

Оригинальная статья

УДК 574.583:574.21:574.633

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-4-431-441>

ДИНАМИКА СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ ФИТОПЛАНКТОНА В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ВЕЛИКОЙ В ПЕРИОД С 2016 ПО 2021 г.

Т. В. Дрозденко ^{1✉}, А. А. Волгушева ², Т. К. Антал ¹

¹ Псковский государственный университет

Россия, 180000, г. Псков, пл. Ленина, д. 2

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

Поступила в редакцию 24.06.2024 г., после доработки 30.07.2024 г., принята 30.07.2024 г., опубликована 17.12.2024 г.

Аннотация. Пресноводный фитопланктон чувствителен к изменениям окружающей среды, поэтому его мониторинг имеет экологическое, рекреационное и экономическое значение. Анализ многолетних изменений фитопланктонных сообществ особенно важен, поскольку позволяет не только выявлять причины изменений, но и делать прогнозы на будущее. В настоящей работе проведено исследование динамики доминантных видов летнего фитопланктона дельты р. Великой с 2016 по 2021 г., в том числе изучена связь видового состава и количественных характеристик фитопланктона с изменениями pH и температуры воды. В целом в течение исследованного периода обозначилась тенденция к снижению видового разнообразия и количества фитопланктона в дельте р. Великой. В 2020 и 2021 гг. отмечалось резкое снижение количества/биомассы тех видов фитопланктона, которые обычно доминируют в р. Великой. Данные изменения затронули сначала зеленые микроводоросли и цианобактерии (2020 г.), затем диатомовые водоросли (2021 г.). В течение того же периода (2020 – 2021 гг.) наблюдали наибольшее снижение количества клеток у цианобактерии *Aphanocapsa delicatissima*, что позволяет использовать данный вид как индикатор состояния фитопланктона в дельте р. Великой. Температура и pH воды значительно влияли на количество клеток доминантных отделов (Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria) и слабо коррелировали с видовым составом. Особенно температура воды и pH воды влияли на количество клеток цианобактерий, что указывает на важность этих факторов для инициации цветения водоемов и позволяет предполагать усиление эффекта при их одновременном действии.

Ключевые слова: фитопланктон, доминантные виды, видовой состав, экологическое равновесие

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-24-00353).

Соблюдение этических норм. В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ Для корреспонденции. Лаборатория комплексных экологических исследований Псковского государственного университета.

ORCID и e-mail адреса: Дрозденко Татьяна Викторовна: <https://orcid.org/0000-0002-5553-2296>, tboichuk@mail.ru; Волгушева Алёна Александровна: <https://orcid.org/0000-0002-0414-1236>, volgusheva_alena@mail.ru; Антал Тарас Корнелиевич: <https://orcid.org/0000-0002-9690-8034>, taras_an@mail.ru.

Для цитирования. Дрозденко Т. В., Волгушева А. А., Антал Т. К. Динамика состава и структуры сообществ фитопланктона в дельте реки Великой в период с 2016 по 2021 г. // Поволжский экологический журнал. 2024. № 4. С. 431 – 441. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-4-431-441>

ВВЕДЕНИЕ

Фитопланктон играет ключевую роль в круговороте углерода и составляет основу пищевой цепи пресноводных и морских водоемов. Антропогенные и климатические изменения оказывают значительное влияние на изменение структуры фитопланктонного сообщества, что, в свою очередь, отражается на функционировании всей экосистемы (Barinova et al., 2006; Castellani, 2010).

Негативное воздействие антропогенного влияния на фитопланктонные сообщества возродило научный интерес к изучению взаимосвязи между биоразнообразием и стабильностью экосистем. Вопрос о том, необходимы ли все виды в экосистеме для поддержания ее способности к восстановлению, является ключевым в возникшей дискуссии (Elliott, 2012). В настоящее время считается, что видовое богатство и динамика популяций доминирующих видов значительно влияют на стабильность сообщества при действии различных стрессов. При гибели или значительном снижении количества доминирующих видов может происходить рост редких и устойчивых к стрессу видов, что должно предупредить гибель естественных сообществ. Например, мелкий фитопланктон, как принято считать, лучше приспособлен к олиготрофным условиям, поэтому структура сообществ фитопланктона может сместиться в сторону мелкоклеточных видов при снижении доступности биогенных элементов (Díaz, Cabido, 2001).

Изменения абиотических факторов (доступность CO_2 , температура, инсоляция, доступность биогенных элементов, уровень солености и т.д.) значительно влияют на эффективность фотосинтетических процессов, а также распространение и распределение видового состава фитопланктона (Díaz, Cabido, 2001). Влияние некоторых факторов, например, содержания CO_2 и температуры, может быть как прямым, так и косвенным. Так, увеличение CO_2 напрямую способствует активации фотосинтетических процессов и, как следствие, увеличивается количество водорослей, но данный эффект весьма видоспецифичен (Raven et al., 2011; Ighalo et al., 2022). Было показано, что увеличение содержания CO_2 способствует росту более крупных представителей диатомовых (Wu et al., 2014; Hennon et al., 2017). Кроме того, повышенный уровень CO_2 может вызывать изменения в химическом составе карбонатов, уменьшение pH и закисление водоема (Beaufort et al., 2011; Nagelkerken, Connell, 2015).

Известно, что видовой состав сообществ фитопланктона тесно связан с величиной pH (Dixit et al., 1992; Locke, Sprules, 2000), которая влияет на скорость роста и численность видов, что может приводить к смене доминантных сообществ. Важно, что изменения величины pH водоемов, индуцированные антропогенными факторами, влияют на все организмы: от водорослей до позвоночных, и представляют основную угрозу биоразнообразию и функционированию экосистем (Yang et al.,

2008), что определяет важность мониторинга данного параметра и необходимость оценки его влияния на структуру фитопланктонного сообщества.

Увеличение температуры в основном приводит к росту скорости метаболизма, при этом скорость дыхания возрастает в большей степени по сравнению с фотосинтезом (Regaudie-de-Gioux, Duarte, 2012). Это способствует образованию локальных анаэробных условий, благоприятных для распространения видов водорослей и нефотосинтезирующей микрофлоры с развитым анаэробным метаболизмом. Кроме того, изменение температуры коррелирует с размером клеток водорослей, в частности, с преобладанием мелких видов диатомовых, как предполагается, вследствие температурной стратификации (Finkel et al., 2005).

В настоящей работе проведен анализ многолетних (с 2016 по 2021 г.) изменений доминантных сообществ фитопланктона в дельте р. Великой – наиболее крупной реки Псковской области (Россия). Она является основным источником воды для Псковско-Чудского озера, определяя в значительной степени экологическое состояние этого крупного озера. Дельта реки Великой представлена комплексом заболоченных островов, разделенных протоками, и является уникальной экотонной акваторией, соединяющей речные и озерные экосистемы, а также играет роль барьера, защищающего Псковско-Чудское озеро от загрязнения, вызванного антропогенными факторами. На ее территории встречаются редкие представители флоры и фауны (Lebedeva, 2006).

Цель работы: проанализировать взаимосвязи между температурой, pH воды и таксономическим составом доминантных видов фитопланктона в дельте р. Великой в разные сезоны 2016 – 2021 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в летний период с 2016 по 2021 г. на пяти постоянных станциях дельты р. Великой (рис. 1).

Гидробиологический материал отбирали пластиковыми емкостями (0.5 л) с поверхностного слоя (0.5 м) дельты и фиксировали раствором формалина. Параллельно с отбором проб фитопланктона проводили измерение температуры и pH воды.

После отстаивания отобранные пробы фитопланктона концентрировали осадочным методом до 5 – 10 мл с помощью сифона, затянутого несколькими слоями мельничного газа № 76 (Sadchikov, 2003).

Идентификацию микроводорослей проводили с помощью микроскопа «Carl Zeiss Axio Lab. A1.»

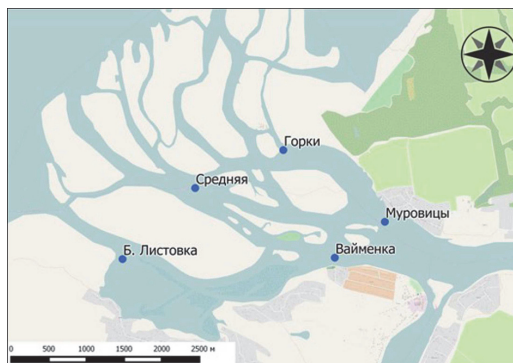


Рис. 1. Станции отбора проб (●) дельты р. Великой (Муровицы, Горки, Средняя, Большая Листовка, Вайменка)

Fig. 1. Sampling stations (●) in the Velikaya River delta (Murovitsy, Gorki, Srednaya, Bolshaya Listovka, Vaymenka)

(Carl Zeiss, Германия), используя определители, указанные ранее (Drozdenko, Antal, 2021).

Для количественного анализа фитопланктона использовали камеру Нажотта объемом 0.05 см³. Клетки на литр пересчитывали по общеизвестной формуле (Sadchikov, 2003). Доминирующими видами считали микроводоросли, численность которых была больше 15% от общего количества летнего фитопланктона исследуемого года.

За весь период исследования было обработано 60 качественных и количественных проб фитопланктона.

Подготовительную обработку и анализ данных проводили в приложении Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corp.), статистические расчеты выполняли с использованием программы STATISTICA 6.0 (Statsoft Inc., OK, USA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменения доминантных отделов фитопланктона. В период с 2016 г. по 2021 г. уменьшалось общее количество видов в дельте р. Великой (рис. 2, а). Наиболее значительные изменения происходили в 2017 и в 2020 гг., однако их динамика была разной. В 2017 г. количество видов снизилось на 23% (с 165 до 127) по сравнению с 2016 г. и оставалось примерно на том же уровне до 2019 г. В 2020 г. наблюдали еще большее уменьшение видового состава (до 94), а в 2021 г. – некоторое увеличение количества видов (до 123), однако эта величина была ниже показателей в первые 4 года исследования.

Пятилетняя динамика изменения количества клеток также была отрицательной (см. рис. 2, а) – снижение составило около 70 – 80%, за исключением 2018 г., когда наблюдали значительное (более чем в 13 раз) увеличение количества клеток по сравнению с 2017 г. Однако на следующий год (2019) количество клеток снизилось до уровня 2017 г. и мало изменялось в дальнейшем.

Снижение количества клеток в 2017 г. по сравнению с 2016 г. происходило в основном за счет уменьшения количества клеток в двух отделах фототрофных микроорганизмов: Chlorophyta (на 82%) и Cyanobacteria (на 75%) (рис. 3). Значительное увеличение количества клеток в 2018 г. по сравнению с 2017 г. также было связано с этими двумя отделами. Так, количество клеток отдела Chlorophyta увеличилось более чем в 17 раз, а Cyanobacteria – в 22 раза по сравнению с 2017 г. Уменьшение количества клеток в 2019 г. происходило во всех трех отделах примерно одинаково (на 90%).

Уменьшение видового богатства в 2017 г. происходило в основном за счет снижения количества видов из доминантных отделов (см. рис. 2, б). Значительное уменьшение количества видов наблюдали в отделе Chlorophyta (на 40%), затем Cyanobacteria (на 25%) и Bacillariophyta (на 16%). Следует отметить, что в анализ включали род водорослей, содержащий 4 и более видов. В 2017 г. было зарегистрировано снижение видовых представителей следующих родов отдела Chlorophyta: *Ankistrodesmus* (100% снижение), *Chlamydomonas* (снижение на 57%), *Monoraphidium* (на 43%), *Kirchneriella* (на 40%), *Scenedesmus* (на 30%), *Dictyosphaerium* (на 29%), *Pediastrum* (на 25%). В отделе Bacillariophyta снижение количества видов

наблюдали у *Diatoma* (на 75%), *Epithemia* (на 75%), *Cymbella* (на 60%), *Fragilaria* (на 55%), *Achnanthes* (на 50%), *Gyrosigma* (на 50%), *Navicula* (на 44%), *Gomphonema* (на 40%), *Aulacoseira* (на 25%), а в отделе Cyanobacteria – у *Aphanocapsa* (на 50%), *Aphanothece* (на 40%), *Anabaena* (на 25%).

При снижении видового богатства в 2020 г. наблюдали снижение количества видов по сравнению с 2019 г. у следующих родов Chlorophyta: *Tetraëdron* (на 75%) и *Scenedesmus* (на 50%). Отдел Bacillariophyta характеризовался снижением видового состава у четырех родов: *Diatoma* (100% снижение), *Fragilaria* (на 57%), *Navicula* (на 57%), *Nitzschia* (на 25%). У цианобактерий каждый род был представлен 1-2 видами, поэтому при анализе использовали род с двумя представителями. Число видов рода *Aphanocapsa* снизилось на 50%, а представители родов *Meristopedia* и *Snowella* зарегистрированы не были.

Доминантные и устойчивые к стрессу виды. Изменения доминантных видов основных отделов фитопланктона представлено на рис. 4. У диатомовых водорослей было выявлено три доминантных вида: *Aulacoseira granulata*, *Stephanodiscus hantzschii* и *Stephanodiscus hantzschii* var. *pusilla* (см. рис. 4, а). В 2018 г. наблюдали рост количества клеток *St. hantzschii* var. *pusilla* с 10 до 50%, а на следующий год данный показатель снижался до 30%. При снижении видового богатства в 2017 г. не было выявлено видов, вклад которых в количественные показатели фитопланктонных сообществ превышал 15%.

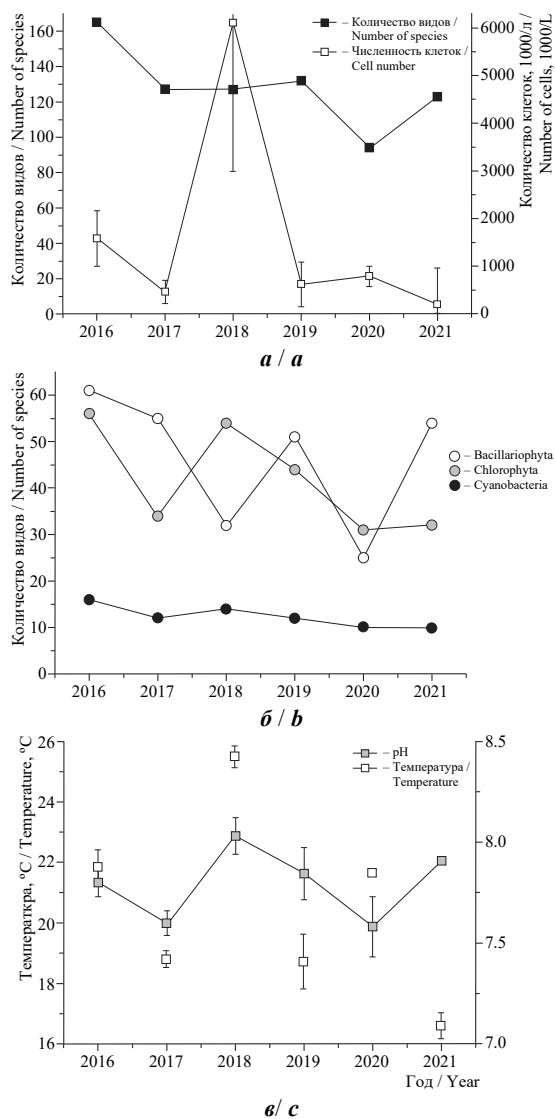


Рис. 2. Изменение общего количества видов (а), количества видов по отделам (б), pH и температуры (в) в дельте р. Великой в летний период

Fig. 2. Change in the total number of species (a), the number of species by phylum (b), pH and temperature (c) in the delta of the Velikaya River in the summer

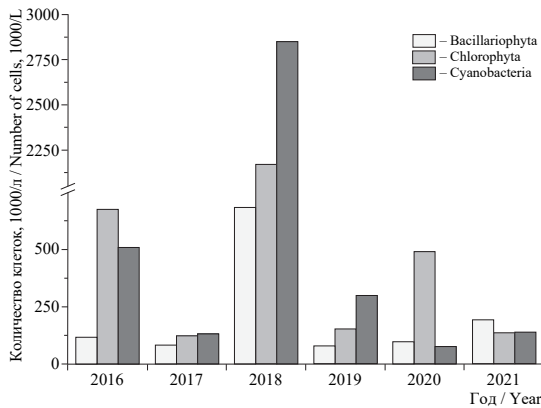


Рис. 3. Изменение количества клеток доминантных отделов Bacillariophyta, Chlorophyta и Cyanobacteria за пятилетний период

Fig. 3. Change in the number of cells of the dominant phyla of Bacillariophyta, Chlorophyta and Cyanobacteria over the five-year period

Затем в 2019 г. доминантным видом стал *Chlamydomonas monadina* (25%). В последующие два года четко выраженных доминант зеленых микроводорослей не было обнаружено.

У цианобактерий (см. рис. 4, с) на протяжении первых 4 лет основным доминантным видом была *Aphanocapsa delicatissima*, вклад которой варьировал от 40 до 50% за исключением 2017 г., когда доминировала *Aphanocapsa incerta* (56%). В 2018 и 2019 гг. некоторый вклад (от 10 до 22%) вносили *Aphanocapsa holsatica* и *Merismopedia minima*. В 2020 и 2021 гг. видов, количество которых превышало 20%, зарегистрировано не было.

Влияние pH и температуры. Известно, что pH среды влияет на химическое равновесие и, соответственно, на доступность биогенных элементов для фитопланктона, а также отражает количество растворенного неорганического углерода, доступного для фотосинтеза (Peterson et al., 1984). Изменения температуры и pH в дельте р. Великой в период исследования представлены на рис. 1, в. Максимальная (25.5°C) и минимальная (16.6°C) температуры были зарегистрированы в 2018 и 2021 гг. соответственно. Схожие между собой температуры наблюдали в 2016 и 2020 гг. (21.7°C), а также в 2017 и 2019 гг. (18.8°C). Минимальное значение pH 7.6 было зарегистрировано в 2017 и 2020 гг., а максимальное – 8.0 в 2018 г. В остальные годы значения pH были около 7.8.

Для определения степени возможной связи между температурами, pH, количеством клеток и видов доминантных отделов были рассчитаны коэффициенты корреляции (таблица). Наиболее высокая корреляция между температурой и количеством клеток была выявлена для отдела Chlorophyta ($r = 0.9$), затем следовал отдел Cyanobacteria ($r = 0.8$) и Bacillariophyta ($r = 0.7$). Связь между количеством видов и

Снижение количества видов в 2020 г. сопровождалось значительным ростом (с 3 до 70%) вклада *Aulacoseira granulata* и снижением *Stephanodiscus hantzschii*, который являлся доминантным в предыдущие несколько лет.

У представителей зеленых микроводорослей (см. рис. 4, б) снижение количества видов и концентрации клеток в 2017 г. по сравнению с 2016 г. сопровождалось значительным падением (с 60 до 2%) вклада *Chlamydomonas monadina* и увеличением вклада *Scenedesmus quadricauda* с 3 до 23%. В 2018 г. на фоне увеличения общего количества клеток фитопланктона произошла смена доминантного вида на *Binuclea-*

ДИНАМИКА СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ ФИТОПЛАНКТОНА

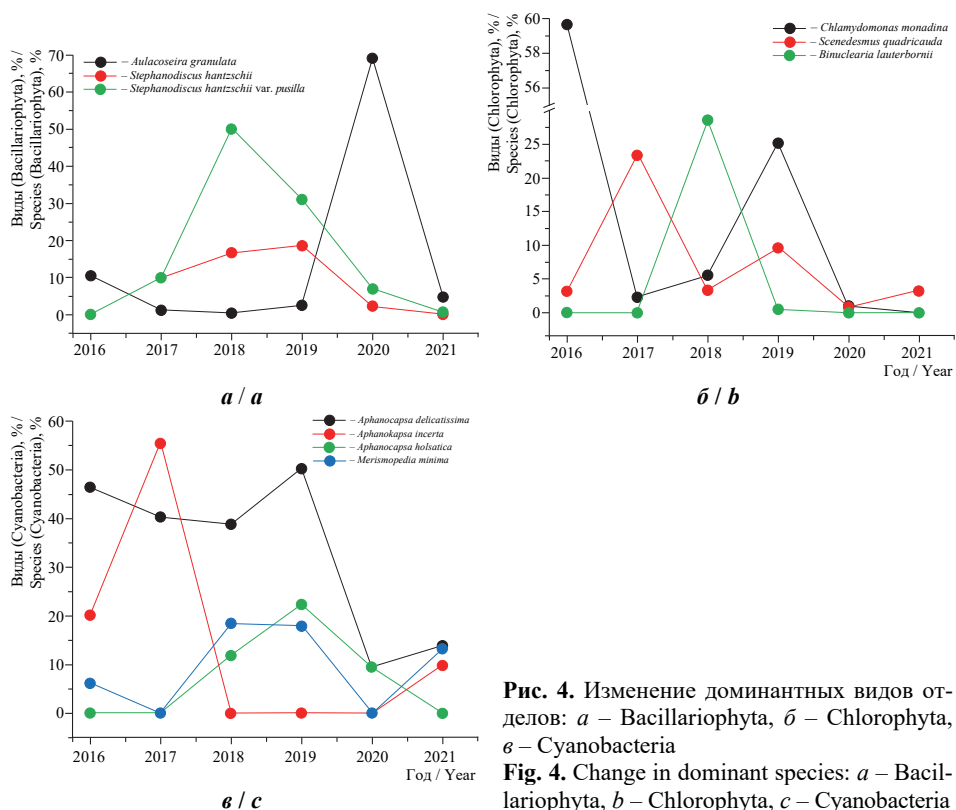


Рис. 4. Изменение доминантных видов отделов: *а* – Bacillariophyta, *б* – Chlorophyta, *в* – Cyanobacteria
Fig. 4. Change in dominant species: *a* – Bacillariophyta, *b* – Chlorophyta, *c* – Cyanobacteria

температурой была выражена в меньшей степени. Так, коэффициент корреляции между количеством видов и температурой составил 0.64 для отдела Chlorophyta и 0.57 для Cyanobacteria, что свидетельствовало о наличии положительной связи между этими параметрами. Такой результат согласуется с полученными ранее данными о предпочтении цианобактериями более высоких температур по сравнению с зелеными водорослями, что отражается в более выраженной зависимости скорости роста от температуры (Elliott, 2012).

Влияние pH на изменение количества клеток было наиболее высоким у двух отделов – Bacillariophyta и Cyanobacteria, для которых коэффициент корреляции составил 0.73 и 0.70 соответственно. Для зеленых водорослей коэффициент корреляции был несколько ниже – 0.59. Количество видов у диатомовых практически не было связано с pH ($r = 0.04$) и имелась слабая зависимость цианобактерий ($r = 0.34$). Для зеленых водорослей был выявлен более высокий коэффициент корреляции ($r = 0.60$).

Коэффициент корреляции, рассчитанный между концентрацией клеток или количеством видов и абиотическими факторами (температурой и pH)

Table. Correlation coefficient calculated between cell concentration or the number of species and abiotic factors (temperature and pH)

Параметр / Parameter	Bacillariophyta	Chlorophyta	Cyanobacteria
Клетки / t, °C / Cells / t, °C	0.71	0.90	0.80
Клетки / pH / Cells / pH	0.73	0.59	0.70
Виды / t, °C / Species / t, °C	-0.58	0.64	0.57
Виды / pH / Species / pH	0.04	0.60	0.34

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ структуры фитопланктона на данный момент является основным инструментом для оценки жизнеспособности водной экосистемы, а также для определения различных показателей качества воды (Barinova et al., 2006; Castellani, 2010). Следует особо отметить, что анализ многолетних изменений фитопланктонных сообществ необходим не только для выявления изменений в экосистеме водоемов, но и для определения причин этих изменений и прогнозирования на будущее.

В данной работе проведен анализ реакции доминантных отделов фитопланктонного сообщества дельты р. Великой (2016 – 2021 гг.) на основные абиотические факторы – pH и температуру. Основу флористического комплекса альгофлоры дельты составляли диатомовые и зеленые водоросли, что характерно для водоемов Псковской области (Drozdenco et al., 2020; Drozdenco, Volgusheva, 2021). Структурная трансформация планктона, отражающаяся в перераспределении вклада двух отделов, зависела от температуры. Так, увеличение температуры приводило к доминированию зеленых водорослей над диатомовыми, а понижение – к обратному эффекту, что позволяет прогнозировать доминирование отдела Chlorophyta при потеплении климата. Положительное влияние более высоких значений pH и температуры на количество клеток цианобактерий указывает на важность этих факторов в периоды цветения водоемов и синергическое усиление эффекта при одновременном действии этих параметров.

Исследования в течение шести лет, начиная с 2016 г., выявили тренд на снижение видового богатства и количества фитопланктона в дельте р. Великой. Видовое богатство уменьшилось примерно на 25%, в то время как численность клеток фитопланктона снизилась на 88% за этот период.

Снижение видового богатства в дельте р. Великой в течение исследованного периода главным образом происходило за счет снижения численности представителей доминантных отделов. В отделе Bacillariophyta наибольшее снижение видового разнообразия наблюдалось среди представителей следующих доминантных родов: *Diatoma* (75%), *Epithemia* (75%), *Cymbella* (60%), *Fragilaria* (55%), *Achnanthes* (50%), *Navicula* (57%) *Gyrosigma* (50%). Из отдела Chlorophyta наблюдали уменьшение данного показателя у представителей *Ankistrodesmus* (100%), *Tetraëdron* (75%), *Chlamydomonas* (57%) и *Scenedesmus* (50%). У цианобактерий был выявлен один доминантный род (*Aphanocapsa*), видовое разнообразие которого снизилось на 50%.

Выявленные различия в качественном и количественном составе фитопланктона могут быть связаны с особенностями сезонного развития, солнечной активности, с гидрохимическими особенностями (температура, динамика водных масс) и уровнем воды в дельте конкретного года в период отбора проб, а также с загрязнением водной среды в результате антропогенной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. *Biodiversity of Algae-indicators of the Environment*. Tel Aviv, Pilies Studio Publ., 2006. 498 p. (in Russian).
- Beaufort L., Probert I., de Garidel-Thoron T., Bendif E. M., Ruiz-Pino D., Metzl N., Goyet C., Buchet N., Coupel P., Grelaud M., Rost B., Rickaby R. E., de Vargas C. Sensitivity of coccolithophores to carbonate chemistry and ocean acidification. *Nature*, 2011, vol. 476, pp. 80–83. <https://doi.org/10.1038/nature10295>
- Castellani C. Plankton: A Guide to their ecology and monitoring for water quality. *Journal of Plankton Research*, 2010, vol. 32, iss. 2, pp. 261–262. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbp102>
- Díaz S., Cabido M. Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 2001, vol. 16, iss. 1, pp. 646–655. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2)
- Dixit S. S., Smol J. P., John C., Kingston D. F. Diatoms: Powerful indicators of environmental change. *Environmental Science & Technology*, 1992, vol. 26, iss. 1, pp. 22–33. <https://doi.org/10.1021/es00025a002>
- Drozdenko T. V., Antal T. K. Evaluating water quality in Velikaya River by using phytoplankton characteristics. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 2021, no. 1, pp. 51–60 (in Russian). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-1-51-60>
- Drozdenko T. V., Volgusheva A. A. Phytoplankton and water quality of Lake Kuchane (Pskov region, Russia). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 3, pp. 251–261 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-251-261>
- Drozdenko T. V., Kek I. V., Mishkova T. A. Phytoplankton as a bioindicator of the water quality of lake Malenets (Pskov region). *Samara Journal of Science*, 2020, vol. 9, iss. 3, pp. 58–61 (in Russian). <https://doi.org/10.17816/snv202093110>
- Elliott J. A. Is the future blue-green? A review of the current model predictions of how climate change could affect pelagic freshwater cyanobacteria. *Water Research*, 2012, vol. 46, iss. 5, pp. 1364–1371. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.018>
- Finkel Z. V., Katz M. E., Wright J. D., Schofield O. M. E., Falkowski P. G. Climatically driven macroevolutionary patterns in the size of marine diatoms over the Cenozoic. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2005, vol. 102, iss. 25, pp. 8927–8932. <https://doi.org/10.1073/pnas.0409907102>
- Hennon G. M. M., Hernández L. M. D., Haley S. T., Juhl A. R., Dyhrman S. T. Diverse CO₂-induced responses in physiology and gene expression among eukaryotic phytoplankton. *Frontiers in Microbiology*, 2017, vol. 8, article no. 2547. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02547>
- Ighalo J. O., Dulta K., Kurniawan S. B., Omoarukhe F. O., Ewuzie U., Eshiemogie S. O., Ojo A. U., Abdullah S. R. S. Progress in microalgae application for CO₂ sequestration. *Cleaner Chemical Engineering*, 2022, vol. 3, iss. 8, article no. 100044. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100044>
- Lebedeva O. A. Ecosystem of the Velikaya river delta and its impact on the Pskov-Chudskoe Lake. *Pskov Journal of Regional Studies*, 2006, vol. 20, no. 1, pp. 107–121 (in Russian).
- Locke A., Sprules W. G. Effects of acidic pH and phytoplankton on survival and condition of *Bosmina longirostris* and *Daphnia pulex*. *Hydrobiologia*, 2000, vol. 437, pp. 187–196. <https://doi.org/10.1023/A:1026563109217>

Nagelkerken I., Connell S. D. Global alteration of ocean ecosystem functioning due to increasing human CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2015, vol. 112, iss. 43, pp. 13272–13277. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510856112>

Peterson H. G., Healey F. P., Wagemann R. Metal toxicity to algae: A highly pH dependent phenomenon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1984, vol. 41, no. 6, pp. 974–979. <https://doi.org/10.1139/f84-11>

Raven J. A., Giordano M., Beardall J., Maberly S. C. Algal and aquatic plant carbon concentrating mechanisms in relation to environmental change. *Photosynthesis Research*, 2011, vol. 109, iss. 1–3, pp. 281–296. <https://doi.org/10.1007/s11120-011-9632-6>

Regaudie-de-Gioux A., Duarte C. M. Temperature dependence of planktonic metabolism in the ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 2012, vol. 26, iss. 1, article no. GB1015. <https://doi.org/10.1029/2010GB003907>

Sadchikov A. P. *Methods of Studying Freshwater Phytoplankton: Methodological Guide*. Moscow, Universitet i shkola, 2003. 157 p. (in Russian).

Wu Y., Campbell D. A., Irwin A. J., Suggett D. J., Finkel Z. V. Ocean acidification enhances the growth rate of larger diatoms. *Limnology and Oceanography*, 2014, vol. 59, iss. 3, pp. 1027–1034. <https://doi.org/10.4319/lo.2014.59.3.1027>

Yang Xe., Wu X., Hao Hl., He Z. L. Mechanisms and assessment of water eutrophication. *Journal of Zhejiang University SCIENCE*, 2008, vol. 9, iss. 3, pp. 197–209. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0710626>

Dynamics of the composition and structure of phytoplankton communities in the Velikaya River in the period from 2016 to 2021

T. V. Drozdenko^{1✉}, A. A. Volgusheva², T. K. Antal¹

¹ Pskov State University

2 Lenin Square, Pskov 180000, Russia

² Lomonosov Moscow State University

bldg. 1/12, Vorobyovi Gory, Moscow 119991, Russia

Received: June 24, 2024 / revised: July 30, 2024 / accepted: July 30, 2024 / published: December 17, 2024

Abstract. Freshwater phytoplankton is sensitive to environmental changes; therefore its monitoring is a crucial aspect of ecological, recreational and economic importance. Examination of the multi-year alterations in phytoplankton populations is of paramount importance, as it enables to elucidate the underlying drivers of the change and to formulate projections for future scenarios. The present work studies the dynamics of the dominant species of summer phytoplankton in the Velikaya River delta from 2016 to 2021, including the relationship between the species composition and the quantitative characteristics of phytoplankton with changes in pH and water temperature. In general, there was a tendency of decreasing the species diversity and the quantity of phytoplankton in the delta of the Velikaya River during the study period. In 2020 and 2021, there was a sharp decline in the number/biomass of the phytoplankton species that usually dominated in the river. These changes first affected green microalgae and cyanobacteria (2020), and then diatoms (2021). During the same period (2020–2021), the largest decrease in cell numbers was observed in the cyanobacterium *Aphanocapsa delicatissima*, which allows us to use this species as an indicator of the status of the phytoplankton in the Velikaya River delta. Water temperature and pH significantly influenced the numbers of cells of the dominant phyla (Bacillariophyta, Chlorophyta, and Cyanobacteria) and correlated weakly with the species composition. In particular, water temperature and pH influenced the numbers of cyanobacterial cells, indicating the importance of these factors in the initiation of blooms in water bodies and suggesting that the effect is enhanced by their simultaneous action.

Keywords: phytoplankton, dominant species, species composition, ecological equilibrium

Funding. The research was funded by the Russian Science Foundation (Project No. 23-24-00353).

Ethics approval and consent to participate: This work does not contain any studies involving human and animal subjects.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

For citation: Drozdenko T. V., Volgusheva A. A., Antal T. K. Dynamics of the composition and structure of phytoplankton communities in the Velikaya River in the period from 2016 to 2021. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2024, no. 4, pp. 431–441 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-4-431-441>

✉ Corresponding author. Laboratory of Integrated Environmental Research, Pskov State University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Tatiana V. Drozdenko: <https://orcid.org/0000-0002-5553-2296>, tboichuk@mail.ru; Alena A. Volgusheva: <https://orcid.org/0000-0002-0414-1236>, volgusheva_alena@mail.ru; Taras K. Antal: <https://orcid.org/0000-0002-9690-8034>, taras_an@mail.ru.