

УДК 581.526.325(265.54)

О.Г. Шевченко¹, К.О. Тевс², В.М. Шулькин^{3*}¹ Национальный научный центр морской биологии
им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17;² Дальневосточный федеральный университет,
690920, г. Владивосток, пос. Аякс, 10;³ Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ФИТОПЛАНКТОНА В МЕЛКОВОДНОЙ БУХТЕ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ): ДИНАМИКА ХЛОРОФИЛЛА «А» И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Представлены сведения о видовом составе, плотности фитопланктона, концентрации хлорофилла «а» и гидрохимических параметрах прибрежных вод бухты Парис (зал. Петра Великого, Японское море) по данным регулярного отбора в 2014–2015 гг. Идентифицировано 103 вида и внутривидовых таксона микроводорослей из 4 отделов. Показано, что в годовой динамике плотности фитопланктона и концентрации хлорофилла «а» наблюдаются различия. Плотность клеток фитопланктона варьировала от 1,3 тыс. до 1,9 млн кл./л, концентрация хлорофилла «а» — от 0,21 до 6,08 мг/дм³. Концентрация биогенных элементов исследуемой акватории характеризовалась следующими значениями: DSi — 0,7–41,8 мМ/л, DIN — 0–7,1, DIP — 0–0,7 мМ/л. Сравнение параметров 2014 и 2015 гг. показало отсутствие единого тренда среди компонентных характеристик микроводорослей. В то же время для биогенных элементов, концентрации хлорофилла «а» и других параметров среды наблюдалась повторяющаяся сезонная изменчивость в оба года исследования.

Ключевые слова: фитопланктон, видовой состав, плотность, хлорофилл «а», биогенные элементы, бухта Парис, залив Петра Великого, Японское море.

DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-141-154.

Shevchenko O.G., Tevs K.O., 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. TINRO. — 2020. — Vol. 200, Iss. 1. — P. 141–154.

* Шевченко Ольга Геннадьевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, доцент, e-mail: 713553@mail.ru; Тевс Кирилл Олегович, аспирант, e-mail: tevs.kirill.95@yandex.ru; Шулькин Владимир Маркович, доктор географических наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории, e-mail: shulkin@tigdvo.ru.

Shevchenko Olga G., Ph.D., researcher; associate professor, National Scientific Center of Marine Biology, Far-Eastern Branch, Russian Ac. Sci., 17, Palchevskogo St., Vladivostok, 690041, Russia, e-mail: 713553@mail.ru; Tevs Kirill O., post-graduating student, Far-Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Vladivostok, 690920, Russia, e-mail: tevs.kirill.95@yandex.ru; Shulkin Vladimir M., D.Geogr., principal researcher, head of laboratory, Pacific Institute of Geography, Far-Eastern Branch, Russian Ac. Sci., 7, Radio St., Vladivostok, 690041, Russia, e-mail: shulkin@tigdvo.ru.

Species composition and abundance of phytoplankton, chlorophyll *a* concentration and chemical parameters were monitored at the coast of Russky Island in the Paris Bay, the shallow secondary inlet of Peter the Great Bay in 2014–2015. In total, 103 species and intraspecific taxa of microalgae from 4 classes are identified. Dynamics of phytoplankton abundance did not coincide with the dynamics of chlorophyll *a* concentration. The abundance varied from $1.3 \cdot 10^3$ cells/L to $1.9 \cdot 10^6$ cells/L and chlorophyll *a* concentration changed in the range 0.21–6.08 mg/dm³. Nutrients had the following concentrations: DSi 0.7–41.8 μM/L, DIN 0.0–7.1 μM/L, DIP 0.0–0.7 μM/L. Dynamics of microalgae density had no common seasonal pattern in 2014 and 2015, though seasonal dynamics of chlorophyll *a*, as well as variations of nutrients and other water properties were similar in both years.

Key words: phytoplankton, species composition, phytoplankton abundance, chlorophyll *a*, nutrient, Paris Bay, Peter the Great Bay, Japan Sea.

Введение

В настоящее время на передний план изучения экологии водных экосистем выступают проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды в условиях антропогенного воздействия на экосистему. Для оценки состояния прибрежных акваторий и их дальнейших изменений применяют два разных подхода: биологический и физико-химический. Ключевую роль в системе контроля антропогенной нагрузки на водную среду играет биологический метод, который, в отличие от физико-химического, позволяет определить качество водной среды не только в момент отбора проб, но и в период, предшествующий этому [Руководство..., 1983; Лебедева, 2005].

Водные растительные сообщества активно используют для оценки качества среды, а также в качестве показателей состояния экосистемы водоема. Одним из наиболее объективных индикаторов принято считать структуру сообщества фитопланктона из-за чувствительности к изменениям физико-химических свойств воды [Абакумов, 1977].

Качество воды зависит от степени развития микроводорослей, поскольку массовое развитие фитопланктона может вызывать «цветение» воды, сопровождаемое рядом негативных последствий [Киселев, 1980; Landsberg, 2002; Ермолаев, 2009; Lefebvre et al., 2016]. Один из важных факторов, контролирующих продукцию фитопланктона в прибрежных водах, — поступление биогенных веществ как с прилегающей суши, так и в результате водообмена с открытым морем. При этом ключевой особенностью прибрежных морских экосистем является сезонная неравномерность поступления биогенных веществ и токсикантов извне в сочетании с сезонностью развития фитопланктона [Glé et al., 2008; Van Beusekom et al., 2009]. Очевидно, что обнаружение зависимостей и причинно-следственных связей между изменением химического состава прибрежных вод и вариациями фитопланктонного сообщества необходимо для понимания контролирующих процессов и прогноза качества среды прибрежных экосистем.

К наиболее важным гидрохимическим параметрам, способным влиять на продукцию фитопланктона, относят соленость, температуру, а также содержание биогенных элементов (N, P, Si), прежде всего их растворенных форм, которые не только контролируют продукцию фитопланктона, но и сами зависят от хода продукционных процессов [Peierls et al., 2012; Зуенко, Рачков, 2015; Carstensen et al., 2015; Watanabe et al., 2017].

Один из наиболее важных показателей продуктивности фитопланктона — хлорофилл «а». Механизм образования и разрушения хлорофилла «а» сопряжен с общим метаболизмом растительного организма, вследствие чего по этому параметру возможна оценка степени развития водорослей и их первичной продукции, по нему судят об уровне трофности и нагрузки биогенными веществами водоема в целом [Федоров, 2004; Мордасова, 2014].

Детальная характеристика фитопланктона особенно 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» — филиал ННЦМБ ДВО РАН,

состоящая из нескольких открытых вольеров, в которых содержатся белухи и ларги. Исследование состояния фитопланктона и качества воды в акватории вблизи вольеров позволит оценить как степень воздействия морских млекопитающих на окружающую среду, так и уровень воздействия экосистемы на животных.

Цель работы — установить зависимость между сезонным развитием фитопланктона, основными гидрохимическими параметрами среды, показателями хлорофилла «а» в мелководной бухте зал. Петра Великого в районе содержания морских млекопитающих.

Материалы и методы

Материалом для работы послужили количественные сборы фитопланктона, выполненные в период 2014–2015 гг. в бухте Парис, зал. Петра Великого, Японское море, в районе Приморского океанариума (рис. 1). Бухта Парис расположена на восточном побережье о. Русского и является по сути восточной частью прол. Босфор Восточный, граничащей с Уссурийским заливом. Главная особенность бухты Парис — ледяной покров, устанавливающийся в декабре-январе и разрушающийся в марте. В период исследования время ледостава составляло с декабря по март. Постоянного стока с суши в бухту Парис нет, однако в период интенсивных дождей возможно поступление в бухту значительного количества пресной воды за счет плоскостного смыва.

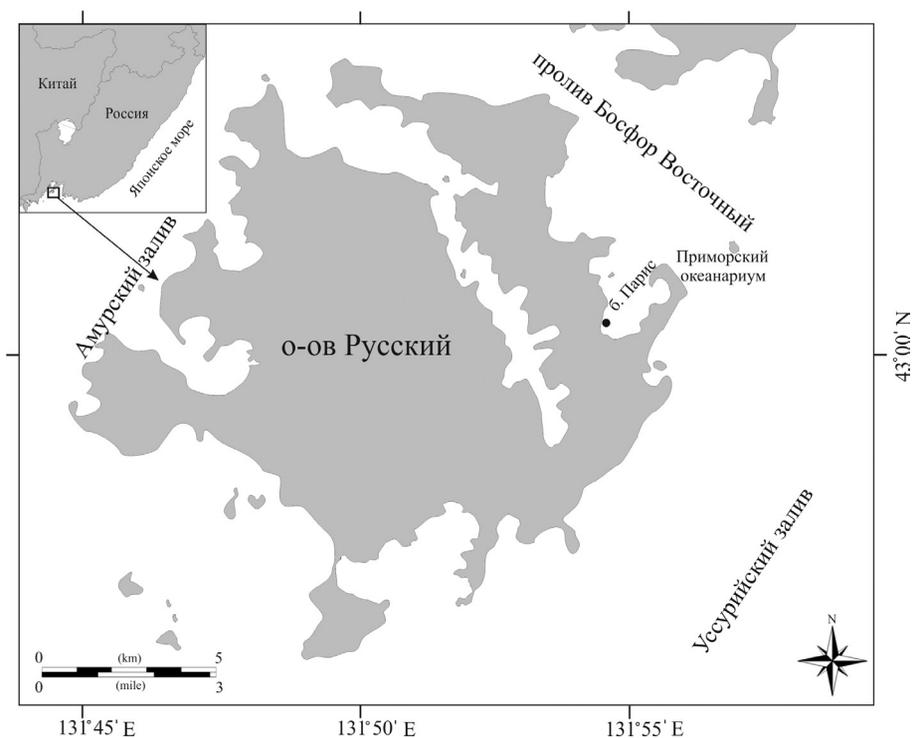


Рис. 1. Карта-схема расположения станции в бухте Парис
Fig. 1. Scheme of the monitoring site location in the Paris Bay

Отбор проб фитопланктона производили два раза в месяц при помощи батометра Нискина с глубины 0,5 м на станции постоянного мониторинга вблизи Приморского океанариума. Глубина на станции отбора составляла 6 м. Материал фиксировали раствором Утермеля до бледно-желтого цвета. Концентрирование проб объемом 1 л производили методом обратной фильтрации через поликарбонатные мембранные фильтры с диаметром пор 2 мкм [Суханова, 1983] или методом осаждения [Utermöhl, 1958].

Для определения концентрации хлорофилла «а» пробу воды объемом 1 л фильтровали через мембранный фильтр типа МФАС-ВА (1, 2). Фильтрацию производили

под вакуумом. После подсушивания полученный фильтр помещали в 90 %-ный ацетон. Концентрацию хлорофилла «а» определяли с помощью двухлучевого спектрофотометра Shimadzu UV-2600.

Одновременно с отбором проб микроводорослей измеряли температуру поверхностного слоя воды при помощи многопараметрического зонда YSI-Professional Plus (погрешность измерений $\pm 0,1$ °C) и отбирали пробы воды для гидрохимических исследований с глубины 0,3–0,5 м в полиэтиленовые емкости. В течение 2–3 ч материал доставляли в лабораторию, где измеряли соленость воды при помощи зонда YSI-Professional Plus (погрешность измерений $\pm 0,1$ ‰). Далее пробы фильтровали через капсульные фильтры GWV (Pall Corp.) с размером пор 0,45 мкм для отделения взвеси и в фильтраатах определяли концентрацию растворенных форм биогенных веществ по стандартным колориметрическим методикам. Концентрацию нитритов, нитратов и их суммы (DIN), фосфатов (DIP), растворенных силикатов (DSi) определяли по известным методикам (РД 52.10.738–2010, РД 52.10.745–2010, РД 52.10.744–2010), которые практически совпадают с международными [Grasshoff et al., 1983].

Фитопланктон исследовали с помощью светового микроскопа Olympus BX 41. Видами, вызывающими «цветение» воды, считали микроводоросли, плотность которых составляла более 1 млн кл./л [Colijn, 1992]. Видовую идентификацию микроводорослей проводили с использованием литературных источников [Tomas, 1997; Hoppenrath et al., 2009; Omura et al., 2012].

Уровень трофности вод оценивали согласно классификации Ямада с соавторами по следующей шкале плотности фитопланктона: олиготрофный — $< 3 \cdot 10^4$ кл./л; эвтрофный — $3 \cdot 10^4$ — $3 \cdot 10^6$ кл./л; экстремально-эвтрофный — $> 3 \cdot 10^6$ кл./л [Yamada et al., 1980].

Результаты и их обсуждение

Видовой состав и динамика плотности фитопланктона

Всего в 2014–2015 гг. в бухте Парис было обнаружено 103 вида и внутривидовых таксона микроводорослей, относящихся к 4 отделам. Наибольшее видовое разнообразие наблюдалось у диатомовых водорослей — 49 видов, из них значительное число составляли виды рода *Chaetoceros* (8). Динофлагелляты были представлены 47 видами, среди них преобладали виды рода *Prorocentrum* (17). Также было отмечено 6 видов охрофитовых и 1 вид эвгленовых водорослей.

В 2014 г. было идентифицировано 82 вида микроводорослей. Наибольшее разнообразие было характерно для диатомовых водорослей — 40 видов, из них самым многовидовым был род *Chaetoceros* (5 видов). Динофлагелляты были представлены 37 видами, среди них доминировали виды рода *Prorocentrum* (11). Также было отмечено 4 вида охрофитовых и 1 вид эвгленовых водорослей. В течение года по количеству видов преимущественно преобладали диатомовые водоросли, в июле и ноябре — динофитовые.

В 2015 г. регистрировали 83 вида микроводорослей, как и в первый год исследования, отмечали преобладание диатомей — 38 видов; доминировал по числу видов род *Chaetoceros* (7). Динофитовые водоросли были представлены 37 видами, среди них преобладали виды рода *Prorocentrum* (10). Аналогично первому году исследования наблюдали 4 вида охрофитовых и 1 вид эвгленовых водорослей. В течение года отмечали преобладание диатомовых водорослей, в марте и в августе — динофлагеллят.

На протяжении всего периода исследования плотность фитопланктона изменялась от 1,3 тыс. до 1,9 млн кл./л, с максимальным значением плотности в марте 2014 г.

В 2014 г. было отмечено два пика плотности микроводорослей, в зимний и весенний периоды (рис. 2, А), каждый из них был обусловлен массовым развитием диатомовой водоросли *Thalassiosira nordenskioeldii*. Наиболее значительным был весенний пик плотности фитопланктона (18 марта, 1,9 млн кл./л). Доля *T. nordenskioeldii*

достигала 99,6 % общей плотности фитопланктона. «Цветению» *T. nordenskiöldii* весной сопутствовали диатомовые водоросли *Melosira moniliformis* и *Odontella aurita*, зимой — *Pleurosigma formosum*. Зимний пик (18 февраля, 128,6 тыс. кл./л) значительно уступал весеннему.

В 2015 г. наблюдали три пика развития микроводорослей в летний и осенний периоды (рис. 2, Б). Летом отмечали одну вспышку развития фитопланктона (4 августа, 243,8 тыс. кл./л), обусловленную массовым развитием *Prorocentrum triestinum*. Доля *P. triestinum* достигала 87,5 % общей плотности микроводорослей. Осенние пики плотности фитопланктона (20 октября, 416,1 тыс. кл./л; 17 ноября, 744,1 тыс. кл./л) были обусловлены массовым развитием *Skeletonema japonicum*. На долю вида приходилось до 95,4 % общей плотности микроводорослей. Наряду с *S. japonicum* в незначительном количестве наблюдали развитие *Pseudo-nitzschia multistriata*.

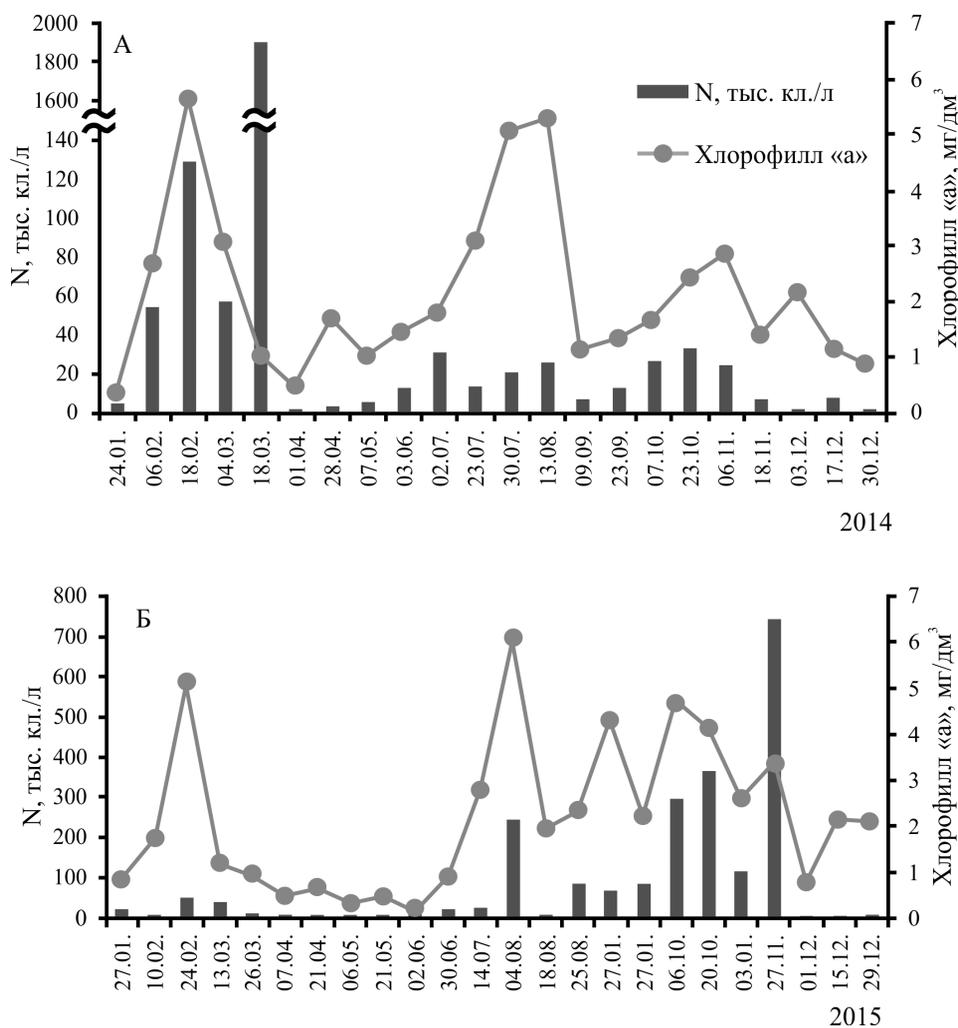


Рис. 2. Динамика плотности микроводорослей (N, тыс. кл./л) и хлорофилла «а» (мг/дм³) в бухте Парис в 2014 (А) и 2015 (Б) гг.

Fig. 2. Dynamics of phytoplankton abundance (10³ cells/L) and chlorophyll a concentration (mg/dm³) in the Paris Bay in 2014 (A) and 2015 (B) гг.

Динамика концентрации хлорофилла «а»

На протяжении всего периода исследования концентрация хлорофилла «а» в бухте Парис в поверхностном слое воды изменялась в пределах от 0,21 до 6,08 мг/дм³. Максимальная концентрация пигмента была отмечена в августе 2015 г.

В 2014 г. отмечали два пика концентрации хлорофилла «а» — зимний и летний (рис. 2, А). В зимний период регистрировали пик концентрации хлорофилла «а» в феврале ($5,59 \text{ мг/дм}^3$), который был обусловлен массовым развитием диатомеи *T. nordenskioldii* ($125,8 \text{ тыс. кл./л}$), видом, характерным для зимнего сообщества. Летом пик концентрации хлорофилла «а» наблюдали в августе ($5,26 \text{ мг/дм}^3$) при преобладании диатомей рода *Skeletonema*.

В 2015 г. зарегистрировали два пика концентрации хлорофилла «а», в зимний и летний периоды, как и в 2014 г. (рис. 2, Б). Пик хлорофилла «а», отмеченный в феврале, имел схожее значение с предыдущим годом ($5,15 \text{ мг/дм}^3$), при этом также наблюдали преобладание *T. nordenskioldii*. Летний пик концентрации хлорофилла «а» в 2015 г. был наиболее высоким за весь период исследования, его наблюдали, как и в 2014 г., в августе при значительном развитии динофитовой водоросли *P. triestinum*, составляющей $87,5 \%$ общей плотности микроводорослей ($213,3 \text{ тыс. кл./л}$).

Динамика температуры, солености и гидрохимических параметров среды

Исследование годового хода температуры поверхностного слоя воды в бухте Парис в 2014 г. показало, что наименьшая температура воды была характерна для зимнего периода и составляла минус $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$. С 20-х чисел марта в период разрушения ледяного покрова наблюдали ее постепенное повышение. В августе температура воды достигала максимального значения — $22 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 3, А). В следующий год исследование разрушение ледяного покрова происходило в более ранний период — с 10-х чисел марта. Максимальную температуру отмечали в августе — $23 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 3, А).

В годовом ходе солености воды был отмечен один резкий, но непродолжительный минимум в конце марта 2014 г. ($15,4 \text{ ‰}$), связанный с распреснением при таянии льда, а максимальное значение было зарегистрировано в феврале ($34,9 \text{ ‰}$) (рис. 3, Б). В 2015 г. распреснение в весенний период было слабо выражено, а минимум солености отмечали в сентябре — $27,2 \text{ ‰}$ (рис. 3, Б).

Наименьшие показатели в бухте Парис в 2014 г. наблюдали весной с марта по май, концентрация не превышала $4,1 \text{ }\mu\text{M/л}$. Наибольшие концентрации были характерны для второй половины лета и начала осени, исключение составлял июль, когда содержание DSi не превышало $1,5 \text{ }\mu\text{M/л}$ (рис. 4, А). Повышенное количество растворенного кремния отмечали в начале зимы с последующим постепенным падением к марту (рис. 4, А). Характер сезонного изменения DSi в 2015 г. был аналогичен таковому в 2014 г., но с более выраженным максимумом во второй половине лета (рис. 4, А) в соответствии с большим количеством атмосферных осадков и повышенным стоком с суши летом 2015 г.

В водах исследуемой акватории в 2014 г. наиболее высокие показатели содержания DIN были отмечены в декабре ($7,1 \text{ }\mu\text{M/л}$), в конце июля наблюдали минимальную концентрацию, близкую к нулю (рис. 4, Б). В 2015 г. при сохранении характера сезонной изменчивости зафиксировано снижение уровня концентрации DIN по сравнению с предыдущим годом. Максимум наблюдали, как и в 2014 г., в зимний период, концентрация $3,8 \text{ }\mu\text{M/л}$. Наименьшие значения фиксировали в летне-осенний период, когда концентрация DIN не превышала $1,3 \text{ }\mu\text{M/л}$ (рис. 4, Б).

В конце весны и в начале лета 2014 г. регистрировали значительное снижение DIP до значений, не превышающих $0,02 \text{ }\mu\text{M/л}$. Увеличение содержания фосфатов до $0,6\text{--}0,7 \text{ }\mu\text{M/л}$ происходило в осенне-зимний период (рис. 4, В). В следующий год исследования наименьшие значения также наблюдали в весенне-летний период: начиная с последних чисел марта содержание DIP снижалось до минимума ($0,02 \text{ }\mu\text{M/л}$) и оставалось на этом уровне до сентября ($0,03 \text{ }\mu\text{M/л}$). Исключение отмечали в конце августа, когда концентрация DIP увеличилась до $0,2 \text{ }\mu\text{M/л}$ в период развития видов рода *Skeletonema*. Осенью концентрация фосфатов возрастала до максимума (рис. 4, В) и оставалась на повышенном уровне до середины зимы, после чего демонстрировала тенденцию к снижению.

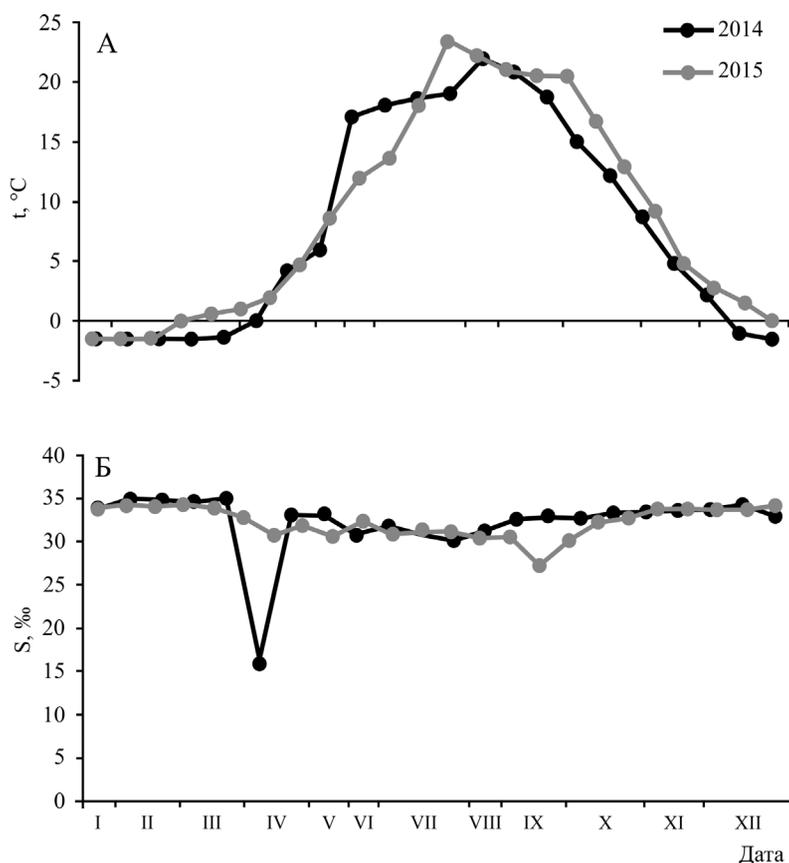


Рис. 3. Динамика температуры (А) и солёности (Б) воды на горизонте 0,5 м в бухте Парис в 2014 и 2015 гг.

Fig. 3. Dynamics of water temperature (A) and salinity (B) at 0.5 m depth in the Paris Bay in 2014 and 2015

Анализ видового состава фитопланктона показал, что 64 % видов микроводорослей были схожими на протяжении периода исследования. Сравнение полученных данных с литературными сведениями [Коновалова, 1972; Морозова и др., 2002; Морозова, Орлова, 2005; Орлова и др., 2009] показало, что видовой состав фитопланктона сопоставим с таковым других акваторий зал. Петра Великого.

Сопоставление количественных характеристик микроводорослей в районе исследования выявило, что сезонные пики плотности фитопланктона в 2014–2015 гг. были различными. Известно, что лимитирующими факторами развития зимнего и ранневесеннего фитопланктона являются температурный режим и содержание биогенных элементов. Зимой биогенные элементы находятся в воде в количестве, достаточном для вегетации фитопланктона, которое сдерживается низкой температурой воды [Цхай, 2007]. Лед содержит до 7 $\mu\text{M}/\text{л}$ нитратов [Звалинский и др., 2008], и его таяние также может способствовать увеличению концентрации растворенных форм азота. В процессе разрушения ледяного покрова происходит высвобождение основных биогенных элементов, что вызывает лавинообразное весеннее «цветение» микроводорослей. Данная картина прослеживалась в бухте Парис в марте 2014 г. при развитии *T. nordenskioldii*. В 2015 г. ранневесеннего пика плотности микроводорослей не наблюдали. Судя по наблюдениям в Амурском заливе, вспышки «цветения» воды ранней весной приурочены к периодам начала разрушения ледяного покрова [Orlova et al., 2016]. Возможно, именно поэтому в 2015 г., когда в бухте Парис был короткий ледостав (с I декады декабря по I декаду марта), ранневесеннее «цветение» здесь отсутствовало (см. рис. 2, Б).

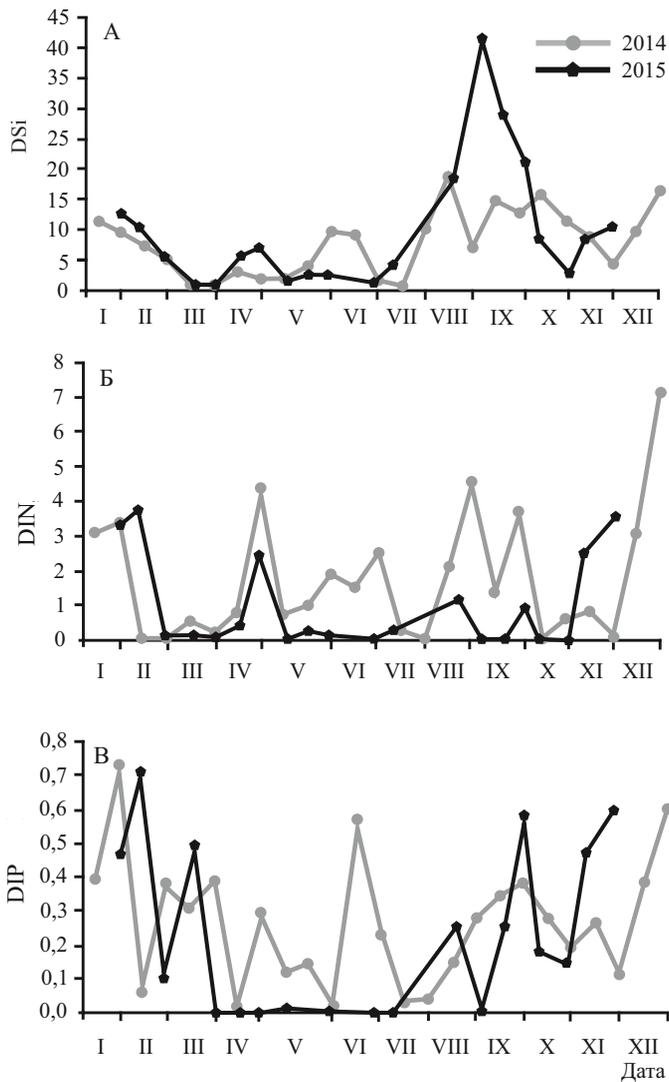


Рис. 4. Динамика биогенных элементов в бухте Парис в 2014–2015 гг.: **A** — растворенный кремний (DSi, $\mu\text{M}/\text{л}$); **Б** — растворенный неорганический азот (DIN, $\mu\text{M}/\text{л}$); **В** — растворенный неорганический фосфор (DIP, $\mu\text{M}/\text{л}$)

Fig. 4. Dynamics of nutrients concentration in the Paris Bay in 2014–2015: **A** — dissolved silicon (DSi, $\mu\text{M}/\text{L}$); **Б** — dissolved inorganic nitrogen (DIN, $\mu\text{M}/\text{L}$); **В** — dissolved inorganic phosphorus (DIP, $\mu\text{M}/\text{L}$)

В то же время концентрация хлорофилла «а» характеризовалась схожей сезонной динамикой в 2014 и 2015 гг.; отмечали выраженные пики зимой и летом. При этом если зимой 2014 г. повышенное содержание хлорофилла «а» соответствовало максимальной плотности диатомовых (рис. 2, А), то зимой 2015 г. максимум хлорофилла «а» наблюдали при незначительной плотности фитопланктона (рис. 2, Б). Причиной может быть существенная роль пикопланктона в составе хлорофиллсодержащего сообщества в 2015 г. [Platt et al., 1983; Стельмах, 1988]. Высокий показатель концентрации хлорофилла «а» в летний период при низких значениях плотности хлорофиллоносного планктона в 2015 г., вероятно, был обусловлен переоценкой количества хлорофилла «а», вызванной ливневыми осадками, прошедшими накануне (02–03.08.2015 г.). Некоторые органические вещества наземного происхождения, например взвесь с суши, также испускают флуоресценцию при длине волны 640 нм [Qiu et al., 2010].

Сезонная изменчивость температурного и соленостного режима бухты Парис соответствует таковой во внутренних акваториях зал. Петра Великого. С декабря по март отмечается гомогенное вертикальное распределение температуры и солености. С наступлением теплого периода начинает развиваться термохалинная стратификация как за счет прогрева поверхностного слоя до максимума 20–23 °С в августе, так и в результате его распреснения за счет стока с суши [Винокурова, 1977; Лучин и др., 2005].

В осенне-зимний период за счет уменьшения атмосферных осадков и материкового стока соленость в поверхностном слое воды возрастает, распределение температуры и солености в толще прибрежных вод выравнивается [Лучин и др., 2005; Зуенко, Рачков, 2015]. Наблюдаемые резкие, но непродолжительные минимумы солености поверхностных вод бухты Парис (рис. 3, Б) могут быть связаны с разрушением ледяного покрова в марте, а также с увеличением стока с суши за счет ливневых осадков в летний период [Зуенко и др., 2003].

Полученные данные по сезонному изменению содержания растворенного кремния в бухте Парис отражают его поступление со стороны моря во второй половине осени за счет сезонной адвекции и конвекции подповерхностных вод из открытой части зал. Петра Великого, содержащих в этот период 28–36 $\mu\text{M}/\text{л}$ DSi [Лучин и др., 2005; Азмухаметова, Кошкин, 2016]. Затем конвекция ослабевает, начинает доминировать поглощение кремния диатомовым фитопланктоном, что ведет к постепенному снижению концентрации DSi в течение зимы и в начале весны (рис. 4, А). Летом наряду с продолжающимся потреблением кремния реализуется его поступление со стоком с суши, что выражается в периодическом увеличении концентрации, совпадающим со снижением солености (рис. 4, А) [Шулькин и др., 2013]. Соответственно, в начале осени с уменьшением стока с суши доминирует потребление кремния и снижение его концентрации, которое наблюдается до периода осенней адвекции и перемешивания.

Для сезонных изменений неорганических форм азота также характерно наличие периода повышенной концентрации в конце осени — начале зимы (рис. 4, Б) вследствие апвеллинга и конвективного перемешивания с подповерхностными водами открытой части зал. Петра Великого, содержащими до 10–12 $\mu\text{M}/\text{л}$ нитратов [Звалинский и др., 2013]. Во второй половине зимы содержание DIN устойчиво снижается за счет потребления фитопланктоном (рис. 4, Б). Однако весной и летом в бухте Парис наблюдали значительные колебания концентрации нитратов, что отражает как их активное потребление всеми видами фитопланктона вплоть до полного исчезновения, так и возможность поступления со стоком с суши. При этом средний уровень содержания DIN в бухте Парис в 2015 г. был ниже, чем в 2014 г. (рис. 4, Б), в соответствии с большей биомассой фитопланктона (см. рис. 2).

Сезонная изменчивость содержания фосфатов в водах исследуемой акватории определяется в первую очередь их поступлением за счет конвективного перемешивания и адвекции вод внешней части зал. Петра Великого, содержащих 0,8–0,9 $\mu\text{M}/\text{л}$ DIP [Лучин и др., 2005; Звалинский и др., 2013]. Этот процесс доминирует во второй половине осени и в начале зимы, в результате чего концентрация фосфатов в бухте Парис повышается в это время до 0,5–0,7 $\mu\text{M}/\text{л}$. Во второй половине зимы содержание DIP снижается за счет потребления фитопланктоном вплоть до аналитического нуля и продолжает оставаться пониженным вплоть до осени (рис. 4, В). При этом летом 2015 г., когда плотность фитопланктона была выше, чем летом 2014 г. (рис. 2), концентрация фосфатов была соответственно меньше. Снижение концентрации DIP в летнее время отмечалось для прибрежных вод северо-западной части Японского моря и ранее [Звалинский и др., 2008; Шулькин и др., 2013].

Таким образом, общая схема сезонной изменчивости концентрации биогенных элементов в бухте Парис в 2014–2015 гг. сохранялась, несмотря на значительную раз-

ницу величины стока с суши. Оба года определяющее влияние на сезонные изменения концентрации фосфатов и нитратов оказывало их поступление с водами открытой части залива и потребление фитопланктоном. Сезонность концентрации силикатов контролировалась, кроме того, стоком с суши.

Другим фактором, требующим упоминания, является «цветение» воды, обусловленное массовым развитием фитопланктона ранней весной, и последующее отмирание клеток микроводорослей, когда в результате деструктивных процессов происходит увеличение содержания основных биогенных элементов: органического фосфора, растворенного кремния и неорганического азота (рис. 4).

Заключение

Исследование фитопланктона и концентрации биогенных элементов в бухте Парис показало, что воды акватории не подвержены антропогенному загрязнению, содержание морских млекопитающих также не оказывало явного влияния на изученные показатели. «Цветение» воды, обусловленное массовым развитием микроводорослей, было отмечено единожды. Пики плотности микроводорослей в разные годы исследования различались. Пики концентрации хлорофилла «а» отмечали в схожие периоды 2014 и 2015 гг. В большинстве случаев максимумы концентрации хлорофилла «а» совпадали с пиками плотности диатомового планктона. В то же время зимой 2015 г. максимум хлорофилла «а» был, возможно, обусловлен развитием пикопланктона, не идентифицируемого под световым микроскопом.

Сравнение параметров между годами исследования показало отсутствие единого тренда среди компонентных характеристик микроводорослей, что, возможно, связано с коротким периодом исследования. Однако для биогенных элементов, концентраций хлорофилла «а» и гидрохимических параметров среды отмечали схожую картину развития в 2014 и 2015 гг. Для детального изучения степени воздействия содержания морских млекопитающих на акваторию бухты Парис необходимо проведение дальнейшего мониторинга.

Благодарности

Искренне признательны руководителю И.В. Дюйзен и сотрудникам Центра коллективного пользования Приморского океанариума за предоставленную возможность использования оборудования при выполнении исследования.

Финансирование

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы «Динамика морских экосистем в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия» (№ 0268-2018-0003). Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-04-00752.

Соблюдение этических стандартов

Данные исследования выполнены без использования животных или людей в качестве объектов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

О.Г. Шевченко — генерация идеи исследования, сбор и обработка проб фитопланктона, анализ полученных данных, критический пересмотр текста статьи; К.О. Тевс — обработка проб хлорофилла «а», анализ полученных данных, написание текста статьи; В.М. Шулькин — обработка, анализ и интерпретация гидрохимических данных, написание текста статьи.

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.
- Азмухаметова Л.М., Кошкин С.А.** Пространственно-временные особенности распределения силикатов в водах залива Петра Великого // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — 2016. — Т. 37. — С. 3–12.
- Винокурова Т.Т.** О сезонной и краткопериодной изменчивости гидрологических характеристик в заливе Петра Великого // Изв. ТИНРО. — 1977. — Т. 101. — С. 7–12.
- Ермолаев В.И.** Водоросли и их роль в экосистеме водоемов // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге : мат-лы 2-й всерос. науч.-практ. конф. — Сыктывкар : Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2009. — С. 74–76.
- Звалинский В.И., Марьяш А.А., Тищенко П.Я., Швецова М.Г.** Хлорофилл и биогенные элементы в эстуарии реки Раздольной в период ледостава 2006–2007 гг. // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. — М. : ГЕОС, 2008. — С. 184–199.
- Звалинский В.И., Тищенко П.П., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я.** Эвтрофикация зал. Петра Великого // Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана : в 2 кн. / гл. ред. В.А. Акуличев. — Владивосток : Дальнаука, 2013. — Кн. 1. — С. 260–293.
- Зуенко Ю.И., Надточий В.В., Селина М.С.** Гидрологические процессы и сукцессия планктона в прибрежной зоне Японского моря в летний период // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 135. — С. 144–177.
- Зуенко Ю.И., Рачков В.И.** Климатические изменения температуры, солености и концентраций биогенных элементов в Амурском заливе Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 183. — С. 186–199.
- Киселев И.А.** Планктон морей и континентальных водоемов. Т. 2: Распределение, сезонная динамика, питание и значение : моногр. — Л. : Наука, 1980. — 440 с.
- Коновалова Г.В.** Сезонная характеристика фитопланктона в Амурском заливе Японского моря // Океанол. — 1972. — Т. 12, № 1. — С. 123–128.
- Лебедева М.И.** Аналитическая химия и физико-химические методы анализа : учеб. пособие. — Тамбов : ТГТУ, 2005. — 216 с.
- Лучин В.А., Тихомирова Е.А., Крutz А.А.** Океанографический режим вод залива Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 140. — С. 130–169.
- Мордасова Н.В.** Косвенная оценка продуктивности вод по содержанию хлорофилла // Тр. ВНИРО. — 2014. — Т. 152. — С. 41–56.
- Морозова Т.В., Орлова Т.Ю.** Мониторинг фитопланктона в районе хозяйства марикультуры в заливе Восток Японского моря // Биол. моря. — 2005. — Т. 31, № 1. — С. 11–16.
- Морозова Т.В., Орлова Т.Ю., Селина М.С.** Фитопланктон в районе хозяйства марикультуры бухты Миносок залива Посъета Японского моря // Биол. моря. — 2002. — Т. 28, № 2. — С. 107–112.
- 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.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений** / под ред. В.А. Абакумова. — Л. : Гидрометеоиздат, 1983. — 239 с.
- Стельмах Л.В.** Вклад пикопланктона в первичную продукцию и содержание хлорофилла «а» в эвтрофных водах на примере Севастопольской бухты // Океанол. — 1988. — Т. 28, № 1. — С. 127–132.
- Суханова И.Н.** Концентрирование фитопланктона в пробе // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. — М. : Наука, 1983. — С. 97–105.
- Федоров В.Д.** Изменения в природных биологических системах : моногр. — М. : РАТС, 2004. — 366 с.
- Цхай Ж.Р.** Анализ сезонных вариаций концентрации хлорофилла-а методом естественных ортогональных функций в Охотском море по спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса. — 2007. — № 6. — С. 37–45.
- 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.

- Carstensen J., Klais R., Cloern J.E.** Phytoplankton blooms in estuarine and coastal waters: Seasonal patterns and key species // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. — 2015. — Vol. 162. — P. 98–109. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.05.005.
- Colijn F.** Changes in plankton communities: when, where and why? // *ICES Mar. Sci. Symp.* — 1992. — Vol. 195. — P. 193–212.
- 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 and Shelf Science*. — 2008. — Vol. 76, Iss. 3. — P. 642–656. DOI: 10.1016/j.ecss.2007.07.043.
- Grasshoff K., Ehrhardt M., Kremling K.** *Methods of Seawater Analysis*. 2nd ed. — Weinheim/Deerfield Beach, Florida : Verlag Chemie, 1983. — 419 p.
- Hoppenrath M., Elbrächter M., Drebes G.** *Marine phytoplankton. Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt.* — Stuttgart : Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2009. — 264 p.
- Landsberg J.H.** The effects of harmful algal blooms on aquatic organisms // *J. Rev. Fish. Sci.* — 2002. — Vol. 10, № 2. — P. 113–390. DOI: 10.1080/20026491051695.
- Lefebvre K.A., Quakenbush L., Frame E. et al.** Prevalence of algal toxins in Alaskan marine mammals foraging in a changing arctic and subarctic environment // *Harmful Algae*. — 2016. — Vol. 55. — P. 13–24. DOI: 10.1016/j.hal.2016.01.007.
- Omura T., Iwataki M., Borja V.M. et al.** *Marine phytoplankton of the Western Pacific.* — Tokyo : Kouseisha Kouseikaku, 2012. — 160 p.
- Orlova T.Yu., Efimova K.V., Stonik I.V.** Morphology and molecular phylogeny of *Pseudohaptolina sorokinii* sp. nov. (Prymnesiales, Haptophyta) from the Sea of Japan, Russia // *Phycologia*. — 2016. — Vol. 55, Iss. 5. — P. 506–514. DOI: 10.2216/15-107.1.
- 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 and Coasts*. — 2012. — Vol. 35, № 6. — P. 1376–1392. DOI: 10.1007/s12237-012-9547-2.
- Platt T., Subba Rao D.V., Irwin B.** Photosynthesis of picoplankton in the oligotrophic ocean // *Nature*. — 1983. — Vol. 301. — P. 702–704.
- Qiu D., Huang L., Zhang J., Lin S.** Phytoplankton dynamics in and near the highly eutrophic Pearl River Estuary, South China Sea // *Contin. Shelf Res.* — 2010. — Vol. 30, № 2. — P. 177–186. DOI: 10.1016/j.csr.2009.10.015.
- Tomas C.R.** (Ed.) *Identifying marine phytoplankton.* — San Diego : Academic Press, 1997. — 858 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-693018-4.X5000-9>.
- Utermöhl H.** Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik // *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. — 1958. — Vol. 9. — P. 1–38.
- Van Beusekom J.E.E., Loebli 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. — Vol. 61, Iss. 1–2. — P. 26–33. DOI: 10.1016/j.seares.2008.06.005.
- 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 and Shelf Science*. — 2017. — Vol. 184. — P. 126–137. DOI: 10.1016/j.ecss.2016.10.031.
- Yamada M., Tsuruta A., Yoshida Y.** A list of phytoplankton as eutrophic level indicator // *Nippon Suisan Gakkaishi*. — 1980. — Vol. 46, № 12. — P. 1435–1438. DOI: 10.2331/suisan.46.1435.

References

- Abakumov, V.A.,** Water quality control by hydrobiological indicators in the system of the Hydrometeorological Service of the USSR, *Nauchnyye osnovy kontrolya kachestva poverkhnostnykh vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, pp. 93–100.
- Azmukhametova, L.M. and Koshkin, S.A.,** Space-time peculiarities of silicates distribution in the Peter the Great bay waters, *Nauchn. Tr. Dal'rybvtuza*, 2016, vol. 37, pp. 3–12.
- Vinokurova, T.T.,** Seasonal and short-period variations of hydrometric characteristics in Peter the Great Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1977, vol. 101, pp. 7–12.
- Ermolaev, V.I.,** Significance and functions of algae in water ecosystems, in *Mater. dokl. 2 Vseross. nauchn.-prakt. konf. "Vodorosli: problemy taksonomii, ekologii i ispolzovanie v monitoringe"* (Proc. 2nd Sci.-Pract. Conf. "The Algae: problems of taxonomy, ecology and use in the monitoring"), Syktyvkar: Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009, pp. 74–76.

Zvalinsky, V.I., Maryash, A.A., Tishchenko, P.Ya., and Shvetsova M.G., Chlorophyll and nutrients in the estuary of the Razdolnaya river during the ice-freezing period 2006–2007, in *Sovremennoe sostoyanie i tendentsii izmeneniya prirodnoi sredy zaliva Petra Velikogo Yaponskogo morya* (Current State and Trends in the Natural Environment of Peter the Great Bay, Sea of Japan), Moscow: GEOS, 2008, pp. 184–199.

Zvalinskii, V.I., Tishchenko, P.P., Mikhailik, T.A., and Tishchenko, P.Ya., Eutrophication of Peter the Great Bay, in *Okeanologicheskie issledovaniya dal'nevostochnykh morei i severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana* (Oceanological Studies of the Far Eastern Seas and the Northwestern Pacific Ocean), 2 vols., Akulichev, V.A., ed., Vladivostok: Dal'nauka, 2013, vol. 1, pp. 260–293.

Zuenko, Yu.I., Nadtochy, V.V., and Selina, M.S., Oceanographic processes and plankton succession in the coastal zone of the Japan Sea in summer, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 135, pp. 144–177.

Zuenko, Yu.I. and Rachkov, V.I., Climatic changes of temperature, salinity and nutrients in the Amur Bay of the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 183, pp. 186–199.

Kiselev, I.A., *Plankton morey i kontinental'nykh vodoyemov. T. 2: Raspredeleniye, sezonnaya dinamika, pitaniye i znacheniiye* (Plankton of the seas and continental waters. Vol. 2: Distribution, seasonal dynamics, nutrition and value), Leningrad: Nauka, 1980.

Konovalova, G.V., Seasonal characteristics of phytoplankton in the Amursky Bay of the Sea of Japan, *Okeanol.*, 1972, vol. 12, no. 1, pp. 123–128.

Lebedeva, M.I., *Analiticheskaya himiya i fiziko-himicheskie metody analiza* (Analytical chemistry and physico-chemical methods of analysis), Tambov: Tamb. Gos. Tekhnic. Univ., 2005.

Luchin, V.A., Tikhomirova, E.A., and Kruts, A.A., Oceanographic regime of Peter the Great Bay (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 140, pp. 130–169.

Mordasova, N.V., Indirect assessment of water productivity by chlorophyll content, *Tr. Vseros. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 152, pp. 41–56.

Morozova, T.V. and Orlova, T.Yu., Monitoring of phytoplankton in the area of a sea farm in Vostok Bay (Sea of Japan), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2005, vol. 31, no. 1, pp. 1–6.

Morozova, T.V., Orlova, T.Yu., and Selina, M.S., Phytoplankton in the scallop culture area in Minonosok Bight (Pos'eta Bay, Sea of Japan), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2002, vol. 28, no. 2, pp. 94–99.

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.

Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverhnostnykh vod i donnykh otlozhenij (Guide to methods of hydrobiological analysis of surface water and bottom sediments), Abakumov, V.A., ed., Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983.

Stelmakh, L.V., The contribution of picoplankton to primary production and the content of chlorophyll “a” in eutrophic waters by the example of the Sevastopol bay, *Oceanology*, 1988, vol. 28, no. 1, pp. 127–132.

Sukhanova, I.N., Concentration of phytoplankton in a sample, *Sovremennye metody kolichestvennoi otsenki raspredeleniya morskogo planktona* (Modern Methods for Quantifying the Distribution of Marine Plankton), Moscow: Nauka, 1983, pp. 97–105.

Fedorov, V.D., *Izmeneniya v prirodnykh biologicheskikh sistemah* (Changes in natural biological systems), Moscow: RATS, 2004.

Tshay, Zh.R., Description of Seasonal Variability of Chlorophyll *a* Concentration by an Empirical Orthogonal Function Method in the Okhotsk Sea from SeaWiFS Satellite Data, *Earth Observation and Remote Sensing*, 2007, no. 6, pp. 37–45.

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.

Carstensen, J., Klais, R., and Cloern, J.E., Phytoplankton blooms in estuarine and coastal waters: Seasonal patterns and key species, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2015, vol. 162, pp. 98–109. doi 10.1016/j.ecss.2015.05.005

Colijn, F., Changes in plankton communities: when, where and why?, *ICES Mar. Sci. Symp.*, 1992, vol. 195, pp. 193–212.

Glé, C., Del Amo, Y., Sautour, B., Laborde, P., and Chardy, P., Variability of nutrients and phytoplankton primary production in a shallow macrotidal coastal ecosystem (Arcachon Bay, France), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, vol. 76, no. 3, pp. 642–656. doi 10.1016/j.ecss.2007.07.043

Grasshoff, K., Ehrhardt, M., and Kremling, K., *Methods of Seawater Analysis*, Weinheim/Deerfield Beach, Florida: Verlag Chemie, 1983, 2nd ed.

Hoppenrath, M., Elbrächter, M., and Drebes, G., *Marine phytoplankton. Selected micro-phytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt*, Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2009.

Landsberg, J.H., The effects of harmful algal blooms on aquatic organisms, *J. Rev. Fish. Sci.*, 2002, vol. 10, no. 2, pp. 113–390. doi 10.1080/20026491051695

Lefebvre, K.A., Quakenbush, L., Frame, E., Huntington, K.B, Sheffield, G., Stimmelmayer, R., Bryan, A., Kendrick, P., Ziel, H., Goldstein, T., Snyder, J.A., Gelatt, T., Gulland, F., Dickerson, B., Gill, V., Prevalence of algal toxins in Alaskan marine mammals foraging in a changing arctic and subarctic environment, *Harmful Algae*, 2016, vol. 55, pp. 13–24. doi 10.1016/j.hal.2016.01.007

Omura, T., Iwataki, M., Borja, V.M., Takayama, H., and Fukuyo, Y., *Marine phytoplankton of the Western Pacific*, Tokyo: Kouseisha Kouseikaku, 2012.

Orlova, T.Yu., Efimova, K.V., and Stonik, I.V., Morphology and molecular phylogeny of *Pseudohaptolina sorokinii* sp. nov. (Prymnesiales, Haptophyta) from the Sea of Japan, Russia, *Phycologia*, 2016, vol. 55, no. 5, pp. 506–514. doi 10.2216/15-107.1

Pieerls, B.L., Hall, N.S., and Paerl, H.W., Non-monotonic Responses of Phytoplankton Biomass Accumulation to Hydrologic Variability: A Comparison of Two Coastal Plain North Carolina Estuaries, *Estuaries and Coasts*, 2012, vol. 35, no. 6, pp. 1376–1392. doi 10.1007/s12237-012-9547-2

Platt, T., Subba Rao, D.V., and Irwin, B., Photosynthesis of picoplankton in the oligotrophic ocean, *Nature*, 1983, vol. 301, pp. 702–704.

Qiu, D., Huang, L., Zhang, J., and Lin, S., Phytoplankton dynamics in and near the highly eutrophic Pearl River Estuary, South China Sea, *Contin. Shelf Res.*, 2010, vol. 30, no. 2, pp. 177–186. doi 10.1016/j.csr.2009.10.015

Tomas, C.R., ed., *Identifying marine phytoplankton*, San Diego: Academic Press, 1997. doi <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-693018-4.X5000-9>

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

Van Beusekom, J.E.E., Loeb, M., and Martens, P., Distant riverine nutrient supply and local temperature drive the long-term phytoplankton development in a temperate coastal basin, *J. Sea Res.*, 2009, vol. 61, no. 1–2, pp. 26–33. doi 10.1016/j.seares.2008.06.005

Watanabe, K., Kasai, A., Fukuzaki, K., Ueno, M., and Yamashita, Y., Estuarine circulation-driven entrainment of oceanic nutrients fuels coastal phytoplankton in an open coastal system in Japan, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2017, vol. 184, pp. 126–137. doi 10.1016/j.ecss.2016.10.031

Yamada, M., Tsuruta, A., and Yoshida, Y., A list of phytoplankton as eutrophic level indicator, *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 1980, vol. 46, no. 12, pp. 1435–1438. doi 10.2331/suisan.46.1435

Поступила в редакцию 4.10.2019 г.

После доработки 13.12.2019 г.

Принята к публикации 20.02.2020 г.