, T.Yu., *Skeletonema* species (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan: morphology, ecology, seasonal and long-term dynamics, *Bot. Mar.*, 2022, vol. 65, no. 3, pp. 159–175. doi 10.1515/bot-2021-0102

Shevchenko, O.G., Ponomareva, A.A., and Shulkin, V.M., Phytoplankton and hydrochemical parameters near net pens with beluga whales in a shallow Bay of the Northwestern Sea of Japan, *Thalassas: Int. J. Mar. Sci.*, 2018, vol. 34, no. 1, pp. 139–151. doi 10.1007/s41208-017-0046-x

Škaloud, P., Řezáčová, M., and Ellegaard, M., Spatial distribution of phytoplankton in spring 2004 along a transect in the eastern part of the North Sea, *J. Oceanogr.*, 2006, vol. 62, pp. 717–729. doi 10.1007/s10872-006-0089-8

Smayda, J.S., Patterns of variability characterizing marine phytoplankton, with examples from Narragansett Bay, *ICES J. Mar. Sci.*, 1998, vol. 55, no. 4, pp. 562–573. doi 10.1006/jmsc.1998.0385

Stonik, I.V. and Orlova, T.Yu., Phytoplankton of the coastal waters off Vladivostok (the North-western part of the East Sea) under Eutrophic Conditions, *Ocean Polar Res.*, 2002, vol. 24, no. 4, pp. 359–365. doi 10.4217/OPR.2002.24.4.359

Truby, E.W., Preparation of single-celled marine dinoflagellates for electron microscopy, *Microsc. Res. Tech.*, 1997, vol. 36, pp. 337–340. doi 10.1002/(SICI)1097-0029(19970215)36:4<337::AID-JEMT11>3.0.CO;2-Q

Utermöhl, H., Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik, *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 1958, vol. 9, pp. 1–38.

Yoshida, K., Chiba, S., and Ishimaru, T., Long-term variation in the wintertime diatom community structure in Tokyo Bay, Japan (1981–2000), *Plankton Benthos Res.*, 2011, vol. 6, no. 4, pp. 195–205. doi 10.3800/pbr.6.195

Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Primorskom kraye v 2019 godu (Report on the environmental situation in Primorsky Krai in 2019), Vladivostok, 2020.

Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Primorskom kraye v 2021 godu (Report on the environmental situation in Primorsky Krai in 2021), Vladivostok, 2020.

Поступила в редакцию 25.10.2022 г.

После доработки 17.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 17.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022