

УДК 582.26:581.4

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И МОРФОЛОГИЯ ДИАТОМОВОЙ ВОДОРОСЛИ *THALASSIOSIRA NORDENSKIOELDII* CLEVE, 1873 (BACILLARIOPHYTA) В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ

© 2020 г. О. Г. Шевченко<sup>1, 2, \*</sup>, М. А. Шульгина<sup>1</sup>, В. М. Шулькин<sup>3</sup>, К. О. Тевс<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток 690087, Россия

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

<sup>4</sup>Дальневосточный государственный федеральный университет, Владивосток 690922, Россия

\*e-mail: 713553@mail.ru

Поступила в редакцию 25.06.2019 г.

После доработки 24.10.2019 г.

Принята к публикации 28.11.2019 г.

В результате многолетних исследований видового состава и численности фитопланктона в прибрежных водах зал. Петра Великого Японского моря изучена сезонная и межгодовая динамика обилия диатомовой водоросли *Thalassiosira nordenskioldii* Cleve, 1873. Вид доминировал в планктоне подо льдом зимой и ранней весной при температуре воды от  $-1.8$  до  $0^{\circ}\text{C}$  и при солёности 33.0–35.0‰. В многолетней динамике установлено снижение его роли в сообществе в 2005–2015 гг. по сравнению с 1970-ми годами вплоть до исчезновения из числа доминант зимне-весеннего планктона. Встречаемость клеток *T. nordenskioldii* в районе исследования в течение года и литературные данные свидетельствуют о тропическо-аркто-бореальном типе распределения микроводоросли. Установлена положительная корреляция между солёностью, содержанием органического вещества в воде и численностью *T. nordenskioldii*; отрицательная корреляция с концентрацией нитратов отражала истощение их запаса при массовом развитии этого вида.

**Ключевые слова:** фитопланктон, диатомовые водоросли, *Thalassiosira nordenskioldii*, морфология, многолетняя динамика, экология

DOI: 10.31857/S0134347520040063

Род *Thalassiosira* описан Клеве (Cleve, 1873) из Девисова пролива с определением вида *T. nordenskioldii*. Род был выделен по типу соединения клеток в гибкие цепочки посредством слизистого тяжа. К настоящему времени объединяет более 300 видов и внутривидовых таксонов, большинство из которых являются представителями морского планктона (Guiry, Guiry, 2012). В российских водах Японского моря идентифицирован 31 таксон *Thalassiosira*, среди них вид *T. nordenskioldii* отмечен на всей акватории, а в северо-западной части моря вызывает зимние и ранневесенние “цветения” воды в прибрежной зоне подо льдом или в открытой части (Пономарева, 1954; Зернова, 1980; Макарова, 1988; Шевченко и др., 2003). С декабря по март доля вида может составлять 70–90% от общей численности фитопланктона. В Мировом океане *T. nordenskioldii* являет-

ся одним из наиболее широко распространенных видов планктонных диатомовых водорослей в морях умеренных широт. Вызывает зимние и зимне-весенние “цветения” в водах прибрежной зоны северной Европы и Америки (Karentz, Smayda, 1984; Kristiansen et al., 2001; Smith et al., 2001; Henriksen, 2009). Типичная восьмиугольная форма створки со стороны пояса позволяет идентифицировать вид под световым микроскопом, в том числе и во время рутинных гидробиологических исследований. Простота идентификации, широкое распространение и доминирование среди планктонных микроводорослей обуславливают интерес исследователей к *T. nordenskioldii*. Большинство работ посвящено изучению морфологии вида (Mahood et al., 1986; Tremarin et al., 2008; Li et al., 2013; Park et al., 2016). Сезонная динамика количественных показателей *T. nordenski-*

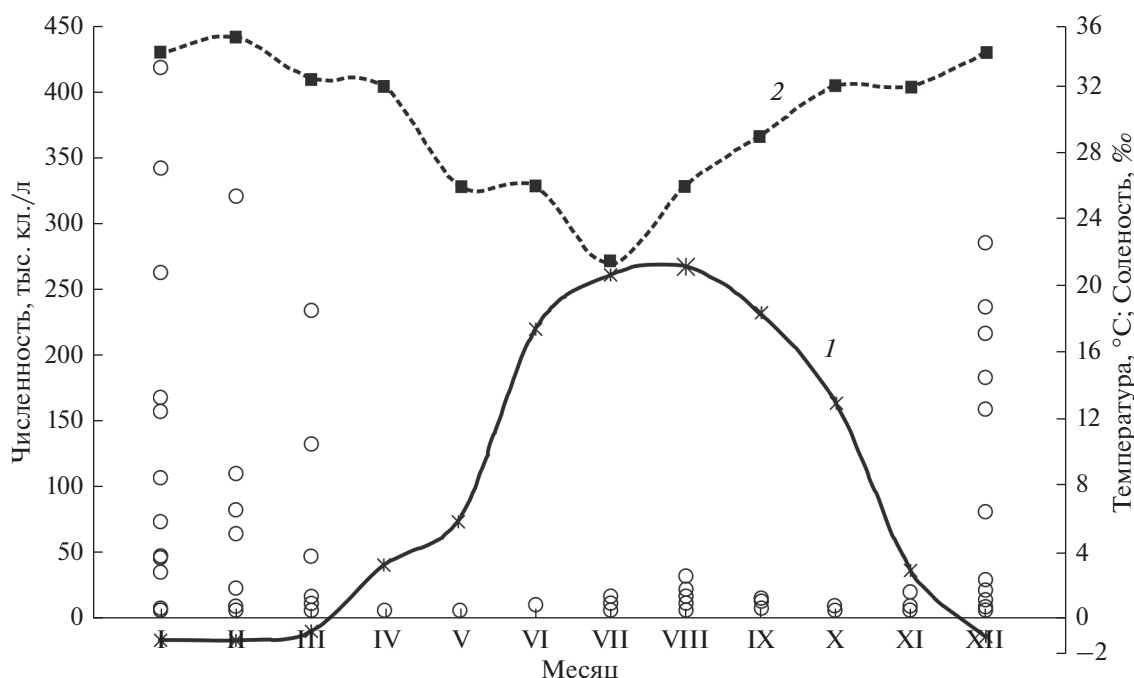


Рис. 1. Численность клеток *Thalassiosira nordenskiöldii* в планктоне (светлые кружки), среднесезонные значения температуры (1) и солёности (2) поверхностной воды в районе исследования.

*oeldii* приводится в составе общего фитопланктона; публикации, посвященные многолетним исследованиям динамики вида, единичны (Коновалова, 1987; Smith et al., 2001).

Цель настоящей работы — изучение сезонной и многолетней динамики численности и особенностей экологии *T. nordenskiöldii* в зал. Петра Великого Японского моря.

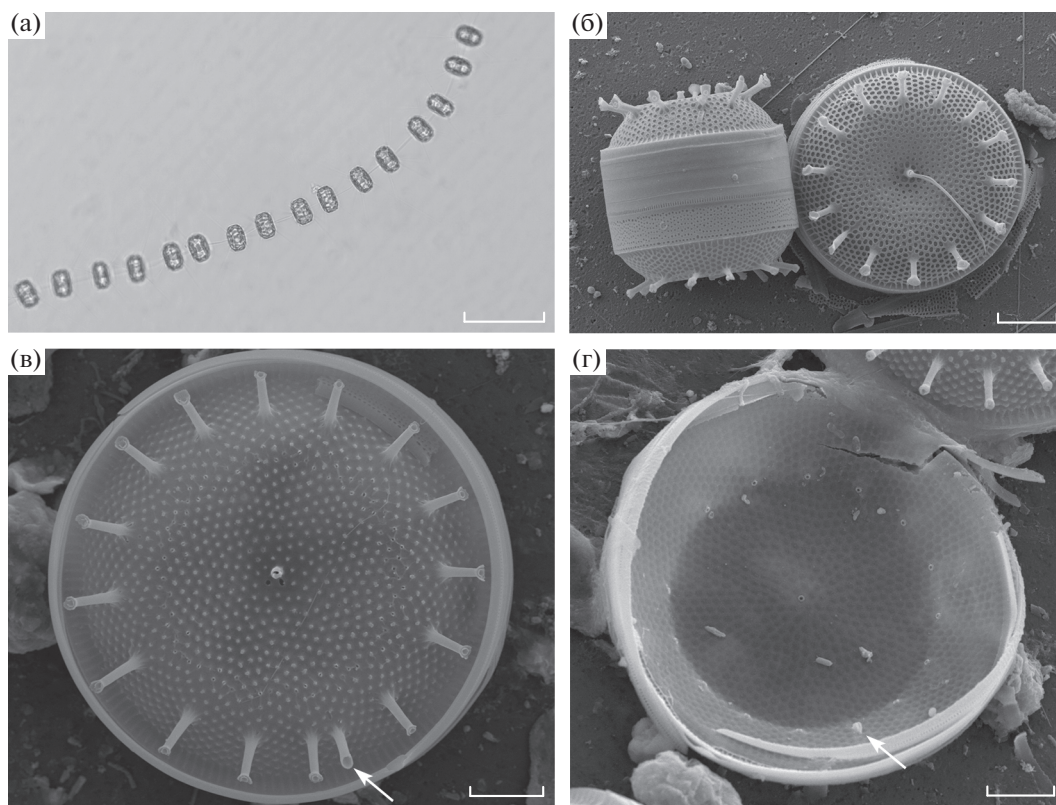
## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Пробы фитопланктона отбирали круглогодично в Амурском заливе (43°11'58" N, 131°54'57" E) с 2005 по 2015 г. и в б. Парис прол. Босфор–Восточный (43°00'44" N, 131°54'45" E) с 2013 по 2015 г. Исследованная акватория характеризуется сильными сезонными колебаниями параметров среды из-за муссонного климата. С апреля по сентябрь преобладают южные и юго-восточные ветры, с октября по март погоду определяют холодные и сухие воздушные массы сибирского антициклона. Смена атмосферной циркуляции в осенний период часто сопровождается локальными апвеллингами в прибрежных водах северо-западной части Японского моря (Юрасов и др., 2007). С глубинными водами к поверхности поступает значительное количество биогенных элементов, что обеспечивает возможность формирования в зал. Петра Великого зон интенсивного развития фитопланктона. По сравнению с Амурским заливом акватория б. Парис испытывает значительное

влияние вод зал. Петра Великого, так как расположена в более открытой его части. В осенне-зимний период происходит значительное охлаждение прибрежных мелководий с образованием в конце ноября ледяного покрова (Юрасов, Вилянская, 2008). Амурский залив и б. Парис с конца декабря до середины марта покрыты льдом толщиной 0.6–1.0 м (Григорьева, 2008). По оригинальным данным средние значения температуры и солёности воды в районе исследования варьировали от  $-1.8^{\circ}\text{C}$  и 35.0‰ зимой до  $6.0^{\circ}\text{C}$  и 25.0‰ весной (рис. 1).

Пробы фитопланктона отбирали два раза в месяц 5-литровым батометром Нискина с поверхностного горизонта. Один литр воды фиксировали раствором Утермея, затем концентрировали методом осаждения (Utermöhl, 1958). Численность клеток микроводорослей подсчитывали в счетной камере Нажотта объемом 0.05 мл (Федоров, 1979). Исследования проводили под световым микроскопом (СМ) Olympus BX 41. Тонкую структуру панциря *Thalassiosira nordenskiöldii* изучали под сканирующим электронным микроскопом (СЭМ) Carl Zeiss, Sigma 300. Препараты для СЭМ готовили посредством обезвоживания в этиловом спирте при разных разведениях (Truby, 1997).

“Цветение” водорослей рассматривали как их массовое развитие, при котором плотность клеток вида превышала  $10^6$  кл/л (Colijn, 1992). Доминирующим считали вид, численность которого



**Рис. 2.** *Thalassiosira nordenskiöldii*. а – клетки объединены в колонию, в каждой клетке многочисленные хлоропласты; б – общий вид клетки со стороны пояска (восьмиугольная форма) и со стороны створки (округлая форма); в – створка с краевыми выростами с опорами, стрелкой указан двугубый вырост; г – створка изнутри, стрелкой указан двугубый вырост. а – СМ, б–г – СЭМ. Масштаб: а – 40, б–г – 5 мкм.

составляла не менее 20% от общей численности всех видов в сообществе (Коновалова, 1984).

Одновременно с отбором проб микроводорослей отбирали воду для гидрохимических исследований в полиэтиленовые емкости с глубины 0.3–0.5 м. Воду фильтровали через капсульные фильтры Pall GWV с размером пор 0.45 мкм с последующим определением в фильтрах концентрации биогенных веществ (N, P, Si). Нефильтрованную аликвоту пробы использовали для кондуктометрического определения солености на приборе YSI, а также для оценки химического потребления кислорода (ХПК), которое отражает содержание органических веществ (COD), окисляемых  $\text{KMnO}_4$  в  $\text{H}_2\text{SO}_4$  по Скопинцеву (Шишкина, 1974). Кроме этого 2 л пробы фильтровали через предварительно взвешенный мембранный фильтр Millipore с размером пор 0.45 мкм для определения содержания в воде взвеси (SS).

Концентрацию нитритов, нитратов, их суммы (DIN), фосфатов (DIP) и растворенных силикатов (DSi) определяли стандартными спектрофотометрическими методами (РД 52.10.738–2010; РД 52.10.745–2010; РД 52.10.744–2010), совпадающими с международными (Methods..., 1983). Рас-

творенные органические формы фосфора (DOP) определяли как фосфаты после окисления фильтрованных проб воды кипячением с персульфатом К (РД 52.10.739–2010).

Статистическую оценку различий сезонного распределения гидрохимических параметров среды и количественных характеристик фитопланктона проводили с использованием непараметрического критерия Манна–Уитни в среде Minitab Statistical Software 14. Различие считали значимым при  $p < 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В 2005–2015 гг. в фитопланктоне прибрежных вод зал. Петра Великого Японского моря отмечено круглогодичное присутствие диатомовой водоросли *Thalassiosira nordenskiöldii*. На основании данных световой и электронной микроскопии составлено описание вида (рис. 2).

**СМ.** Клетки собраны с помощью тонкого центрального тяжа в колонию до 32 клеток. Панцирь со стороны створки округлой формы, 15–37 мкм в диаметре, со стороны пояска восьмиугольной

формы, 10–21 мкм шириной. Хлоропласты мелкие, многочисленные (рис. 2а).

**СЭМ.** Створки выпуклые, в центре с углублением, в котором размещен один крупный вырост. Ареолы расположены в радиальных рядах, 14–20 в 10 мкм; форамены ареол округлой формы (рис. 2б). В центре створки вырост окружен ареолами большего размера. Загиб створки высокий, с ареолами в вертикальных рядах. На загибе створки кольцо краевых выростов с опорами (2–4 в 10 мкм), направленных от центра к периферии (рис. 2б, 2в). На лицевой части створки краевые выросты в виде длинной трубки, окаймленной воронкой в дистальной части. Двугубый вырост расположен в кольце краевых выростов; на лицевой части створки в виде трубки, по размерам схожей с краевыми выростами, без воронки (рис. 2в). С внутренней стороны створки двугубый вырост ориентирован радиально (рис. 2г).

Изучение обилия фитопланктона показало, что интенсивная вегетация *T. nordenskioldii* происходила подо льдом при температуре поверхностного слоя воды от  $-1.8$  до  $0^{\circ}\text{C}$  и при солёности 33.0–35.0‰; в теплый сезон колонии наблюдали в планктоне редко (рис. 1). В зимне-весенний период 2005–2010 гг. доля клеток *T. nordenskioldii* достигала 94% в сообществе в Амурском заливе и 98% в б. Парис. В летний период доля микроводоросли не превышала 2%.

В Амурском заливе динамика численности *T. nordenskioldii* характеризовалась одним или двумя пиками. Максимум обилия (412.8 тыс. кл/л) зарегистрирован в конце января 2010 г. С декабря 2010 г. плотность *T. nordenskioldii* в Амурском заливе не превышала 50 тыс. кл/л во время однократных зимних пиков (рис. 3а). С 2013 г. вид не доминировал в фитопланктоне залива. В б. Парис для этого же периода отмечали следующую динамику численности: 2013 г. – плотность микроводоросли не превышала 20 тыс. кл/л, 2014 г. – вид определял весеннее “цветение” фитопланктона, 2015 г. – вид отсутствовал в планктоне бухты (рис. 3б). На протяжении всего периода исследования “цветение” воды, обусловленное развитием *T. nordenskioldii*, отмечали однократно в марте 2014 г. в б. Парис; плотность вида составляла 1490.7 тыс. кл/л (рис. 3).

Анализ корреляции между количественными показателями обилия *T. nordenskioldii* и гидрохимическими условиями среды выявил наличие положительной связи между численностью вида и солёностью поверхностного слоя воды ( $p = 0.026$ ), а также с количеством COD, оцененным по величине ХПК ( $p = 0.009$ ). Отмечена также отрицательная корреляция между численностью микроводоросли и DIN ( $p = 0.009$ ) (рис. 4). Корреляция между обилием *T. nordenskioldii*, температурой воды,

концентрацией биогенных элементов (Si, DIP, DOP) и взвешенных частиц SS отсутствовала.

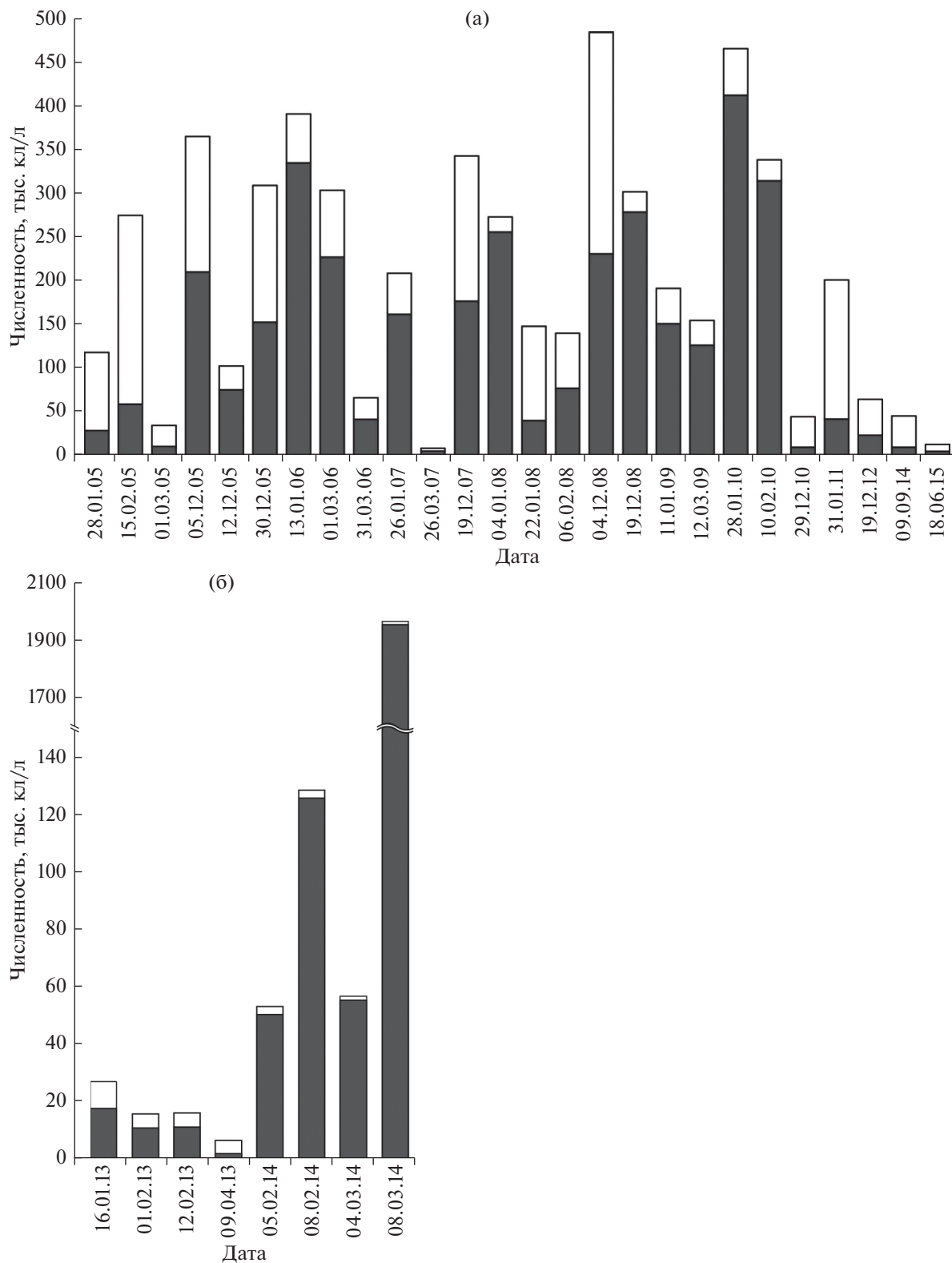
## ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных показал, что морфология клеток *Thalassiosira nordenskioldii* в районе исследования соответствует оригинальному описанию (Cleve, 1873) и согласуется с данными других исследователей (Mahood et al., 1986; Макарова, 1988; Li et al., 2013).

По литературным сведениям *T. nordenskioldii* является холодноводным аркто-бореальным видом (Макарова, 1988). Однако обнаружение микроводоросли у берегов Южной Кореи и юго-восточной Бразилии, в Желтом, Восточно-Китайском и Южно-Китайском морях ( $21^{\circ}$ – $25^{\circ}$  N) (Tremarin et al., 2008; Li et al., 2013; Park et al., 2016), а также в летний период в районе исследования в Японском море указывает на тропическо-аркто-бореальный тип распространения вида, согласно отечественной системе фитогеографического районирования (Беклемишев и др., 1977). Вегетация *T. nordenskioldii* в широком диапазоне температур подтверждает расширение границ его ареала. Так, в природных популяциях оптимум развития вида по нашим данным приходится на температуру воды  $-1.8$ – $0^{\circ}\text{C}$ , а по литературным сведениям на  $-1.7$ – $6^{\circ}\text{C}$  (Degerlund, Eilertsen, 2010), хотя известно, что в лабораторной культуре интенсивное развитие микроводоросли происходит при температуре до  $18^{\circ}\text{C}$  (Durbin, 1974; наши данные).

В зал. Петра Великого Японского моря *T. nordenskioldii* наиболее обилён в зимне-весенний период, что обусловлено характерными для этого времени года высокой солёностью воды и низкой температурой, благоприятными для развития микроводоросли. Корреляционные связи численности *T. nordenskioldii* с гидрохимическими параметрами среды отражают приуроченность массового развития микроводоросли к зимнему периоду, когда солёность вод наибольшая. Сходную корреляцию между солёностью воды и развитием *T. nordenskioldii* наблюдали в период “цветения” фитопланктона в водах северо-восточной Атлантики и Арктики ( $68^{\circ}$ – $80^{\circ}$  N) (Degerlund, Eilertsen, 2010). Температура воды является фактором, благоприятным для массового развития вида в зимне-весенний период, но не лимитирующим.

В начале зимы для вод района исследования характерны высокие показатели биогенных элементов (Шулькин и др., 2013; Shevchenko et al., 2018). Их уровень не служит фактором, лимитирующим численность *T. nordenskioldii* ни в районе исследования, ни в морях умеренной зоны Мирового океана (Degerlund, Eilertsen, 2010;



**Рис. 3.** Даты доминирования *Thalassiosira nordenskiöldii* в фитопланктоне Амурского залива (а) и б. Парис (б). Черные столбики – численность *T. nordenskiöldii*; белые столбики – численность клеток других видов сообщества.

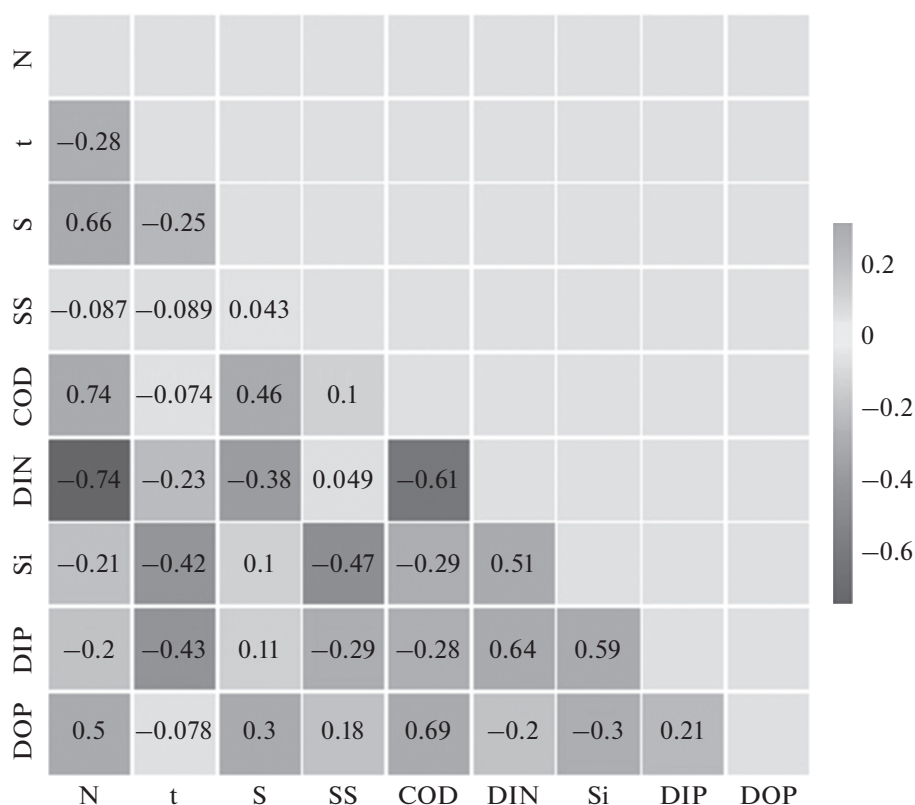


Рис. 4. Корреляционная матрица численности *Thalassiosira nordenskioldii* и параметров среды в районе исследования в 2013–2015 гг.

Flickinger, 2016). Наблюдали прямое влияние вегетации *T. nordenskioldii* на содержание органического вещества в воде. Показатель ХПК отражает содержание органического вещества в воде, поступающего в прибрежную зону моря со стоком с суши, а также синтезированного фитопланктоном. Поскольку максимумы численности *T. nordenskioldii* регистрируются преимущественно зимой, когда береговой сток незначительный, доминирующая роль фитопланктона в динамике ХПК наиболее вероятна. Обратная связь обилия микроводоросли с концентрацией нитратов, возможно, отражает истощение запаса нитратов при ее массовом развитии в зимний период.

С 1970-х годов *T. nordenskioldii* известен как вид, вызывающий “цветение” воды в зимне-весенний период в умеренных водах Мирового океана (Cleve, 1873; Smayda, 1957; Degerlund, Eilertsen, 2010). Уменьшение роли *T. nordenskioldii* в сообществе в 2000-х годах по сравнению с таковой в 1970-х годах прошлого века и в более ранний период отмечено в ряде исследований (Degerlund, Eilertsen, 2010; Flickinger, 2016). В некоторых районах, например, в зал. Наррагансетт (Атлантический океан, США), с 2014 г. зарегистрировано полное исчезновение вида (Flickinger, 2016). В северо-западной части Японского моря

зимнее “цветение” микроводоросли (плотность более 2.5 млн кл/л) наблюдали в 1950–70-х годах (Пономарева, 1954; Зернова, 1980; Коновалова, 1987). По нашим данным в многолетней динамике численности *T. nordenskioldii* в Амурском заливе после 2010 г. все реже стали проявляться пики развития. Только в б. Парис, расположенной в сравнительно открытой части зал. Петра Великого, в марте 2014 г. регистрировали “цветение” воды, обусловленное массовым развитием этой микроводоросли.

Многолетние круглогодичные наблюдения в зал. Петра Великого свидетельствуют о том, что с конца 2010 г. вид *T. nordenskioldii*, бывший еще в начале 2000-х годов одним из доминирующих видов зимне-весеннего сообщества в исследуемом районе Японского моря, утратил преобладающую роль, а с 2015 г. выпал из состава фитопланктона. Согласно полученным данным, развитие микроводоросли не лимитировали соленость и температура. Не отмечено корреляции между обилием микроводоросли и биогенными элементами, за исключением азота, снижение концентрации которого, возможно, было обусловлено ее массовым развитием. Изменения в составе традиционных для акватории видов-доминант на быстрорастущие виды-оппортунисты — это, по-видимому,

тенденция, связанная с глобальными процессами в Мировом океане (резкие колебания климата, acidification океана) (Cloern, Dufford, 2005; Litchman et al., 2007). На исследованной акватории в Амурском заливе и б. Парис в марте 2013 г. впервые зарегистрировано “цветение” воды, обусловленное новым для науки видом гаптофитовой водоросли *Pseudohaptolina sorokinii* (Orlova et al., 2016; Пономарева, Шевченко, 2016), тогда как численность *T. nordenskioeldii* была сравнительно невысокой. Вместе с тем не исключена многолетняя изменчивость межгодовой динамики численности *T. nordenskioeldii*, изучить которую можно только на основании более долговременных наблюдений.

### 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

- Беклемишев К.В., Парин Н.В., Семин И.В. Пелагиаль // Океанология. Биология океана. Биологическая структура океана. М.: Наука. 1977. Т. I. С. 219–262.
- Григорьева Н.И. Геоморфологические и гидрометеорологические характеристики северной части Амурского залива (основанные на данных 1960–1980 гг. и 2000–2005 гг.) // Экологические исследования и состояние экосистемы Амурского залива и эстуарной зоны реки Раздольной (Японское море). Владивосток: Дальнаука. 2008. Т. I. С. 44–60.
- Зернова В.В. Некоторые закономерности распределения фитопланктона в Японском море и прилегающих районах Тихого океана // Исследования планктона Японского моря. М.: ИО АН СССР. 1980. С. 15–29.
- Коновалова Г.В. Структура планктонного фитоценоза залива Восток Японского моря // Биол. моря. 1984. № 1. С. 13–23.
- Коновалова Г.В. Морфология и экология доминирующей планктонной диатомеи Японского моря *Thalassiosira nordenskioeldii* Cl. // Тр. ЗИН АН СССР. 1987. Т. 172. С. 39–45.
- Макарова И.В. Диатомовые водоросли морей СССР: род *Thalassiosira* Cl. Л.: Наука. 1988. 117 с.
- Пономарева Л.А. Зимний зоопланктон северной части Японского моря зимой // Тр. ИО АН СССР. 1954. Т. 9. С. 159–172.
- Пономарева А.А., Шевченко О.Г. Цветение гаптофитовой водоросли в районе содержания морских млекопитающих на открытой воде // Вода: химия, экология. 2016. № 12. С. 54–58.
- РД 52.10.738–2010. Массовая концентрация фосфатов в морских водах. Росгидромет. М. 2010. 28 с.
- РД 52.10.739–2010. Массовая концентрация общего фосфора в морских водах. Росгидромет. М. 2010. 29 с.
- РД 52.10.744–2010. Массовая концентрация кремния в морской воде. Росгидромет. М. 2010. 14 с.
- РД 52.10.745–2010. Массовая концентрация азота нитратного в морской воде. Росгидромет. М. 2010. 27 с.
- Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: МГУ. 1979. 167 с.
- Шевченко О.Г., Орлова Т.Ю., Стоник И.В. Новые для дальневосточных морей России виды *Thalassiosira* (Bacillariophyta) // Бот. журн. 2003. Т. 88. № 5. С. 152–155.
- Шишкина Л.А. Гидрохимия. Л.: Гидрометеиздат. 1974. 287 с.
- 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.
- 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.
- Юрасов Г.И., Вилянская Е.А. Характерные особенности осенне-зимнего апвеллинга в заливе Петра Великого // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М.: ГЕОС. 2008. С. 73–82.
- Cleve P.T. On diatoms from the Arctic Sea // K. Sven. Vetenskapsakad. Handl. 1873. V. 1. № 13. P. 1–28.
- Cloern J.E., Dufford R. Phytoplankton community ecology: principles applied in San Francisco Bay // Mar. Ecol.: Prog. Ser. 2005. V. 285. P. 11–28.
- Colijn F. Changes in plankton communities: when, where and why // ICES Mar. Sci. Symp. 1992. V. 195. P. 193–212.
- 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.
- Durbin E.G. Studies on the autecology of the marine diatom *Thalassiosira nordenskioeldii* Cleve. The influence of daylength, light intensity, and temperature on growth // J. Phycol. 1974. V. 10. P. 220–225.
- Flickinger S. *Thalassiosira* community composition and diversity in Narragansett Bay: Master’s thesis. Univ. of Rhode Island. 2016. 77 p.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2012. Algaebase. <http://www.algaebase.org>. Accessed 13 March 2019.
- Henriksen P. Long-term changes in phytoplankton in the Kattegat, the Belt Sea, the Sound and the western Baltic Sea // J. Sea Res. 2009. V. 61. P. 114–123.

- Karentz D., Smayda T.J. Temperature and seasonal occurrence patterns of 30 dominant phytoplankton species in Narragansett Bay over a 22-year period (1959–1980) // *Mar. Ecol.: Prog. Ser.* 1984. V. 18. P. 277–293.
- Kristiansen S., Farbrot T., Naustvoll L.-J. Spring bloom nutrient dynamics in the Oslofjord // *Mar. Ecol.: Prog. Ser.* 2001. V. 219. P. 41–49.
- Li Y., Zhao Q., Lü S. The genus *Thalassiosira* off the Guangdong coast, South China Sea // *Bot. Mar.* 2013. V. 56. № 1. P. 83–110.
- Litchman E., Klausmeier C.A., Schofield O.M., Falkowski P.G. The role of functional traits and trade-offs in structuring phytoplankton communities: scaling from cellular to ecosystem level // *Ecol. Lett.* 2007. V. 10. P. 1170–1181.
- Mahood A.D., Fryxell G.A., McMillan M. The diatom genus *Thalassiosira*: species from the San Francisco Bay system // *Proc. Calif. Acad. Sci.* 1986. V. 44. № 8. P. 127–156.
- Methods of seawater analysis / Eds K. Grasshoff, M. Erhardt, K. Kremling. Weinheim: Verlag Chemie. 1983. 419 p.
- Orlova T.Y., 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. V. 55. № 5. P. 506–514.
- Park J.S., Jung S.W., Lee S.D. et al. Species diversity of the genus *Thalassiosira* (Thalassiosirales, Bacillariophyta) in South Korea and its biogeographical distribution in the world // *Phycologia*. 2016. V. 55. № 4. P. 403–423.
- 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. P. 139–151.
- Smayda T.J. Phytoplankton studies in lower Narragansett Bay // *Limnol. Oceanogr.* 1957. V. 2. P. 342–359.
- Smith A.C., Martin J.L., Ehrman J.M., Kaczmarek I. Ten-year record of *Thalassiosira nordenskiöldii* population dynamics: comparison of aquaculture and non-aquaculture sites in the Quoddy Region // *ICES J. Mar. Sci.* 2001. V. 58. P. 391–397.
- Tremarin P.I., Ludwig T.A.V., Filho H.M. Thalassiosirales (Diatomeae) do rio Guaraguaçu, Bacia Litorânea, PR, Brasil // *Acta Bot. Bras.* 2008. V. 22. № 4. P. 1101–1113.
- 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 // *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. Mitt.* 1958. V. 9. P. 1–38.

## Long-Term Dynamics and Morphology of the Diatom *Thalassiosira nordenskiöldii* Cleve, 1873 (Bacillariophyta) from the Coastal Waters of Peter the Great Bay, Sea of Japan

O. G. Shevchenko<sup>a, b</sup>, M. A. Shulgina<sup>a</sup>, V. M. Shulkin<sup>c</sup>, and K. O. Tevs<sup>d</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 State Technical Fisheries University, Vladivostok 690087, Russia

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

<sup>d</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok 690922, Russia

The long-term study of the species composition and numbers of phytoplankton in the coastal waters of Peter the Great Bay, the Sea of Japan, revealed seasonal and year-to-year dynamics in the abundance of the diatom *Thalassiosira nordenskiöldii* Cleve, 1873. The species dominated the phytoplankton in winter and early spring, growing under the sea ice at a surface water temperature of  $-1.8$  to  $0^{\circ}\text{C}$  and a salinity of 33.0–35.0‰. The observations of long-term population dynamics of *T. nordenskiöldii* (2005–2015) showed a decline in its significance in the phytoplankton community, as compared to the 1970s, resulting in a complete loss of dominance in winter–spring plankton assemblages. The year-round occurrence of *T. nordenskiöldii* cells in the studied area, as well as data from the literature, indicate that the species has a tropical–arctic–boreal distribution. Positive correlations were found between the surface water salinity, the content of organic matter in seawater, and the abundance of *T. nordenskiöldii*. A negative relationship with nitrate concentration reflected a depletion of nitrates caused by the mass growth of *T. nordenskiöldii*.

**Keywords:** phytoplankton, diatoms, Bacillariophyta, *Thalassiosira nordenskiöldii*, morphology, long-term dynamics, ecology