

ПЛАНКТОННАЯ АЛЬГОФЛОРА МАЛЫХ РЕК В УСЛОВИЯХ ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ РЕК МИРОЖКИ И ПСКОВЫ, Г. ПСКОВ, ПСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2023

Дрозденко Т.В.

Псковский государственный университет (г. Псков, Российская Федерация)

Аннотация. В статье представлены результаты исследований планктонной альгофлоры р. Мирожки и р. Псковы, выполненных в раннеосенний период 2019 г. Таксономический состав р. Мирожки включал 107 видовых и внутривидовых таксонов микроводорослей, р. Псковы – 76 видовых таксонов водорослей из 7 отделов: Bacillariophyta, Cyanobacteria, Chlorophyta, Ochrophyta, Cryptophyta, Euglenozoa, Miozoa. Основу флористического комплекса в обеих реках составляли диатомовые и зеленые водоросли. В видовое богатство альгофлоры р. Мирожки также видимый вклад вносили представители отдела Ochrophyta. Степень флористического сходства фитопланктонных сообществ рек Мирожки и Псковы, рассчитанная с помощью индекса Сьерсенена–Чекановского, составила 55,7% (общими для рек был 51 вид микроводорослей). Средняя численность фитопланктона в р. Мирожке составляла 891,9 тыс. кл./л, а в р. Пскове – 199,6 тыс. кл./л, биомасса – 366,9 мкг/л и 79,6 мкг/л соответственно. Согласно эколого-географическому анализу в обеих реках преобладали пресноводные широко распространенные планктонные формы микроводорослей, предпочитающие слабощелочные воды. По отношению к загрязнению органическими веществами в реках преобладали бета-мезосапробионты (38,5% – р. Мирожка; 41,8% – р. Пскова), что указывает на умеренную загрязненность исследуемых водотоков. Средний индекс сапробности р. Мирожки и р. Псковы составил 2,1 и 1,9 соответственно, что позволяет отнести воды исследуемых водотоков к 3 классу качества – умеренно загрязненным.

Ключевые слова: экологический мониторинг; биоиндикация; альгофлора; фитопланктон; таксономический состав; численность; биомасса; сапробность; качество воды; малые реки; Псковская область.

PLANKTONIC ALGOFLORA OF SMALL RIVERS IN URBAN CONDITIONS (ON THE EXAMPLE OF THE MIROZHKA AND PSKOVA RIVERS, PSKOV, THE PSKOV REGION)

© 2023

Drozdenco T.V.

Pskov State University (Pskov, Russian Federation)

Abstract. The paper studies the planktonic algaeflora of the Mirozhka and the Pskova Rivers. The research was carried out in the early autumn period of 2019. The taxonomic composition of the Mirozhka River included 107 species and intraspecific taxa of microalgae, the Pskova river – 76 species taxa of algae from 7 phylums: Bacillariophyta, Cyanobacteria, Chlorophyta, Ochrophyta, Cryptophyta, Euglenozoa, Miozoa. The basis of the floral complex in both rivers were diatoms and green algae. The representatives of the Ochrophyta department also made a visible contribution to the species richness of the algaeflora of the Mirozhka River. The degree of floral similarity of phytoplankton communities of the Mirozhka and Pskova rivers, calculated using the Sorensen-Chekanovsky index, was 55,7% (51 species of microalgae were common to the rivers). The average phytoplankton abundance in the Mirozhka River was 891,9 thousand cells/l, and in the Pskova river – 199,6 thousand cells/l, biomass – 366,9 micrograms/l and 79,6 micrograms/l, respectively. According to ecological and geographical analysis, freshwater widespread planktonic forms of microalgae predominated in both rivers, preferring slightly alkaline waters. Beta-mesosaprobionts prevailed in relation to organic matter pollution in rivers (38,5% – the Mirozhka River; 41,8% – the Pskova River), which indicates moderate pollution of the studied watercourses. The average saprobity index of the Mirozhka River and the Pskova River was 2,1 and 1,9, respectively, which makes it possible to attribute the waters of the studied watercourses to the 3rd class of quality – moderately polluted.

Keywords: ecological monitoring; bioindication; algaeflora; phytoplankton; taxonomic composition; abundance; biomass; saprobity; water quality; small rivers; Pskov Region.

Введение

Проблема экологического состояния водоемов и водотоков, находящихся полностью или частично в черте городов, остро стоит во многих странах, начиная со второй половины XX века [1–6]. Коснулся данный вопрос и отдельных регионов России, в том числе г. Пскова. В результате антропогенного пресса на городские водные экосистемы нарушается их равновесие, что способствует ухудшению качества воды [7].

В силу особенностей гидрологического режима, различной протяженности и пространственной конфигурации речные экосистемы на сегодняшний день недостаточно изучены, так как являются сложно организованными для мониторинга. Однако городские

водные объекты чаще всего подвергаются загрязнению, поэтому остро стоит проблема чистой воды, оценки качества водной среды и сохранения естественных природных ландшафтов.

Согласно опубликованным данным, порядка 2% городских водных объектов могут быть отнесены к условно чистым, а 80% в разной степени эвтрофированы и классифицируются как грязные [8].

Для целей гидробиологического мониторинга водоемов очень активно используется исследование фитопланктона. Планктонные водоросли – важная группа гидробионтов, основной первичный продуцент органического вещества. Являясь первым звеном в пастбищных цепях питания, микроводоросли

очень чувствительны к малейшему рода загрязнению водной среды, потому представляют собой удобный объект для определения экологического состояния водоемов. Особенности водных экосистем определяются видовым составом и количественными характеристиками планктонных водорослей, которые выступают надежными биоиндикаторами состояния природных вод [9–12].

Влияние человека на планктонную альгофлору городских водных объектов является обязательной частью гидробиологического мониторинга [4]. Исследование показателей развития фитопланктонных сообществ рек, протекающих в черте города, способствует пониманию закономерностей функционирования планктонных альгоценозов в условиях повышенного антропогенного воздействия, в силу чего актуальность подобных исследований не вызывает сомнения.

В городской среде особое внимание необходимо уделять малым рекам, так как именно они более чувствительны к локальным загрязнениям [13].

Река Мирожка – река длиной 6 км, текущая преимущественно с юга на север и в черте города впадающая в р. Великую. Из-за искусственного зарегулирования стока р. Мирожка представляет собой систему прудов, характеризующихся замедленным водообменом. Также река служит резервуаром бытовых стоков, а в устьевой части является местом массового поселения уток [13].

Река Пскова – более крупный приток р. Великой длиной 102 км. В устье реки расположен город Псков. На реке находятся ряд деревень, а также псковский микрорайон Любятново. Так же, как и р. Мирожка, р. Пскова является местом скопления уток.

Цель данной работы заключалась в исследовании структуры фитопланктонных сообществ р. Мирожки и р. Псковы, а также в оценке качества воды исследуемых водотоков по показателям развития фитопланктона.

Материалы и методы исследования

Отбор проб фитопланктона проводили в раннеосенний период (сентябрь) 2019 г. на р. Мирожке и р. Пскове, протекающих в черте г. Пскова (рис. 1).

Гидробиологический материал отбирали общепринятым способом и обрабатывали стандартными методами [14]. Систематическое положение идентифицированных водорослей уточняли, используя международный сайт *AlgaeBase* [15]. Сходства видового состава планктонных альгофлор двух рек проводили с использованием индекса Сьеренсена–Чекановского [16]. Индекс сапробности рассчитывали по методу Пантле–Букк [17]. Экологические особенности обнаруженных водорослей уточняли в тематической литературе [18; 19]. Класс чистоты вод устанавливали по интегральной эколого-санитарной классификации качества поверхностных вод [20].

В местах отбора проб фитопланктона проводили измерение температуры и pH воды (табл. 1).

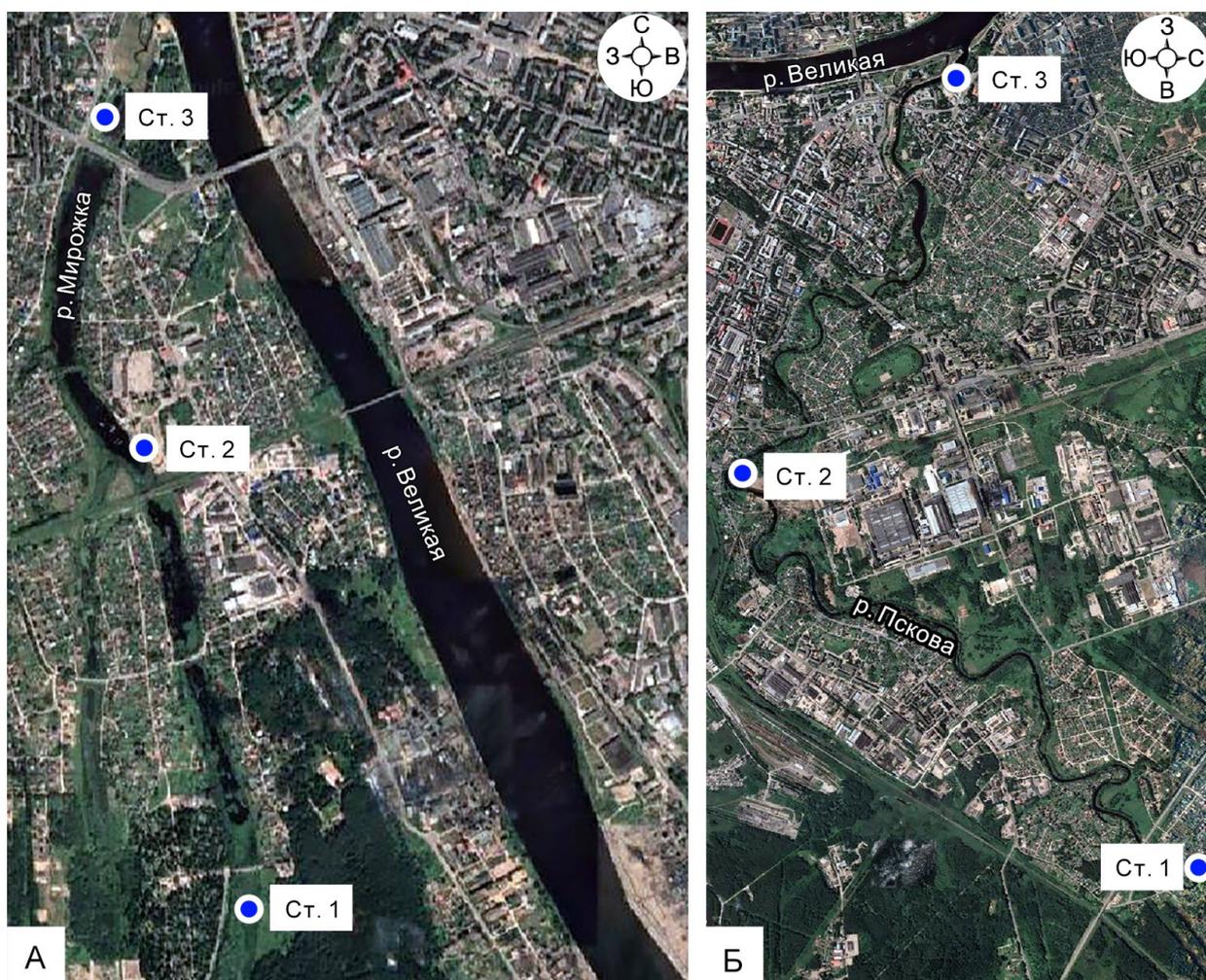


Рисунок 1 – Карта станций отбора проб фитопланктона в р. Мирожке (А) и р. Пскове (Б)

Таблица 1 – Значения температуры и pH воды исследуемых рек (сентябрь, 2019)

| Регистрируемые показатели | р. Мирожка | | | р. Пскова | | |
|---------------------------|------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | Ст. 1 | Ст. 2 | Ст. 3 | Ст. 1 | Ст. 2 | Ст. 3 |
| t, °C | 17,0 | 18,0 | 16,0 | 18,0 | 18,0 | 17,0 |
| pH | 7,5 | 7,6 | 7,5 | 7,9 | 7,9 | 8,0 |

Результаты и обсуждение

В сентябре 2019 г. в фитопланктоне р. Мирожки выявлено 107, а р. Псковы – 76 видовых и внутривидовых таксонов (ВВТ) водорослей, относящихся к 7 отделам: Bacillariophyta, Chlorophyta, Ochrophyta, Cryptophyta, Cyanobacteria, Euglenozoa, Miozoa (рис. 2).

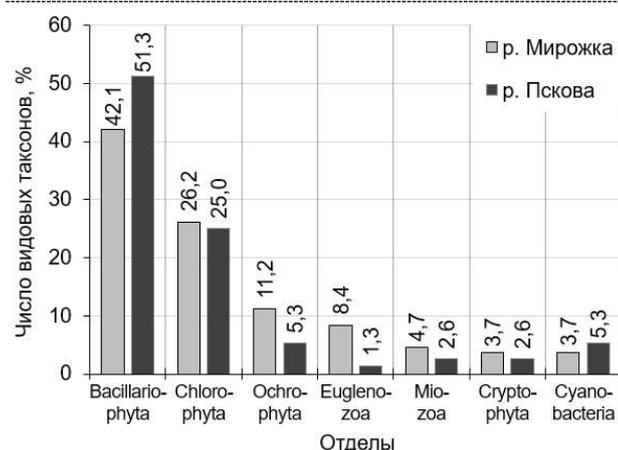


Рисунок 2 – Таксономический состав фитопланктона исследуемых рек

В обеих реках наибольшим количеством видов отличались отделы Bacillariophyta и Chlorophyta.

В р. Мирожке на ст. 1 зарегистрировано всего 32 видовых таксона фитопланктона из 5 отделов (табл. 2). Цианобактерий и динофитовых водорослей обнаружено не было. На ст. 2 и ст. 3 количество видов в фитопланктонных сообществах было в 2 раза выше, и они принадлежали к 7 отделам. Основу флористического комплекса составляли представители диатомовых и зеленых водорослей. Также видимый вклад в видовое богатство альгофлоры вносили охрофитовые водоросли.

В р. Пскове количество видов фитопланктона на исследованных станциях было практически на одном уровне – 44–45 видов (табл. 2). По видовой представленности доминировали отделы Bacillariophyta и Chlorophyta, составляя 77,8–90,9% от общего числа зарегистрированных видов. На ст. 3 не встречены представители отделов Miozoa и Euglenozoa.

Степень флористического сходства фитопланктонных сообществ рек Мирожки и Псковы, рассчитанная с помощью индекса Сьеренсена–Чекановского, составила 55,7% (общими для обеих рек был 51 вид микроводорослей).

Согласно количественному анализу средняя численность фитопланктона на исследованных станциях р. Мирожки составляла 935,2 тыс. кл./л (табл. 3). На ст. 1 зафиксирована минимальная численность микроводорослей – 154,8 тыс. кл./л. Доминантом по численности выступала диатомовая водоросль *Fragilaria*

capucina Desmazieres (24,2% от общего количества). Также заметный вклад в общую численность вносили диатомовые водоросли *Planothidium lanceolatum* (Brebisson ex Kutzing) Lange-Bertalot (8,06%), *Cocconeis placentula* Ehrenberg, золотистые водоросли *Dinobryon divergens* O.E. Imhof, *D. sertularia* Ehrenberg, *Kephyrion moniliferum* (Gerlinde Schmid) Bourrelly (по 6,45%), а также зеленая водоросль *Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald (6,45%).

Численность микроводорослей на ст. 2 составляла 784,8 тыс. кл./л (табл. 3). Доминантами по численности являлись *Ulnaria acus* (Kutzing) Aboal (17,7% от общей численности) и *Micractinium pusillum* Fresenius (10,4%), относящиеся к отделам Bacillariophyta и Chlorophyta соответственно. Среди субдоминант отмечались виды из отдела Ochrophyta – *Synura echinulata* Korshikov (6,12%) и *Dinobryon divergens* (5,2%).

Численность микроводорослей в устье р. Мирожки (ст. 3) была наибольшей и составляла 1866 тыс. кл./л (табл. 3). Максимальный вклад вносили золотистая водоросль *Synura echinulata* (46,6%), а также диатомовая *Fragilaria capucina* (12,9%). Порядка 6,0% в общей численности фитопланктона приходилось на зеленую водоросль *Desmodesmus communis*.

Средняя численность фитопланктона в р. Пскове была в 4,7 раз меньше, чем в р. Мирожке, и составляла 199,6 тыс. кл./л (табл. 3). На ст. 1 численность микроводорослей, по сравнению с другими станциями, была самой высокой – 263,2 тыс. кл./л. Абсолютным доминантом выступала цианобактерия *Woronichinia compacta* (Lemmermann) Komarek & Hindak (48,6% от общей численности). Среди субдоминант отмечались цианобактерия *Aphanocapsa delicatissima* West & G.S. West (9,1%), зеленая водоросль *Desmodesmus communis* (7,3%) и диатомовая *Fragilaria capucina* (6,1%).

Значения численности микроводорослей на ст. 2 и ст. 3 были близкими и составляли 173,3 тыс. кл./л и 162,3 тыс. кл./л соответственно. Наибольший вклад в численность на обеих станциях, как и на ст. 1, вносила цианобактерия *Woronichinia compacta* (30,8–42,3%). Кроме того, ощутимую роль в численности на ст. 2 играла зеленая водоросль *Coelastrum microporum* Nägeli (18,5%), а на ст. 3 – *Desmodesmus communis* (7,0%).

Общая биомасса в исследованных реках в осенний период была невысокой. Показатели биомассы фитопланктона в р. Мирожке изменялись от истока к устью: от 55,8 мкг/л на ст. 1 до 726,4 мкг/л на ст. 3. Среднее значение биомассы фитопланктона на исследованной акватории составило 366,9 мкг/л. Биомасса микроводорослей в р. Пскове колебалась от 162,3 мкг/л на ст. 3 до 263,2 мкг/л на ст. 1 при среднем по акватории значении 199,6 мкг/л. Наибольший вклад в биомассу вносили крупноклеточные представители диатомовых водорослей родов *Caloneis*, *Cymbella*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Ulnaria*.

Таблица 2 – Таксономический состав фитопланктона исследованных станций р. Мирожки и р. Псковы

| Отделы | р. Мирожка | | | | | | р. Пскова | | | | | |
|-----------------|------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| | Ст. 1. | | Ст. 2. | | Ст. 3. | | Ст. 1. | | Ст. 2. | | Ст. 3. | |
| | абс., шт. | отн., % | абс., шт. | отн., % | абс., шт. | отн., % | абс., шт. | отн., % | абс., шт. | отн., % | абс., шт. | отн., % |
| Bacillariophyta | 16 | 50,0 | 20 | 29,8 | 38 | 57,6 | 25 | 55,6 | 19 | 42,2 | 25 | 56,8 |
| Chlorophyta | 8 | 25,0 | 24 | 35,8 | 10 | 15,2 | 12 | 26,7 | 16 | 35,6 | 15 | 34,1 |
| Cyanobacteria | – | – | 3 | 4,5 | 2 | 3,0 | 3 | 6,7 | 2 | 4,4 | 1 | 2,3 |
| Ochrophyta | 4 | 12,5 | 10 | 14,9 | 6 | 9,0 | 2 | 4,4 | 3 | 6,7 | 2 | 4,5 |
| Cryptophyta | 3 | 9,4 | 4 | 6,0 | 2 | 3,0 | 1 | 2,2 | 3 | 6,7 | 1 | 2,3 |
| Miozoa | – | – | 2 | 3,0 | 3 | 4,6 | 1 | 2,2 | 1 | 2,2 | – | – |
| Euglenozoa | 1 | 3,1 | 4 | 6,0 | 5 | 7,6 | 1 | 2,2 | 1 | 2,2 | – | – |
| Итого: | 32 | 100 | 67 | 100 | 66 | 100 | 45 | 100 | 45 | 100 | 44 | 100 |

Таблица 3 – Количественные показатели фитопланктона, индекс сапробности и класс качества воды исследованных станций р. Мирожки и р. Псковы

| Регистрируемые показатели | р. Мирожка | | | р. Пскова | | |
|----------------------------|---------------|-------|--------|--------------|-------|-------|
| | Ст. 1 | Ст. 2 | Ст. 3 | Ст. 1 | Ст. 2 | Ст. 3 |
| N, тыс. кл./л | 154,8 | 784,8 | 1866,0 | 263,2 | 173,3 | 162,3 |
| Нсредняя, тыс. кл./л | 935,2 ± 706,6 | | | 199,6 ± 55,4 | | |
| B, мкг/л | 55,8 | 318,5 | 726,4 | 59,2 | 54,6 | 125,1 |
| В средняя, мг/л | 366,9 ± 275,9 | | | 79,6 ± 32,2 | | |
| Индекс сапробности | 2,06 | 1,66 | 2,48 | 1,70 | 1,97 | 2,08 |
| Средний индекс сапробности | 2,07 ± 0,41 | | | 1,92 ± 0,20 | | |
| Класс качества воды | 3 | | | 3 | | |

Согласно проведенному эколого-географическому анализу, по отношению к распространению преобладали космополитные форм микроводорослей – 56,3–64,2% в р. Мирожке и 53,3–68,2% – в р. Пскове (от общего числа водорослей). По отношению к местоположению большая часть водорослей являлась планктонными (34,8–53,7% в р. Мирожке и 31,1–46,7% в р. Пскове) и планктонно-бентосными (31,3–39,4% в р. Мирожке, 33,3–44,4% в р. Пскове).

По отношению к фактору солёности большинство микроводорослей являлись индифферентами – 50,0–51,5% в р. Мирожке и 48,1–64,4% в р. Пскове. На долю галофилов в р. Мирожке приходилось 10,4–13,6%, в р. Пскове – 6,7–9,1%, галофобов – 4,5–6,3% и 2,2–2,3% соответственно. Третья часть микроводорослей данных по отношению к фактору солёности не имела.

По отношению к рН воды в р. Мирожке алкалифилы и алкалибионты составляли 20,2–37,0% (от общего числа водорослей), в р. Пскове – 22,2–40,8%, индифференты – 9,4–16,4% и 4,5–11,1% соответственно, ацидофилы – 3,0–6,3% и 2,2–2,3% соответственно. Большой процент микроводорослей сведений по отношению к солёности воды не имел.

Сапробиологический анализ показал, что в обоих водотоках большинство микроводорослей являлись бета-мезосапробионтами: 38,4–44,8% от числа видов с известной характеристикой в р. Мирожке и 42,4–50,0% – в р. Пскове. Это указывает на умеренное загрязнение вод исследованных рек. Средний индекс сапробности по Пантле–Букк в р. Мирожке составил 2,07, в Пскове – 1,92 (табл. 3).

Заключение

Таким образом, флористический комплекс планктонной альгофлоры р. Мирожки в раннеосенний период 2019 г. характеризовался как диатомово-хлорофитово-охрофитовый, р. Псковы – диатомово-хлорофитовый.

Средние значения численности и биомассы фитопланктона в р. Мирожке составляли 935,2 тыс. кл./л и 366,9 мкг/л, в р. Пскове – 199,6 тыс. кл./л и 79,6 мкг/л соответственно. Согласно эколого-географическому анализу в обоих исследованных водотоках доминировали космополитные пресноводные планктонные формы микроводорослей, предпочитающие слабощелочные воды. Среднее значение индекса сапробности по Пантле–Букк в р. Мирожке составило 2,07, в р. Пскове – 1,92, что характеризует исследованные реки как умеренно загрязненные (III класс качества).

Список литературы:

- Охапкин А.Г., Юлова Г.А., Старцева Н.А. Состав и эколого-флористическая характеристика фитопланктона малых водоемов урбанизированных территорий (на примере города Нижнего Новгорода) // Ботанический журнал. 2002. Т. 87, № 2. С. 78–88.
- Трифонов И.С., Генкал С.И., Павлова О.А. Состав и сукцессия диатомовых водорослей в планктоне городских водоемов Санкт-Петербурга // Ботанический журнал. 2003. Т. 88, № 11. С. 42–52.
- Павлова О.А. Структура фитопланктона малых озер в условиях урбанизированного ландшафта (на примере Суздальских озер г. Санкт-Петербурга): автореф. ... канд. биол. наук: 03.00.16. СПб., 2004. 24 с.

4. Коновалова О.А. Фитопланктон как индикатор состояния водных экосистем городских ландшафтов (на примере г. Омска): автореф. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Омск, 2011. 18 с.
5. Chorus I., Wesseler E. Response of the phytoplankton community to therapy measures in a highly eutrophic urban lake (Schlachtensee, Berlin) // Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen. 1988. Vol. 23, iss. 2. P. 719–728. DOI: 10.1080/03680770.1987.11899699.
6. Anneville O., Ginot V., Angeli N. Restoration of Lake Geneva: expected versus observed responses of phytoplankton to decreases in phosphorus // Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use. 2002. Vol. 7, iss. 2. P. 67–80. DOI: 10.1046/j.1440-169x.2002.00179.x.
7. Дрозденко Т.В., Смирнова А.Н. Фитопланктон как показатель экологического состояния некоторых прудов г. Пскова // Метеорологический вестник. 2017. Т. 9, № 2. С. 69–73.
8. Водные объекты Санкт-Петербурга / под ред. С.А. Кондратьева, Г.Т. Фрумина. СПб., 2002. 348 с.
9. Ташлыкова Н.А. Состав и структура фитопланктона прибрежной и центральной частей оз. Арахлей (Забайкальский край) в весенне-летний сезон 2017 г. // Принципы экологии. 2018. № 3. С. 75–90. DOI: 10.15393/j1.art.2018.7403.
10. Дрозденко Т.В., Антал Т.К. Оценка качества воды устья реки Великой по показателям фитопланктона // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. № 1. С. 51–60. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-1-51-60.
11. Дрозденко Т.В., Волгушева А.А. Фитопланктон и качество воды озера Кучане (Псковская область, Россия) // Поволжский экологический журнал. 2021. № 3. С. 251–261. DOI: 10.35885/1684-7318-2021-3-251-261.
12. Pourafrahyabi M., Ramezanpour Z. Phytoplankton as bio-indicator of water quality in Sefid Rud River, Iran (South of Caspian Sea) // Caspian Journal of Environmental Sciences. 2014. Vol. 12, № 1. P. 31–40.
13. Дрозденко Т.В., Михалап С.Г. Фитоперифитон устья реки Мирожки как показатель качества воды // Псковский регионологический журнал. 2017. № 2 (30). С. 117–129.
14. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. М.: Университет и школа, 2003. 158 с.
15. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase [Internet] // <https://www.algaebase.org>.
16. Шмидт В.М. Статистические методы в сравнительной флористике. Л.: Ленингр. ун-т, 1980. 176 с.
17. Sladecek V. System of water quality from biological point of view // Achieves für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie. 1973. Vol. 7, № 1. P. 1–218.
18. Комулайнен С.Ф., Чекржева Т.А., Вислянская И.Г. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 81 с.
19. Судницына Д.Н. Альгофлора водоемов Псковской области. Псков: ООО «Логос Плюс», 2012. 224 с.
20. Оксюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.

Исследование выполнено за счет гранта Псковского государственного университета (проект «Экологический мониторинг дельты реки Великой по структуре и физиологической активности фитопланктона и показателям качества воды»).

| Информация об авторе(-ах): | Information about the author(-s): |
|--|--|
| Дрозденко Татьяна Викторовна , кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и экспериментальной биологии, старший научный сотрудник лаборатории комплексных экологических исследований; Псковский государственный университет (г. Псков, Российская Федерация). E-mail: tboichuk@mail.ru. | Drozdenco Tatiana Viktorovna , candidate of biological sciences, associate professor of Ecology and Experimental Biology Department, senior researcher of Integrated Environmental Research Laboratory; Pskov State University (Pskov, Russian Federation). E-mail: tboichuk@mail.ru. |

Для цитирования:

Дрозденко Т.В. Планктонная альгофлора малых рек в условиях города (на примере рек Мирожки и Псковы, г. Псков, Псковская область) // Самарский научный вестник. 2023. Т. 12, № 2. С. 30–34. DOI: 10.55355/snv2023122104.