

## Фитопланктон как показатель экологического состояния эстуария реки Невы, 2011–2015

В. Н. НИКУЛИНА

Зоологический институт РАН  
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 1  
E-mail: vera.nikulina@zin.ru

Статья поступила 11.07.2018

После доработки 25.10.2018

Принята к печати 30.10.2018

### АННОТАЦИЯ

В период исследований общий характер распределения, видовой состав и обилие фитопланктона отличались от тех, которые зафиксированы ранее. Наибольшие изменения наблюдались в центральной части северного побережья Невской губы. В Невской губе на восточной станции 7 северного побережья биомасса фитопланктона, как и прежде, составляла около  $1 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ , тогда как в районе ст. 12 в 2–3 раза превышала наблюдавшуюся ранее. В среднем в 2011–2015 гг. данный показатель в этом районе составил  $6,1 \pm 2,9 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ , что соответствует эвтрофному уровню продуктивности. Биомасса фитопланктона  $15,8 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ , отмеченная в конце июля 2015 г. при доминировании водорослей *Chlorophyta*, характеризует район Невской губы как высокоэвтрофный. При наблюдающихся процессах эвтрофирования в Невской губе и в восточной части Финского залива в летнем фитопланктоне (конец июля – начало августа) доминируют разные группы водорослей.

В наиболее продуктивном районе внутреннего эстуария (ст. 19) средняя биомасса составляла  $6\text{--}7 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ . Здесь же чаще всего отмечались периоды “цветения воды” цианобактериями при биомассе свыше  $22 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** фитопланктон, видовой состав, биомасса, эвтрофирование.

Бесприливный эстуарий р. Нева разделяется естественными и искусственными преградами на верхний (Невская губа) и нижний (восточная часть Финского залива) районы. Он испытывает сильное антропогенное воздействие, связанное с использованием побережья в качестве зоны отдыха, судоходства, проводимыми здесь многочисленными техногенными преобразованиями. Строительство сооружений защиты города от наводнений, новых портов, углубление судоходного канала и др. отражается на структуре и функционировании водорослей планктона. В период строительства комплекса защитных сооружений города

от наводнений постоянно велись наблюдения за гидробиологическими характеристиками на акватории Невской губы и восточной части Финского залива [Невская губа..., 1987; Шишкин и др., 1989; Экосистема..., 2008; Динамика..., 2012; и др.]. Основные строительные работы на комплексе защитных сооружений завершены в 2010 г., официальная церемония ввода в эксплуатацию произошла 12 августа 2011 г. Проведенные исследования преследовали цель оценить состояние экосистемы в существующей ситуации по фитопланктону при воздействии в настоящее время естественных и антропогенных факторов, определяющих функционирование экосистемы.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для данной работы служили сборы фитопланктона в период объездов по акватории эстуария в конце июля – начале августа. Предыдущими работами показано, что по фитопланктону этот период наиболее показателен для оценки экологического состояния системы [Nikulina, 2003]. Пробы отбирали из фотического слоя, равного двум прозрачностям. Воду отбирали батометром через каждый метр, сливали в одну емкость, перемешивали и помещали в склянки объемом 0,5 л, сразу же фиксировали раствором Люголя. При дальнейшем хранении проб добавляли формалин.

Определение видового состава и подсчет водорослей проводили в осадочных цилиндрах объемом 5–10 мл с использованием инвертированного микроскопа Hydro-Bios согласно методике Н. Utermöhl [1958], а также микроскопа БИМАМ с использованием камеры Нажотта. Биомассу рассчитывали общепринятым способом по суммарному объему клеток водорослей, принимая, что  $109 \text{ мкм}^3$  соответствует 1 мг сырой биомассы фитопланктона. К до-

минантам отнесены виды, численность и/или биомасса которых в тот или иной период превышали 10 % общей биомассы.

В Финском заливе принято выделять как эстуарий р. Невы – Невскую губу, внутренний и внешний эстуарии. В данной работе представлены результаты исследований в Невской губе и внутреннем эстуарии (рис. 1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В планктоне исследуемого района насчитывается более 200 видов и разновидностей водорослей. Достаточно полные их списки из эстуария р. Нева приведены в ранее опубликованных работах [Никулина, Анохина, 1987; Ланге, 2006; и др.]. Структурный состав доминирующих видов за все годы исследований остается относительно постоянным. Изменяется в основном количественное развитие отдельных представителей фитопланктона [Nikulina, 2003; Никулина, 2008].

Многолетнее изучение фитопланктона Невской губы показало, что акватория губы подразделяется согласно гидрологическому ре-

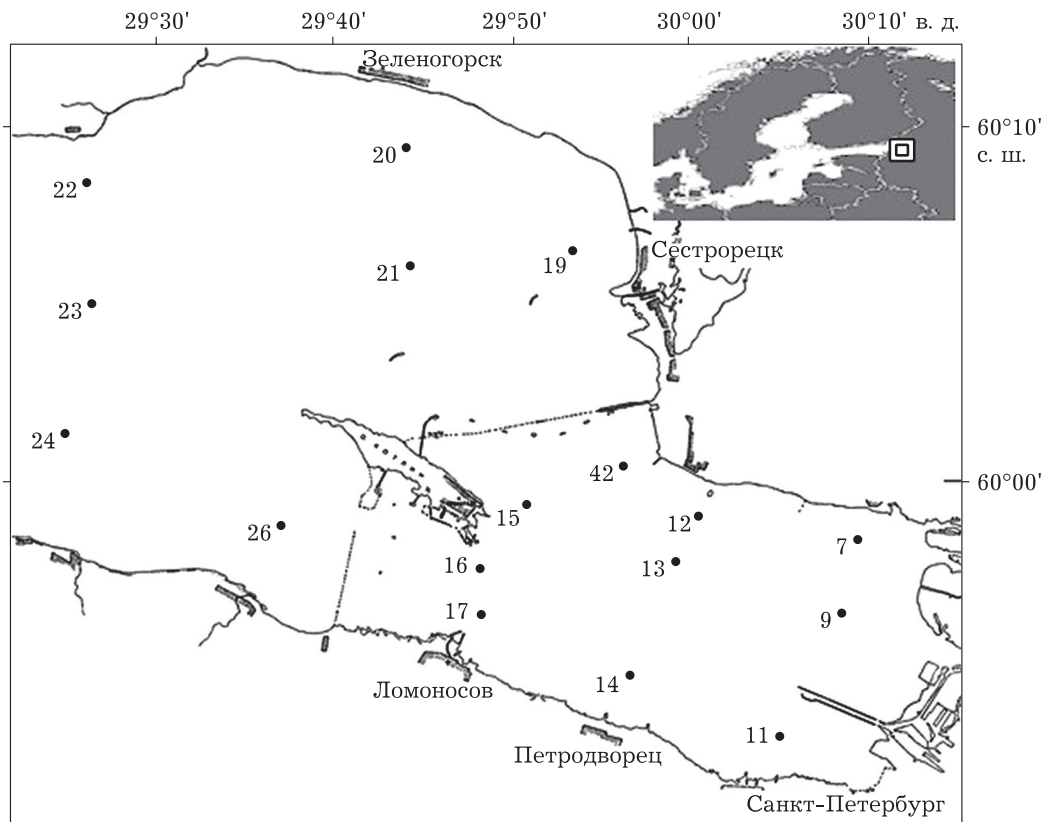


Рис. 1. Схема исследуемой акватории

жиму на центральную зону транзита невских вод с наибольшей скоростью стокового течения, северную и южную. По обилию водорослей планктона эти зоны всегда значительно различались [Никулина, 1987; Ланге, 2006]. В 2011–2015 гг. общий характер распределения, видовой состав и биомасса водорослей планктона несколько отличались от тех, которые наблюдались ранее. За весь период наблюдений биомасса фитопланктона в северной части Невской губы в летний период никогда не превышала  $1\text{--}2\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ . В последние годы на акватории северной зоны видовой состав и количественные показатели фитопланктона значительно изменились. Наибольшая неоднородность отмечена между восточной ст. 7, где биомасса фитопланктона, как и прежде, не превышала  $1\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ , и ст. 12, в середине северной зоны. В среднем за 2011–2015 гг. данный показатель в этом районе составил  $6,1 \pm 2,9\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ , что соответствует эвтрофному уровню продуктивности. По величине биомассы ( $15,8\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ ), наблюдавшейся в конце июля 2015 г., этот участок Невской губы следует характеризовать как высокоэвтрофный [Китаев, 1984, 2007; Бульон, 1993].

В центральной части губы (ст. 9, 13, 15) фитопланктон представлен несколько обедненным ладожским планктоном. Биомасса в летний период редко превышала  $2 \pm 0,33\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$  и только в западной зоне (ст. 15) иногда доходила до  $4\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ .

Южная часть губы всегда резко отличалась от основной акватории. В конце июля – начале августа отмечалось наибольшее разнообразие водорослей (до 60 видов в количественной пробе), где кроме ладожского планктона значительную долю составляли зеленые водоросли Chlorococcales, Desmidiiales, Euglenophyta, характерные для эвтрофных и мелководных водоемов прудового типа. В летний период 2011–2015 гг. эта зона губы характеризовалась как эвтрофная, биомасса в среднем составляла  $8 \pm 2\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$  (рис. 2).

Значительную долю в общей биомассе фитопланктона составляли водоросли Cryptophyta. Так, в 2014 г. их доля составляла от 50 до 79 %, при этом величина биомассы ( $13,8\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$  на ст. 17) характеризовала юго-западную часть губы как высокопродуктивную.

Внутренний эстуарий Финского залива по гидрологическим и гидробиологическим

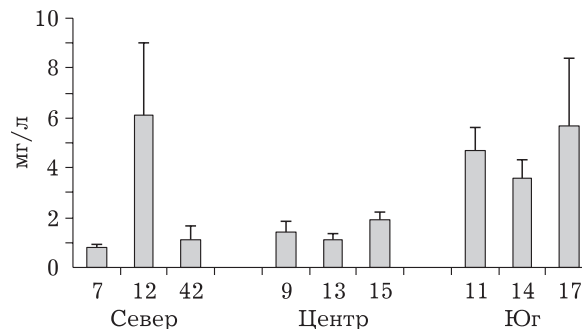


Рис. 2. Биомасса фитопланктона в Невской губе, 2011–2015 гг.

признакам разделен условно на курортный (ст. 19, 20, 21), переходный (ст. 23, 24) и южный (ст. 26) районы. По составу и количественному развитию отдельных видов фитопланктона эти участки весьма неоднородны. Общая биомасса водорослей планктона приведена на рис. 3.

С течением времени обилие фитопланктона изменяется, наиболее продуктивной становится северная курортная зона. Благодаря особым гидрологическим условиям, складывающимся в мелководном районе этой зоны Финского залива, фитопланктон представлен озерным комплексом, что особенно отчетливо проявляется в летне-осенний период. Здесь же чаще всего отмечаются периоды “цветения” воды цианобактериями. В 1990-х – начале 2000-х гг. в планктоне преобладали цианобактерии комплекса Oscillatoria. Высокой численности достигали нитчатые формы *Limnithrix planctonica* (Wolosz.) Meff., *Planktolyngbia limnetica* (W. West) Anagn. et Komarek. Доля этих видов в общей биомассе фитопланктона из-за небольшой ширины трихомов ( $1,5\text{--}2,5\text{ мкм}$ ) была незначительной.

В биомассе преобладал вид *Plankthotrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Komarek, также

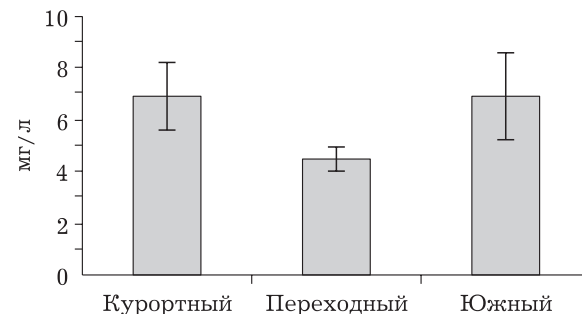


Рис. 3. Биомасса фитопланктона в восточной части Финского залива, 2011–2015 гг.

входящий в комплекс *Oscillatoria* [Никулина, 1996]. При этом из состава водорослей, вызывающих “цветение” воды, тогда совершенно исчез *Microcystis aeruginosa* Kütz. С 2011 г. этот вид опять постоянно присутствует в группе цианобактерий, даже когда «цветения» воды не наблюдается.

Многолетние наблюдения свидетельствуют, что, несмотря на возрастание летней биомассы, доля водорослей *Pl. agardhii*, показателя органического загрязнения, в общем комплексе фитопланктона снижается (рис. 4). Виды, способные вызывать поверхностное “цветение” воды – *Aphanizomenon flos-aquae* (Linné) Ralfs, *A. gracile* Lemm. *Anabaena flos-aquae* Bréb., *A. circinalis* Rabenh., *M. aeruginosa* и др., в последние годы довольно широко представлены в летне-осеннем комплексе планктона. Особенно сильное “цветение” воды наблюдалось в 2012 г. в районе ст. 19. Общая биомасса в этот период составляла более 22 мг·л<sup>-1</sup>. Такой уровень “цветения” может оцениваться как “экологически опасный” [Жукинский и др., 1976; Кривопалова, Танаева, 1985].

Значительные изменения произошли в курортном районе залива в летнем комплексе диатомовых водорослей. Многолетними исследованиями показано, что доля вида *Skeletonema subsalsum* (A. Cleve) Bethge в 1980-е гг. составляла около 50 % общей биомассы фитопланктона, а в 1990-е гг. сократилась почти до нуля или 5 %. Доля этих диатомовых стала увеличиваться с середины 2000-х гг. [Никулина, 2012]. По наблюдениям 2011–2015 гг. доминирующая роль в летнем планктоне диатомовых водорослей опять резко сократилась. В пробах, отобранных 21.07.2014, отмечено полное отсутствие диатомовых водорослей

*S. subsalsum* в фитопланктоне на акватории курортного и переходного районов.

В переходном районе внутреннего эстуария состав фитопланктона был представлен теми же видами, но значительно в меньшем количестве, биомасса составляла 1,4–2,3 мг·л<sup>-1</sup>, что соответствует слабomezотрофному уровню.

Состав фитопланктона в южной части (ст. 26) часто резко отличался от вышеназванных районов. Поскольку в этом районе проходит морской судопропускной канал, в планктоне практически всегда встречаются представители фито- и зоопланктона, относящиеся к солоноватому комплексу [Telesh, Nikulina, 1997]. В исследуемый период из-за проводимых гидротехнических работ в пробах отмечено много мелкой терригенной взвеси, общая биомасса составила 5,7 мг·л<sup>-1</sup>. Наибольшую долю в ней занимали диатомовые водоросли *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. Створки диатомовых водорослей, скорее всего, при проводимых работах оказались подняты из нижних слоев и даже из грунта в эвфотную зону.

Периодическое проведение гидротехнических работ в Невской губе и курортной зоне Финского залива значительно увеличивает мутность воды, что вызывает ингибирующее воздействие как на водоросли планктона, так и обрастаний [Eriksson, Johansson, 2005; Никулина, Губелит, 2012]. В то же время для некоторых групп водорослей, за счет вымывающихся из взмученного грунта биогенных элементов и органических веществ, наблюдается “эффект удобрения”. Особенно отмечено значительное развитие криптофитовых водорослей *Chroomonas acuta* Utermöl, *Cryptomonas erosa* Ehr., *Cr. marssonii* Skuja.

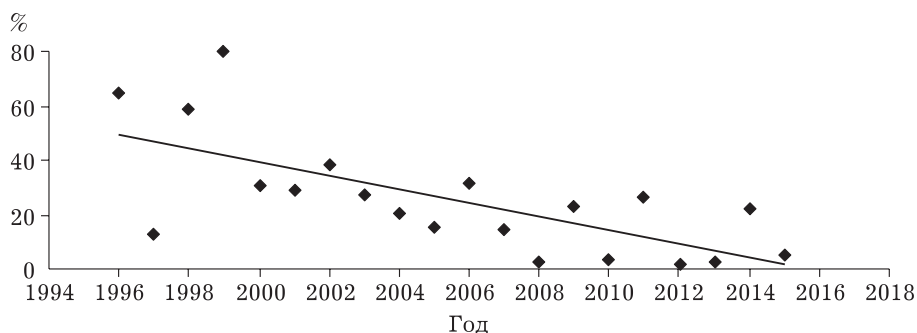


Рис. 4. Доля *Pl. agardhii* в общей биомассе фитопланктона с середины 1990-х по 2015 г.

Происходящие изменения в общем комплексе планктона некоторых доминирующих видов водорослей во многом связываются с постройкой очистных сооружений и снижением сброса неочищенных сточных вод, что не привело к сокращению количественных показателей фитопланктона, но отразилось на структурном составе водорослей. В условиях эстуария р. Нева эвтрофирование в разных частях сопровождается развитием различных групп водорослей. Наиболее обильное развитие фитопланктона в Невской губе в последние годы отмечается в районе ст. 12, а в Финском заливе – ст. 19. Очистка сточных вод привела к снижению органического вещества в водах эстуария, но при этом недостаточно снизила нагрузку биогенными элементами, главным образом общим фосфором.

Эвтрофирование эстуария р. Нева подтверждается не только возрастанием биомассы фитопланктона, но и высокой нагрузкой биогенными элементами, увеличением первичной продукции планктона [Golubkov et al., 2016] и массовым развитием в прибрежье нитчатых водорослей *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. [Nikulina, Gubelit, 2011].

В Невской губе в районе ст. 12 достаточно высокому типу трофии соответствовал и видовой состав водорослей планктона. При высоком индексе разнообразия Шеннона (3,8–4,0) в пробах преобладали зеленые хлорококковые водоросли – различные виды рода *Scenedesmus*, *Actinastrum hantzschii* Lagerh., *Coelastrum microporum* Näg., *Dictyosphaerium pulchellum* Wood и др.; эвгленовые – *Trachelomonas planctonica* Swir., *T. volvocina*, Ehr. *Eugle-*

*na acus* Ehr., криптофитовые и динофитовые – *Cryptomonas marssonii* Skuja, *Ceratium hirundinella* (O. F. M.). Доля зеленых водорослей в общей биомассе составляла около 50 %, цианобактерий – 4 % (рис. 5, а).

В курортной зоне Финского залива основная доля биомассы в 2011–2015 гг. представлена цианобактериями (рис. 5, б).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате полученных данных следует, что основным механизмом, регулирующим видовой состав фитопланктона, являлись гидрологические условия, наблюдающиеся в разных частях эстуария. Для развития цианобактерий, формирующих “цветение” воды, в Невской губе нет условий, благоприятных для их развития. Мелководность, активная ветровая деятельность, отсутствие кислородной и температурной стратификации создают условия, при несколько замедленной проточности перед глухими участками дамб, для развития зеленых и других групп водорослей.

В курортной зоне Финского залива в конце июля – начале августа обычно наблюдается прямая стратификация; при достаточном количестве биогенных элементов создаются условия для развития в эпилимнионе планктонных водорослей с преобладанием цианобактерий.

Автор выражает глубокую признательность д-ру биол. наук С. М. Голубкову и канд. биол. наук М. С. Голубкову за постоянный сбор полевых материалов для изучения фитопланктона.

Работа выполнена при поддержке гос. задания номер № АААА-А19-119020690091-0 “Исследова-

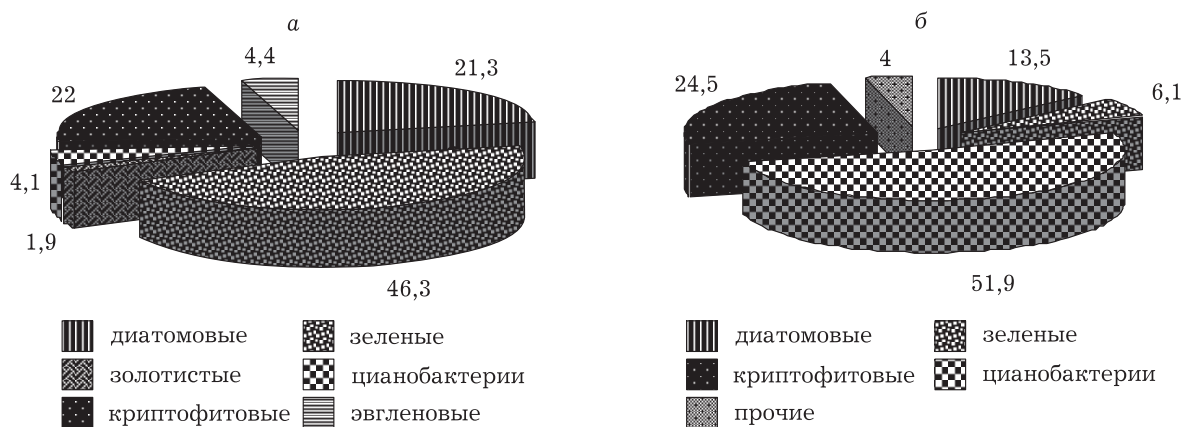


Рис. 5. Относительное значение различных отделов водорослей и цианобактерий в биомассе фитопланктона: а – Невская губа, ст. 12, б – Финский залив, ст. 19

ния биологического разнообразия и механизмов воздействия антропогенных и естественных факторов на структурно-функциональную организацию экосистем континентальных водоемов. Систематизация биоразнообразия соленых озер и неполносоленых внутренних морей в зоне критической солености, изучение роли солоноватоводных видов в экосистемах”.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бульон В. В. Первичная продукция и трофическая классификация водоемов // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 147–157.
- Динамика биологического разнообразия и биоресурсов континентальных водоемов / под ред. А. Ф. Алимова, С. М. Голубкова. СПб.: Наука, 2012. 367 с.
- Жукинский В. Н., Оксийок О. П., Цееб Я. Я., Георгиевский В. В. Проект унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков и ее применение для анализа качества вод // Гидробиол. журн. 1976. Т. 12, № 6. С. 103–111.
- Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Кар. НЦ РАН, 2007. 395 с.
- Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 206 с.
- Кривошолова З. Ф., Танаева Г. В. Временные методические указания по прогнозированию состояния фитопланктона в малых водохранилищах и проточных озерах Южного Урала. Челябинск, 1985. 29 с.
- Ланге Е. К. Анализ структурных показателей позднелетнего фитопланктона Невской губы за 90-летний период // Экологические аспекты воздействия строительства на биоту акватории восточной части Финского залива. СПб., 2006. Т. 1, вып. 331. С. 146–231. (Сб. науч. тр. ГОСНИОРХ).
- Невская губа. Гидробиологические исследования / под ред. Г. Г. Винберга, Б. Л. Гутельмахера. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. 216 с.
- Никулина В. Н. Динамика численности и биомассы фитопланктона // Невская губа, гидробиологические исследования Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. С. 20–29.
- Никулина В. Н. Водоросли планктона как показатель экологического состояния водоемов // Экологическое состояние водоемов и водотоков бассейна реки Невы. СПб.: Санкт-Петербург. науч. центр РАН, 1996. С. 13–35.
- Никулина В. Н. Фитопланктон эстуария реки Невы // Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы. СПб.; М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. С. 76–95.
- Никулина В. Н. Изменения видового состава и количественного развития водорослей планктона при антропогенном воздействии // Динамика биологического разнообразия и биоресурсов континентальных водоемов. СПб.: Наука, 2012. С. 145–155.
- Никулина В. Н., Анохина Л. Е. Флористический состав планктона и перифитона // Невская губа, гидробиологические исследования. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. С. 14–20.
- Никулина В. Н., Губелит Ю. И. Фитопланктон и фитобрастания восточной части Финского залива в последнее десятилетие в условиях антропогенного воздействия // Экологическая безопасность приморских регионов: мат-лы Междунар. конф., посвящ. 150-летию Н. М. Книповича. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2012. С. 170–174.
- Шишкин Б. А., Никулина В. Н., Максимов А. А., Силина Н. И. Основные характеристики биоты вершины Финского залива и ее роль в формировании качества воды. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 95 с.
- Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы / под ред. А. Ф. Алимова, С. М. Голубкова. СПб.; М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. 477 с.
- Eriksson B. K., Johansson G. Effects of sedimentation on macroalgae: species-specific responses are related to reproductive traits // *Oecologia*. 2005. Vol. 143. P. 438–448.
- Golubkov S., Golubkov M., Tiunov A., Nikulina V. Long-term changes in primary production and mineralization organic matter in the Neva Estuary (Baltic Sea) // *J. Marine Systems*. 2017. Vol. 171. P. 73–80.
- Nikulina Vera N. Seasonal dynamics of phytoplankton in the shallow zone of the eastern part of the Gulf of Finland in the 1980s and 1990s // *Oceanologia*. 2003. Vol. 45 (1). P. 25–39.
- Nikulina V. N., Gubelit Y. I. Cyanobacteria and macroalgae in ecosystem of the Neva estuary. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems // *ONEMA*. 2011. Vol. 402. P. 1–12. DOI: 10.1051/KMAE/2011049.
- Telesh I. V., Nikulina V. N. Water quality classification based on plankton communities // *Proc. Final Seminar of the Gulf of Finland Year 1996*. Helsinki, 1997. Vol. 105. P. 167–175.
- Utermöhl H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-methodik // *Mitt. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol*. 1958. Vol. 9. P. 1–38.

# Phytoplankton as an indicator ecological state of the Neva river estuary, 2011–2015

V. N. NIKULINA

*Zoological Institute of RAS  
199034, St. Petersburg, Universitetskaya emb., 1  
E-mail: vera.nikulina@zin.ru*

During the period of study it was discovered that the general distribution pattern of species, their structure and the amount of phytoplankton were different from those recorded earlier. The most changes have undergone in the central part of the northern coast of the Neva Bay. During the eutrophication of phytoplankton in summer (late July-early August) in the Neva Bay and in the eastern part of the Gulf of Finland different groups of algae may play a prevalent role. In the Neva Bay *Chlorophyta* predominated in the samples. In the resort zone of the Gulf of Finland, the main share of biomass in 2011–2015 was represented by cyanobacteria.

**Key words:** phytoplankton, species composition, biomass, eutrophication.