

УДК 582.26:581.4

## МОНИТОРИНГ ФИТОПЛАНКТОНА И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ОСТРОВА РУССКИЙ (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

© 2022 г. О. Г. Шевченко<sup>1</sup> \*, К. О. Тевс<sup>2</sup>, В. М. Шулькин<sup>3</sup>, М. А. Шульгина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского (ННЦМБ) ДВО РАН, Владивосток 690041, Россия

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток 690920, Россия

<sup>3</sup>Тихоокеанский институт географии (ТИГ) ДВО РАН, Владивосток 690041, Россия

\*e-mail: 713553@mail.ru

Поступила в редакцию 11.05.2021 г.

После доработки 23.09.2021 г.

Принята к публикации 28.09.2021 г.

Представлены результаты исследования видового состава и сезонной динамики количественных характеристик фитопланктона в бухтах о-ва Русский, обусловленные гидрохимической структурой вод. Отмечено, что состав доминирующих видов в бухтах Парис и Житкова различался. Отмечены находки представителей Bacillariophyceae; впервые в морских водах идентифицирован *Cyclotella atomus* var. *gracilis*, в северо-западной части Японского моря обнаружен *Thalassiosira lundiana*, а в морских водах России также впервые отмечено доминирование в фитопланктоне *Minidiscus comicus*. Применение методов электронной микроскопии для идентификации доминирующих видов показало, что массовое развитие представителей рода *Thalassiosira*, как правило, было обусловлено комплексом видов. Общий ход сезонной изменчивости параметров среды и биогенных веществ в изученных бухтах преимущественно совпадал с особенностями динамики количественных величин развития микроводорослей.

**Ключевые слова:** фитопланктон, сезонная динамика, количественные характеристики, биогенные элементы, хлорофилл *a*, бухта Парис, бухта Житкова, Японское море

DOI: 10.31857/S0134347522010107

Характеристика фитопланктонного сообщества — необходимая основа для оценки качества среды прибрежных вод, которые занимают особое место среди морских экосистем с точки зрения интенсивности хозяйственного использования (Halpern et al., 2008). Уровень содержания таких основных биогенных элементов, как кремний, нитраты, нитриты и неорганический фосфор (прежде всего их растворенных форм), — один из важных факторов, контролирующих развитие фитопланктона в прибрежных водах. В свою очередь, содержание биогенных элементов, обуславливающее развитие микроводорослей, зависит от хода продукционно-деструкционных процессов (Peierls et al., 2012; Carstensen et al., 2015; Watanabe et al., 2017). При этом ключевой особенностью прибрежных морских экосистем наряду с сезонностью развития водорослей является сезонная неравномерность поступления биогенных веществ и токсикантов извне (Gle et al., 2008; Van Beusekom et al., 2009). Детальная характеристика фитопланктона особенно необходима для вод, имеющих статус особо охраняемых акваторий,

участков развития марикультуры и нерестилищ. К таким акваториям относятся прибрежные воды о-ва Русский: б. Парис, в которой с 2013 г. находится База изучения морских млекопитающих, и б. Житкова, на берегах которой расположен Приморский океанариум — филиал Национального научного центра морской биологии (ННЦМБ) им. А.В. Жирмунского ДВО РАН. Мониторинговые исследования фитопланктона в б. Парис были начаты в 2013 г., данные по сезонной изменчивости гидрохимических характеристик и фитопланктона получены в 2013–2015 гг.; показано отсутствие влияния содержания животных на акваторию этой бухты (Shevchenko et al., 2018; Шевченко и др., 2020). Исследования микроводорослей в б. Житкова ранее не проводились.

Цели настоящей работы — изучение видового состава и сезонной динамики количественных характеристик фитопланктона в бухтах о-ва Русский; определение зависимости между сезонным развитием фитопланктона и основными гидрохимическими параметрами среды.

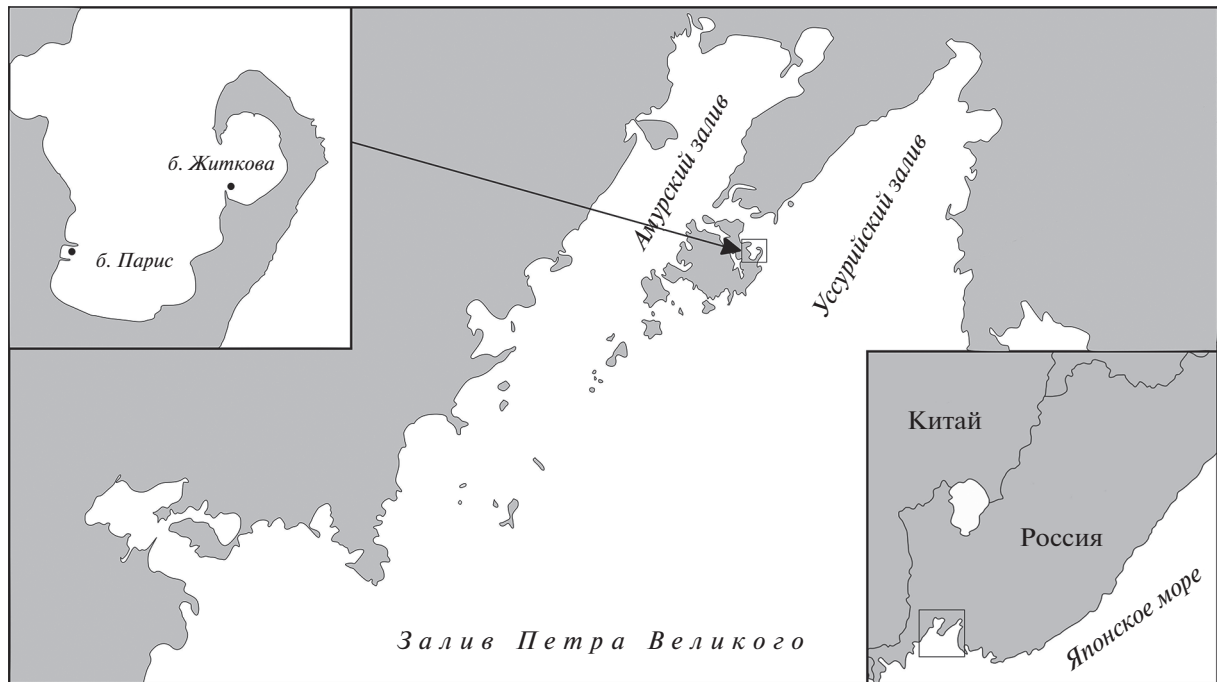


Рис. 1. Карта-схема района исследования. Показано расположение станций в б. Парис и б. Житкова.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА**

В работе изучены батометрические планктонные сборы, выполненные в период с декабря 2018 г. по январь 2020 г. на станциях, расположенных во внутренней части б. Парис (43°00'44" с.ш., 131°54'45" в.д.) и в б. Житкова (43°01'00.1" с.ш., 131°55'41" в.д.) (рис. 1). Пробы фитопланктона собирали два раза в месяц с пирса у поверхностного горизонта воды 5-литровым батометром Нискина.

Пробы воды для гидрохимических исследований отбирали в полиэтиленовые емкости. Температуру и соленость в поверхностном слое воды измеряли с помощью многопараметрического зонда HORIBA U-52G.

Бухты Парис и Житкова испытывают влияние вод смежных Амурского и Уссурийского заливов, соединенных прол. Босфор-Восточный (рис. 1). Главная особенность бухт – ледяной покров толщиной 0.6–1.0 м, который формируется в декабре–январе и разрушается в марте. Постоянный сток с суши в исследуемые бухты отсутствует, однако в период интенсивных дождей возможно поступление значительного количества пресной воды в результате плоскостного смыва. Максимальная глубина бухт не превышает 14 м (Лоция..., 1996). В районе исследования климат, как и во всей северо-западной части Японского моря, муссонный (Юрасов и др., 2007); гидрохимические параметры поверхностного слоя воды изменяются в пределах: соленость – от 19 до 35‰, а температура – от –1.8 до 26°C. Минимальное значение

солености отмечено в сентябре, максимальное – в декабре (б. Парис) и феврале (б. Житкова).

*Состав и количественные характеристики фитопланктона*

Для исследования микроводорослей материал фиксировали раствором Утермёля. Пробы объемом 1 л концентрировали методом осаждения (Utermöhl, 1958). Плотность клеток микроводорослей подсчитывали в счетной камере Нажотта объемом 0.05 мл (Федоров, 1979). Биомассу микроводорослей оценивали объемным методом; использовали оригинальные и литературные данные измерений объема клеток каждого вида (Sun, Liu, 2003; Olenina et al., 2006). “Цветение” воды рассматривали как массовое развитие водорослей, плотность клеток которых превышала 10<sup>6</sup> кл./л (Colijn, 1992). Доминирующими считали виды с плотностью не менее 20% от общей плотности всех видов в сообществе (Коновалова, 1984). Из-за сложности разделения под световым микроскопом мелкоклеточных одноразмерных центрических диатомей, доминирующих в планктоне, количественная доля в сообществе приведена для совокупности этих видов.

Для определения видового состава микроводорослей использовали световой микроскоп (СМ) Olympus BX 41. Детальное исследование доминирующих видов проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Carl Zeiss, Sigma 300 и трансмиссионного элек-

тронного микроскопа (ТЭМ) Carl Zeiss, Libra 120. Препараты для электронной микроскопии подготавливали по стандартным методикам (Hasle, Fryxell, 1970; Truby, 1997). Для СЭМ пробу обезвоживали в этиловом спирте при разных разведениях (25, 50, 75, 96%), затем очищенный материал концентрировали на нуклеопоровых фильтрах и сушили на воздухе. Для ТЭМ на образец воздействовали концентрированной серной кислотой при высокой температуре, затем пробу многократно центрифугировали с дистиллированной водой. Каплю отмытой пробы наносили на бленды, покрытые фромваром, и сушили на воздухе.

#### Хлорофилл *a* и биогенные элементы

Для определения концентрации хлорофилла *a* пробу воды объемом 1 л фильтровали через мембранный фильтр типа МФАС-ВА (1, 2). Фильтрацию проводили под вакуумом. После подсушивания полученный фильтр помещали в 90% ацетон. Концентрацию хлорофилла *a* определяли с помощью двулучевого спектрофотометра Shimadzu UV-2600.

Определение биогенных элементов проводили в ЦКП ЦЛЭДГИС ТИГ ДВО РАН в фильтрах, полученных после капсульных фильтров Pall GWV с размером пор 0.45 мкм. Нефильтрованную аликвоту пробы использовали для оценки химического потребления кислорода (ХПК), которое отражает содержание органических веществ (COD), окисляемых  $KMnO_4$  в  $H_2SO_4$  (ГОСТ Р 55684–2013, 2019).

Концентрацию нитратов ( $NO_3$ ), нитритов ( $NO_2$ ), фосфатов (DIP) и растворенных силикатов (DSi) определяли по известным методикам (РД 52.10.738–2010, РД 52.10.745–2010 и РД 52.10.744–2010), которые практически совпадают с международными (Grasshoff et al., 1983).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

За период исследований обнаружен 181 таксон микроводорослей, относящихся к классам Bacillariophyceae (104), Dinophyceae (65), Chlorophyceae (4), Cryptophyceae (3), Ochrophyceae (2), Raphidophyceae (2) и Euglenophyceae (1). Среди диатомей наибольшего видового разнообразия достигал род *Chaetoceros* (27 видов и внутривидовых таксонов), среди динофлагеллят – род *Protoperdinium* (23). Видовое разнообразие фитопланктона на обеих станциях было сопоставимо (142 вида в б. Парис и 138 видов в б. Житкова), однако видовой состав различался: в б. Парис зарегистрировано 45 видов микроводорослей, не отмеченных в б. Житкова; 41 вид найден только в б. Житкова.

На протяжении всего периода исследования в планктоне доминировали 19 видов микроводорослей (табл. 1). Для б. Парис были характерны

*Minidiscus comicus*, комплекс видов рода *Cyclotella*, *Plagioselmis prolonga* и *Prorocentrum triestinum*. Только в б. Житкова доминировали *Leptocylindrus minimus*, а также бентосные водоросли *Cocconeis* sp. и *Licmophora abbreviata*.

Анализ количественных данных показал, что плотность фитопланктона в исследованных бухтах изменялась от 4.3 тыс. кл./л до 4.6 млн кл./л; биомасса варьировала от 24.4 мг/м<sup>3</sup> до 8.9 г/м<sup>3</sup>. В б. Парис максимальные значения плотности микроводорослей зарегистрированы в июле 2019 г., а биомассы – в январе 2020 г. Сезонная динамика плотности микроводорослей в бухтах Парис и Житкова характеризовалась пятью пиками (рис. 2). Зимой и осенью динамика плотности микроводорослей в бухтах совпадала. Так, в январе 2019 г. на пике обилия фитопланктона, связанного с вегетацией рафидофитовых водорослей, в б. Житкова плотность фитопланктона достигала 1.1 млн кл./л, а в б. Парис – 521.8 тыс. кл./л. Зимний пик в январе 2020 г. характеризовался преобладанием в планктоне диатомовой водоросли *Thalassiosira nordenskioldii* (б. Парис – 1.6 млн кл./л, б. Житкова – 1 млн кл./л). В осенний период отмечены две вспышки развития микроводорослей. В сентябре при “цветении” воды и минимальной солености (19‰) в б. Парис доминировали пресноводные диатомовые рода *Cyclotella* – *C. atomus* var. *gracilis* и *C. choctawhatcheeana* (4.4 млн кл./л), а в б. Житкова отмечено массовое развитие морских видов диатомовых *S. japonicum* и *Thalassiosira lundiana* (2.3 млн кл./л). Второй осенний пик в октябре в обеих бухтах был вызван доминированием *S. japonicum* (рис. 2а, табл. 1).

Весной и летом сезонная динамика фитопланктона в исследованных бухтах различалась. Наиболее значительный летний пик плотности фитопланктона (4.6 млн кл./л) отмечен лишь в б. Парис, когда в планктоне доминировал вид *Skeletonema dohrnii*. Весеннее “цветение” воды (1.4 млн кл./л) регистрировали только в б. Житкова; в сообществе преобладал вид *Heterosigma akashiwo* (рис. 2а, табл. 1).

Динамика биомассы микроводорослей совпадала преимущественно с сезонной динамикой их плотности (рис. 2б). Виды, обеспечивавшие вспышки плотности фитопланктона, определяли и пики биомассы сообщества. Лишь зимой дополнительный вклад в общее значение биомассы внес крупноклеточный вид *Coscinodiscus oculus-iridis* (42%).

Анализ количественных характеристик хлорофилла *a* показал схожую динамику этого параметра в районе исследования. Отмечены 3 пика концентрации хлорофилла *a*, которая достигала 11.4–13.4 мг/м<sup>3</sup> в зимний период 2019 и 2020 гг. и осенью 2019 г. (рис. 3а). Кроме этого в б. Житкова кратковременное увеличение концентрации хлорофилла *a* было зарегистрировано в начале марта

**Таблица 1.** Доминирующие виды фитопланктона в бухтах Парис и Житкова острова Русский; их доля от общей плотности фитопланктона (%) в районе исследования

Отдел, вид	б. Парис				б. Житкова			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
Bacillariophyceae								
<i>Chaetoceros socialis</i> Lauder	—	—	20.8	—	—	—	20.8	—
<i>Cocconeis</i> sp.	—	—	—	—	—	98.7	—	—
<i>Cyclotella atomus</i> var. <i>gracilis</i> Genkal et Kiss,	—	—	—	71.9	—	—	—	—
<i>Cyclotella choctawhatcheeana</i> Prasad	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Leptocylindrus minimus</i> Gran	—	—	—	—	—	—	—	20.0
<i>Licmophora abbreviata</i> Agardh	—	—	—	—	—	20.0	—	—
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden	—	—	—	20.0	—	—	—	20.1
<i>Skeletonema dohrnii</i> Sarno et Kooistra	—	—	91.6	—	—	—	40.2	—
<i>Skeletonema japonicum</i> Zingone et Sarno	—	—	—	92.0	—	—	—	89.2
<i>Thalassiosira lundiana</i> Fryxell	—	—	—	—	—	—	—	28.4
<i>Thalassiosira tenera</i> Proshkina-Lavrenko, <i>T. lundiana</i> Fryxell	—	—	—	—	—	—	86.9	—
<i>Thalassiosira lundiana</i> Fryxell, <i>Minidiscus comicus</i> Takano	—	—	—	63.6	—	—	—	—
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i> Cleve	95.2	—	—	—	88.1	—	—	—
<i>Thalassiosira</i> sp., <i>T. lundiana</i> Fryxell, <i>T. pseudonana</i> Hasle et Heimdal	—	—	22.2	—	—	—	—	—
Dinophyceae								
<i>Gymnodinium simplex</i> (Lohmann) Kofoid et Swezy	—	67.6	—	—	—	22.1	—	—
<i>Prorocentrum triestinum</i> Schiller	—	—	23.7	—	—	—	—	—
Raphidophyceae								
Raphidophyceae	93.1	—	—	—	99.6	—	—	—
<i>Heterosigma akashiwo</i> (Hada) Hada ex Hara et Chihara	—	92.1	—	—	—	99.7	—	—
Cryptophyceae								
<i>Plagioselmis prolonga</i> Butcher ex Novarino, Lucas et Morrall	—	26.1	—	—	—	—	—	—

во время разрушения льда на фоне “цветения” рафидофитовой водоросли *H. akashiwo*. Выраженные максимумы концентрации хлорофилла *a* были приурочены к пикам цветения фитопланктона.

Характер сезонных изменений содержания растворенного кремния в исследованных бухтах не различался. Максимальные значения (82–107 мкмоль/л) отмечены в сентябре при пониженной солености в соответствии с большим количеством дождей и повышенным стоком с суши. В остальное время года концентрация DSi не превышала 22.3 мкмоль/л (рис. 3б). Величина ХПК, отражающая количество органического вещества в воде, также демонстрировала доминирующий пик в начале сентября (рис. 3в), связанный

с повышенным стоком с суши. Однако в отличие от содержания силикатов повышенный уровень ХПК наблюдался летом, и в б. Житкова локальный максимум отмечен во время разрушения льда. В то же время зимние пики хлорофилла *a* не сопровождались увеличением ХПК (рис. 3в). Максимальный уровень других биогенных веществ регистрировали в основном в конце осени – начале зимы. Наиболее высокие концентрации DIP отмечены в декабре (1.27 мкмоль/л) в б. Житкова, весной и летом содержание фосфатов здесь не превышало 0.07 мкмоль/л. При схожем характере сезонной изменчивости уровень концентрации фосфатов в б. Парис был ниже, чем в б. Житкова. Максимум фосфатов 0.46 мкмоль/л в б. Парис отмечен в начале зимы, а наименьшие значения

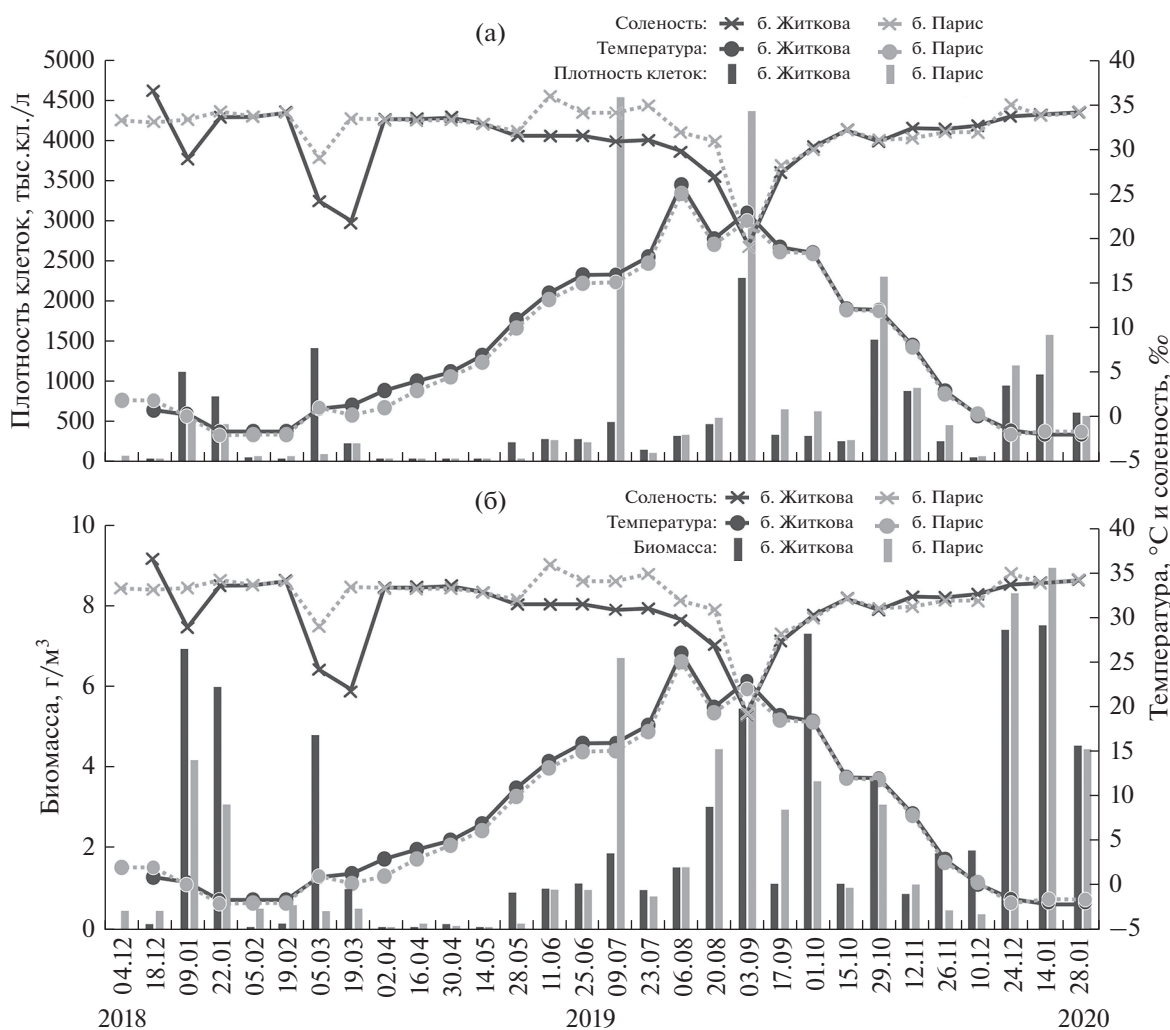
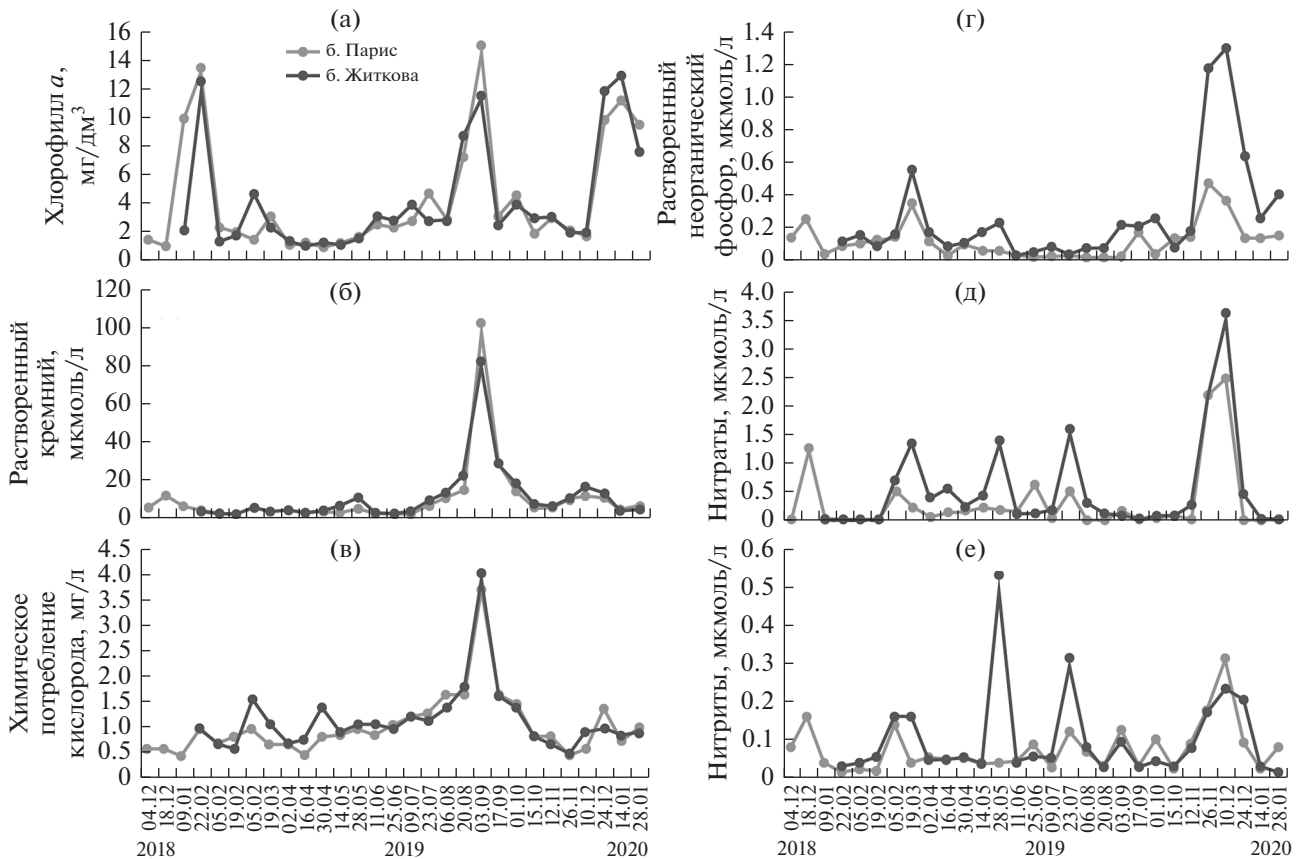


Рис. 2. Динамика плотности клеток (а) и биомассы (б) фитопланктона; температура и соленость поверхностного слоя воды в районе исследования.

(<0.04 мкмоль/л) регистрировали с мая по сентябрь (рис. 3г). Наиболее высокий уровень  $\text{NO}_3$  (2.46 мкмоль/л) в этой бухте также отмечен в начале зимы, в январе–феврале он снижался до минимальных значений, близких к нулю. В начале весны концентрация нитратов возрастала и с марта по август колебалась от 0.14 до 0.60 мкмоль/л, снижаясь до аналитического нуля в осенние месяцы. Содержание нитратов в б. Житкова имело более выраженную сезонную динамику: максимальные значения также отмечены в декабре (3.60 мкмоль/л), но кроме зимнего пика  $\text{NO}_3$  наблюдалось увеличение содержания нитратов в марте (1.33 мкмоль/л), мае (1.38 мкмоль/л) и июле (1.57 мкмоль/л). Минимальные значения нитратов в этой бухте, как и в б. Парис, регистрировали в зимний период с января по февраль и осенью с сентября по ноябрь (рис. 3д). Сезонная изменчивость нитритов в б. Парис в общих чертах повторяла таковую для нитратов (рис. 3е).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Видовое разнообразие фитопланктона в районе исследования сопоставимо с результатами, представленными в литературе: б. Парис – 177 видов (Shevchenko et al., 2018), прибрежные воды о-ва Русский – 254 вида (Shevchenko et al., 2019), Уссурийский залив – 119 видов (Бегун, 2004). Большинство отмеченных нами доминирующих видов широко распространены и преобладают в планктоне умеренных широт Мирового океана (Trigueros, Orive, 2001; Škaloud et al., 2006; Canesi, Rynearson, 2016). Однако установлены некоторые особенности. Впервые в морских водах зарегистрирован *Cyclotella atomus* var. *gracilis* (рис. 4а–4в). В морях России *Minidiscus comicus* (рис. 4г) впервые отмечен как доминирующий вид фитопланктона. Массовое развитие *M. comicus* в районе исследования регистрировали в сентябре при температуре воды 18°C. Известны случаи “цветения” воды, вызванные этим видом весной в Средиземном



**Рис. 3.** Динамика хлорофилла *a* (а), растворенного кремния (б), химического потребления кислорода (в), растворенного неорганического фосфора (г), нитратов (д) и нитритов (е) в районе исследования.

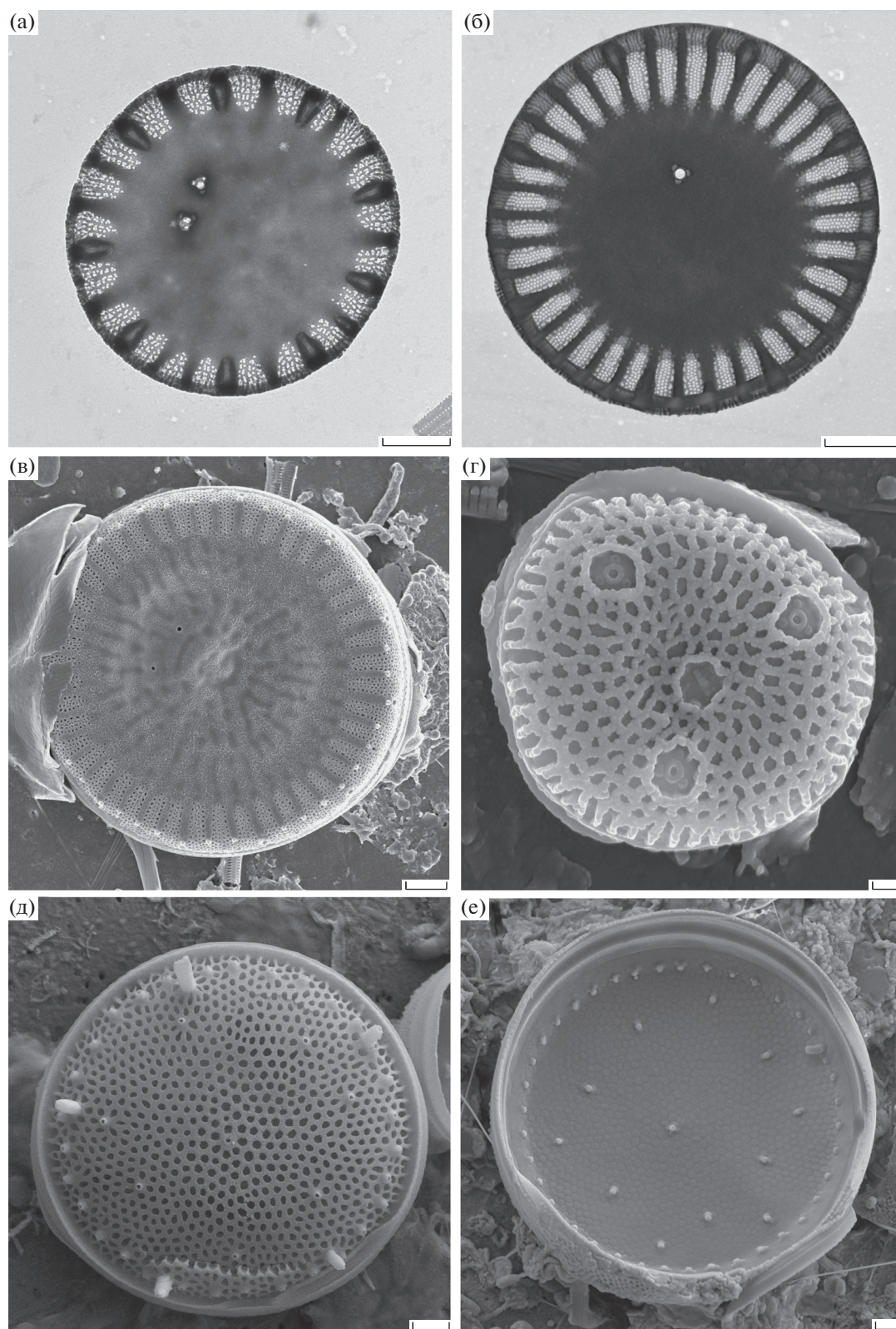
море (13°C) и в прибрежных водах Норвегии (6–7°C) (Daniels et al., 2015; Leblanc et al., 2018). У относящегося к нанопланктону *M. comicus* размер створки менее 5 мкм; такие организмы невозможно достоверно идентифицировать на световом уровне, что часто приводит к недооценке их роли в сообществе.

Доминирование летом мелкоклочных (размер створки менее 15 мкм) видов рода *Thalassiosira* – одна из особенностей сезонной динамики фитопланктона в исследованном районе. Видовую идентификацию проводили в ТЭМ и СЭМ, без выделения доли каждого из этих видов. Показано, что летом одновременно доминировали комплексы: в б. Житкова – *T. lundiana* и *T. tenera*, а в б. Парис – *Thalassiosira* sp., *T. lundiana* и *T. pseudonana*. Вид *T. lundiana* впервые идентифицирован в северо-западной части Японского моря (рис. 4д, 4е).

Проведено сопоставление зависимости между изменением химического состава прибрежных вод и вариациями фитопланктона. Сезонный ход гидрохимических параметров в бухтах Парис и Житкова определяется двумя главными событиями: распреснением вод (до 19‰) в августе–сентябре за счет поверхностного стока с водосбора

при интенсивных муссонных дождях, а также повышением концентрации фосфатов, нитратов и нитритов в ноябре–декабре за счет адвекции из открытой части зал. Петра Великого, где содержание фосфатов и неорганических форм азота в поверхностном слое в зимний период составляет 0.7–0.9 и 9–12 мкмоль/л соответственно (Tishchenko et al., 2003). Кроме того, в прибрежных водах возможно поступление биогенных веществ из заилненных донных отложений, подверженных восстановительному диагенезу. Летнее распреснение сопровождается повышением концентрации растворенных силикатов, ХПК и хлорофилла *a*. В августе–сентябре максимум концентрации хлорофилла *a*, наблюдавшийся в период минимальной солености, вероятно, был переоценен из-за поступившей с суши взвеси, обладавшей флуоресценцией схожей длины волны (Qiu et al., 2010). Пики концентрации хлорофилла *a* во время летней и второй осенней вспышек развития фитопланктона при нормальной солености (32–34‰) показывали значения существенно ниже. Разрушение льда в б. Житкова в начале марта также сопровождалось повышенной концентрацией ХПК, хлорофилла *a*, всех биогенных веществ и массовым развитием рафидофитовой *Heterosigma*





**Рис. 4.** Виды-доминанты, впервые отмеченные в районе исследования: а – *Cyclotella atomus* var. *gracilis*; б, в – *Cyclotella choctawhatcheeana*; г – *Minidiscus comicus*; д, е – *Thalassiosira lundiana*. а–д – общий вид створок с наружной поверхности, е – с внутренней поверхности; а–б – ТЭМ, в–е – СЭМ. Масштаб: а–в, д–е – 1 мкм, г – 200 нм.

*akashiwo*. В б. Парис весеннее распреснение было выражено слабо. Общий ход сезонной изменчивости параметров среды и биогенов в исследованных бухтах совпадал (рис. 3). Однако в б. Парис в большей степени проявлялся фактор летнего увеличения территориального стока, обуславливающий летнее “цветение” воды, а в б. Житкова было более выражено увеличение концентрации нитратов и фосфатов в конце осени—начале зимы, хотя и летом концентрация растворенных форм азота и фосфора здесь была выше, чем в б. Парис (рис. 3). Учитывая большую закрытость и ослабленный водообмен б. Житкова, увеличение концентрации нитратов и фосфатов можно рассматривать как свидетельство поступления их из восстановленных донных отложений, которые являются заметным источником биогенных веществ в этой бухте в конце осени. Концентрация фосфатов в открытой части зал. Петра Великого в зимний период не превышает 0.9 мкмоль/л (Tishchenko et al., 2003), что не может обеспечить наблюдаемое в б. Житкова в начале зимы увеличение их содержания до 1.2–1.4 мкмоль/л и подтверждает роль потока из донных отложений как фактора сезонной изменчивости гидрохимического состава поверхностных вод. Независимо от причины повышения содержания биогенных веществ в водах бухт Парис и Житкова в начале зимы оно значительно снижается в январе—феврале в результате интенсивного потребления фитопланктоном, о чем свидетельствуют пики хлорофилла *a* на фоне снижения концентрации биогенных веществ (рис. 3). Близкий характер сезонной изменчивости факторов среды в б. Парис наблюдался в 2014–2015 гг. (Шевченко и др., 2020).

Общий тренд сезонной динамики количественных параметров фитопланктона в исследованном районе в общих чертах соответствовал особенностям динамики концентрации биогенных элементов. В теплый период количественные параметры микроводорослей были преимущественно выше в б. Парис на фоне высоких концентраций биогенов. В январе—марте плотность и биомасса фитопланктона, а также уровень биогенных элементов были выше в б. Житкова, чем в б. Парис. В целом количественные параметры фитопланктона в районе исследования сопоставимы с таковыми, полученными как для соседних акваторий (Стоник, Орлова, 1998; Бегун, 2004), так и для высокопродуктивных акваторий умеренных широт (Škaloud et al., 2006; Dejerlund, Eilertsen, 2010).

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Настоящая статья не содержит описания каких-либо исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в Центре коллективного пользования “Приморский океанариум” ННЦМБ ДВО РАН (г. Владивосток) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-04-00752.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бегун А.А. Фитопланктон бухты Золотой Рог и Уссурийского залива (Японское море) в условиях антропогенного загрязнения // Изв. ТИНРО. 2004. Т. 138. С. 320–344.
- ГОСТ Р 55684–2013. Метод определения перманганатной окисляемости. М.: Стандартинформ. 2019. 20 с.
- Коновалова Г.В. Структура планктонного фитоценоза залива Восток Японского моря // Биол. моря. 1984. № 1. С. 13–23.
- Лоция северо-западного берега Японского моря. От реки Туманная до мыса Белкина. С.-Пб.: ГУН и О. 1996. 360 с.
- РД 52.10.738–2010. Массовая концентрация фосфатов в морских водах. М.: Росгидромет. 2010. 29 с.
- РД 52.10.744–2010. Массовая концентрация кремния в морской воде. М.: Росгидромет. 2010. 14 с.
- РД 52.10.745–2010. Массовая концентрация азота нитратного в морской воде. М.: Росгидромет. 2010. 27 с.
- Стоник И.В., Орлова Т.Ю. Летне-осенний фитопланктон в Амурском заливе Японского моря // Биол. моря. 1998. Т. 24. № 4. С. 205–211.
- Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: МГУ. 1979. 167 с.
- 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.
- Юрасов Г.И., Ванин Н.С., Рудых Н.И. Особенности гидрологического режима зал. Петра Великого в осенне-зимний период // Изв. ТИНРО. 2007. Т. 148. С. 211–220.
- Canesi K.L., Rynearson T.A. Temporal variation of *Skeletonema* community composition from a long-term time series in Narragansett Bay identified using high-throughput DNA sequencing // Mar. Ecol.: Prog. Ser. 2016. V. 556. P. 1–16.
- Carstensen J., Klais R., Cloern J.E. Phytoplankton blooms in estuarine and coastal waters: Seasonal patterns and key species // Estuarine Coastal Shelf Sci. 2015. V. 162. P. 98–109.
- Colijn F. Changes in plankton communities: when, where and why? // ICES Mar. Sci. Symp. 1992. V. 195. P. 193–212.
- Daniels C.J., Poulton A.J., Esposito M. et al. Phytoplankton dynamics in contrasting early stage North Atlantic spring blooms: composition, succession, and potential drivers // Biogeosciences. 2015. V. 12. P. 2395–2409.



- Degerlund M., Eilertsen H.C.* Main species characteristics of phytoplankton spring blooms in NE Atlantic and Arctic waters (68–80° N) // *Estuaries Coasts*. 2010. V. 33. P. 242–269.
- Glé C., Del Amo Y., Sautour B. et al.* Variability of nutrients and phytoplankton primary production in a shallow macrotidal coastal ecosystem (Arcachon Bay, France) // *Estuarine Coastal Shelf Sci*. 2008. V. 76. P. 642–656.
- Grasshoff K., Ehrhardt M., Kremling K.* Methods of seawater analysis. Weinheim: Verlag Chemie. 1983. 419 p.
- Halpern B.S., McLeod K.L., Rosenberg A.A., Crowder L.B.* Managing for cumulative impacts in ecosystem-based management through ocean zoning // *Ocean Coastal Manage*. 2008. V. 51. P. 203–211.
- Hasle G.R., Fryxell G.A.* Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy // *Trans. Am. Microsc. Soc.* 1970. V. 89. P. 469–474.
- Leblanc K., Quéguiner B., Diaz F. et al.* Nanoplanktonic diatoms are globally overlooked but play a role in spring blooms and carbon export // *Nat. Commun*. 2018. V. 9. Art. ID 953.
- 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.
- Peierls B.L., Hall N.S., Paerl H.W.* Non-monotonic responses of phytoplankton biomass accumulation to hydrologic variability: a comparison of two coastal plain North Carolina estuaries // *Estuaries Coasts*. 2012. V. 35. P. 1376–1392.
- Qiu D., Huang L., Zhang J., Lin S.* Phytoplankton dynamics in and near the highly eutrophic Pearl River Estuary, South China Sea // *Cont. Shelf Res*. 2010. V. 30. P. 177–186.
- Shevchenko O.G., Ponomareva A.A., Shulgina M.A., Orlova T.Yu.* Phytoplankton in the coastal waters of Russky Island, Peter the Great Bay, Sea of Japan // *Bot. Pac*. 2019. V. 8. № 1. P. 133–141.
- Shevchenko O.G., Shulkin V.M., Ponomareva A.A.* Phytoplankton and hydrochemical parameters near net pens with beluga whales in a shallow bay of the northwestern Sea of Japan // *Thalassas*. 2018. V. 34. № 1. P. 139–151.
- 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. V. 62. P. 717–729.
- Sun J., Liu D.* Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton // *J. Plankton Res*. 2003. V. 25. № 11. P. 1331–1346.
- Tishchenko P.Ya., Talley L.D., Lobanov V.B. et al.* Seasonal variability of the hydrochemical conditions in the Sea of Japan // *Oceanology*. 2003. V. 43. № 5. P. 643–655.
- Trigueros J.M., Orive E.* Seasonal variations of diatoms and dinoflagellates in a shallow, temperate estuary, with emphasis on neritic assemblages // *Hydrobiologia*. 2001. V. 444. P. 119–133.
- Truby E.W.* Preparation of single-celled marine dinoflagellates for electron microscopy // *Microsc. Res. Tech*. 1997. V. 36. P. 337–340.
- Utermöhl H.* Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton – Methodik. *Intt. Ver. Theor. Angew. Limnol. Mitt*. 1958. V. 9. P. 1–38.
- Van Beusekom J.E.E., Loebel M., Martens P.* Distant riverine nutrient supply and local temperature drive the long-term phytoplankton development in a temperate coastal basin // *J. Sea Res*. 2009. V. 61. P. 26–33.
- Watanabe K., Kasai A., Fukuzaki K. et al.* Estuarine circulation-driven entrainment of oceanic nutrients fuels coastal phytoplankton in an open coastal system in Japan // *Estuarine Coastal Shelf Sci*. 2017. V. 184. P. 126–137.

## Monitoring of Phytoplankton and Hydrochemical Parameters of Coastal Waters of Russky Island (Peter the Great Bay, Sea of Japan)

O. G. Shevchenko<sup>a</sup>, K. O. Tevs<sup>b</sup>, V. M. Shulkin<sup>c</sup>, and M. A. Shulgina<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690041, Russia*

<sup>b</sup>*Far Eastern Federal University, Vladivostok 690920, Russia*

<sup>c</sup>*Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690041, Russia*

This paper presents results of the study of the species composition and seasonal dynamics of the qualitative characteristics of phytoplankton in Paris and Zhitkov bays of Russky Island in relation to the hydrochemical structure of waters. The composition of dominant species differed between the bays. The occurrence of Bacillariophyceae was recorded; *Cyclotella atomus* var. *gracilis* was for the first time identified in marine waters. *Thalassiosira lundiana* is the first record for the northwestern Sea of Japan. *Minidiscus comicus* occurred as the dominant species of phytoplankton in the seas of Russia for the first time. The use of electron microscopy for identification of dominant species showed that the mass development of members of *Thalassiosira* was more often caused by a complex of species. The general trend of the seasonal variations of environmental parameters and nutrients in the studied bays mostly coincided with the features of the dynamics of quantitative parameters of microalgae.

**Keywords:** phytoplankton, seasonal dynamics, quantitative characteristics, hydrochemical parameters, chlorophyll *a*, Paris Bay, Zhitkov Bay, Sea of Japan