

УДК 574.583

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ (ФИТО- И ЗООПЛАНКТОНА) В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА

© 2022 г. А. П. Новоселов^а *, Е. Н. Имант^а, Ю. В. Новикова^а, Н. Ю. Матвеев^а,
Н. В. Климовский^а, С. Н. Артемьев^а

^аФедеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова
Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

*e-mail: alexander.novoselov@rambler.ru

Поступила в редакцию 11.04.2022 г.

После доработки 16.06.2022 г.

Принята к публикации 21.06.2022 г.

Проанализирована трехлетняя (2019–2021 гг.) динамика качественного и количественного состава планктонных сообществ нижнего течения р. Северная Двина. Приведены результаты анализа видового богатства и таксономического состава зоопланктона, а также пространственно-временного распределения количественных показателей фито- и зоопланктона. Выявлено, что среднегодовые значения биомассы фитопланктона и концентрации хлорофилла *a* изменялись в пределах от 0.42 г/м³ и 1.04 мкг/л на участках предустьевого взморья в 2021 г. до 2.16 г/м³ и 5.41 мкг/л соответственно в протоке Кузнечиха в 2020 г. Видовой перечень зоопланктона за исследуемый период включал 79 видов, их количество в пробах варьировало от 33 в 2020–2021 гг. до 75 в 2019 г. Во временном аспекте наиболее высокие количественные показатели зоопланктона выявлены в 2021 г., в пространственном – в протоках Кузнечиха и Маймакса во все годы исследований. Основной вклад в численность и биомассу зоопланктона вносили виды родов *Bosmina* и *Eurytemora*.

Ключевые слова: Северная Двина, планктонные сообщества, фитопланктон, зоопланктон, концентрация хлорофилла *a*, качественные и количественные показатели, пространственно-временная динамика

DOI: 10.31857/S0320965222060171

ВВЕДЕНИЕ

Планктонные сообщества играют огромную роль в состоянии, функционировании и оценке качества вод, поскольку любые изменения условий существования гидробионтов отражаются на их видовом составе, структуре популяций и количественных показателях (Крылов, 2005; Алимов, 2010). Фитопланктон служит доминирующим первичным продуцентом в водной среде, запускающим тем самым большинство пищевых сетей, и производит огромное количество кислорода для живых существ (Yongzhen et al., 2012). Зоопланктон играет ключевую роль в формировании биоразнообразия, оказывая таким образом решающее воздействие на процессы, происходящие в водных экосистемах. Эти организмы, будучи неотъемлемой частью функционирования водных пищевых сетей, – основное звено для передачи энергии между фитопланктоном, первичными продуцентами, высшими видами и далее хищниками. Кроме того, зоопланктон может относи-

тельно быстро реагировать на увеличение численности фитопланктона, например, во время весеннего цветения (Jinhuo, 2013; Song et al., 2021). Соответственно, информация о сообществах и разнообразии планктона – важный аспект понимания процессов, происходящих в водных экосистемах.

Урбанизация больших территорий может оказывать многофакторное негативное воздействие на состояние водных объектов, что вызывает необходимость непрерывного комплексного мониторинга происходящих изменений (Song et al., 2021). Планктонные сообщества служат составляющими компонентами в системе биологического мониторинга водных экосистем, поскольку они во многом определяют экологическое состояние и качество вод. Изучение изменений пигментных характеристик фитопланктона в пространственно-временном аспекте и выявление функциональных связей между биотическими и абиотическими факторами водной среды позволяют получить информацию о состоянии автотрофного звена водных экосистем. Концентрация

Сокращения: Хл *a* – хлорофилл *a*.

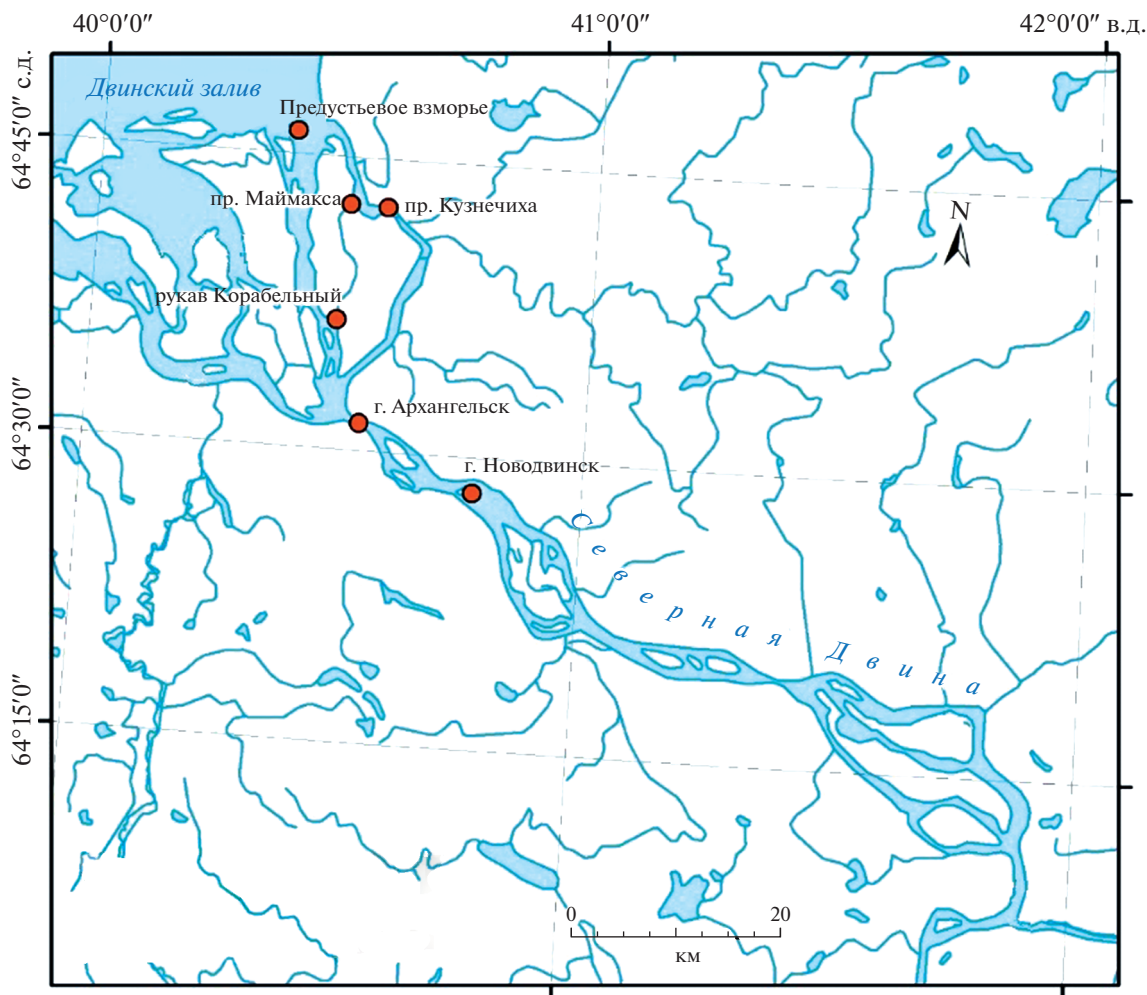


Рис. 1. Карта дельтовой части р. Северная Двина. ● — станция отбора проб на исследованном участке.

Хл *a* фитопланктона — один из основных показателей обилия и фотосинтетической активности альгоценозов (Бульон, 1983; Минеева, 2021). Исследование видового состава и количественных характеристик зоопланктона считается необходимым условием при изучении пресноводных экосистем, поскольку они определяют состояние кормовой базы для молоди всех видов рыб и рыб-планктофагов, следовательно, и уровень состояния запасов промысловых видов рыб.

Цель работы — дать анализ пространственно-временной динамики фитопланктона (биомассы, концентрации Хл *a*) и зоопланктона (таксономического состава, количественных показателей) в нижнем течении р. Северная Двина в 2019–2021 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гидробиологические исследования проводили в период с марта по октябрь в 2019–2021 гг. в дельтовой части р. Северная Двина (рис. 1).

Пробы фитопланктона отбирали батометром объемом 5 л с поверхностного горизонта в соответствии с руководством (Руководство..., 1992). Всего отобрано и обработано 140 проб. Мероприятия по отбору проводились (Абакумов, 1992). В лабораторных условиях с помощью вакуумной установки фитопланктон осаждали на мембранные фильтры Владисарт (диаметр пор 0.65 мкм), покрытые MgCO₃ диаметром 47 мм. Экстрагирование осадка, спектрофотометрирование экстракта, расчет концентрации Хл *a* (мкг/л) проводили согласно ГОСТу 17.1.4.02-90. Общую биомассу (г/м³) фитопланктона в единице объема воды выражали через концентрацию Хл *a* (Руководство..., 1992).

Пробы зоопланктона отбирали с поверхностного горизонта, процеживая 100 л воды через планктонную сеть с размером ячеей 0.072 мм с последующей их фиксацией 4%-ным формалином и обработкой в камеральных условиях. Всего за период исследований отобрано 140 проб. Сбор и обра-

ботку зоопланктонных проб проводили по руководству (Руководство ..., 1992). Численность зоопланктона пересчитывали на 1 м^3 ; биомассу вычисляли с использованием размерно-массовых зависимостей (Кононова, 2018); видовую принадлежность беспозвоночных устанавливали при помощи определителей зоопланктона (Определитель ..., 1977; Определитель..., 2010). Зоопланктон характеризовали по видовому и таксономическому составу, количеству видов, численности (N) и биомассе (B). Доминантные виды в сообществах выделяли по относительной численности при нижнем уровне доминирования $\geq 10\%$.

Статистическую обработку результатов (средняя арифметическая и ее ошибка) проводили в программном продукте по обработке аналитической информации SPSS Statistics.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фитопланктон. Биомасса фитопланктона и концентрация Хл *a* исследуемой акватории за весь период наблюдений изменялись в достаточно широком диапазоне (табл. 1). Минимальные их значения отмечены в период зимней межени в 2019 г. в Корабельном рукаве (биомасса 0.1 г/м^3 , концентрация Хл *a* 0.26 мкг/л) и в 2021 г. в протоке Кузнечиха (соответственно 0.1 г/м^3 и 0.24 мкг/л). Максимальные значения зарегистрированы в осенний период в 2020 г. в протоке Кузнечиха (биомасса 2.46 г/м^3 , концентрация Хл *a* 6.15 мкг/л). Среднегодовые значения биомассы и концентрации Хл *a* изменялись от 0.42 г/м^3 и 1.04 мкг/л в предустьевом взморье 2021 г. до 2.16 г/м^3 и 5.41 мкг/л соответственно в протоке Кузнечиха 2020 г.

Известно, что массовое развитие фитопланктона в водотоках происходит после вскрытия льда под влиянием комплекса метеорологических, гидрологических и гидрохимических факторов. Минимальные значения биомассы фитопланктона и концентрации Хл *a* исследуемой акватории за весь период наблюдений отмечены в период зимней межени. Сезонная динамика фитопланктона в 2019 г. характеризовалась весенним пиком развития на всей обследованной акватории. В 2020 и 2021 гг. фитопланктон достигал максимального развития в летний период, кроме станции в протоке Кузнечиха, на которой биомасса и концентрация Хл *a* увеличивались в осенний период (табл. 1).

Зоопланктон нижнего течения р. Северная Двина в 2019–2021 гг. был представлен тремя крупными таксономическими группами микро- и мезозоопланктона – Rotifera, Cladocera и Copepoda. За весь период исследований идентифицировано 79 видов, среди которых 26.6% видов относятся к типу Rotifera, 40.5% к надотряду Cladocera и 32.9% к подклассу Copepoda. Количество

видов варьировало от 33 в 2020–2021 гг. до 75 в 2019 г., наибольшего развития во все годы наблюдений достигали ветвистоусые ракообразные (табл. 2).

Максимальное видовое богатство зоопланктона в 2019 г. могло быть связано с большим количеством проб, отобранных в этот год, по сравнению с 2020 и 2021 гг. Снижение роли коловраток в видовом составе зоопланктона реки в 2020 г. объясняется сложностями с отбором проб в период весеннего половодья, когда коловратки достигают максимального развития.

Среди Rotifera наибольшим таксономическим богатством представлены два семейства – Brachionidae (4 рода) и Synchaetidae (3 рода), среди Cladocera – семейство Chydoridae (9 родов), среди Copepoda – семейство Cyclopidae (10 родов).

В исследуемый период основной экологический фон зоопланктонной фауны образовал комплекс широко распространенных палеарктических эври-термных и эвритопных видов. При этом, зоопланктон представляли организмы, принадлежащие к различным экологическим группам, что объясняется, прежде всего, гидрохимической особенностью вод, в том числе поступлением соленых морских вод Белого моря и их последующим смешением с пресными водами устья реки. Так, в составе зоопланктона присутствовали солоновато-водные виды рода *Eurytemora*, которые количественно преобладали в протоках реки в летний период (Imant, Novoselov, 2021).

На основании объединенных трофических и топических классификаций, А.В. Крылов (Крылов, 2005) выделил обособленные экологические группы зоопланктеров (табл. 3).

Используя эту классификацию гидробионтов, выявлено, что в нижнем течении р. Северная Двина преобладают организмы, добывающие пищу из толщи воды и с поверхности субстрата. По способу питания и перемещению в пространстве доминируют плавающие первичные фильтраторы, представленные преимущественно эврибионтным видом *Bosmina* (*B. longirostris*) – показателем загрязнения среды обитания, а также плавающими фильтраторами *Eurytemora*.

Установлено (Алимов, 2000), что в водоемах существуют преемственность и взаимодействие между зоопланктоном на разных подсистемах (участках), однако в водотоках, по мнению некоторых ученых (Маргалеф, 1992), она отсутствует. При этом предполагается, что жизнедеятельность реофильного планктона представляет собой направленный процесс из-за “слабых” взаимодействий между организмами в результате нестабильных гидрологических и химических условий обитания гидробионтов (Крылов, 2005).

Тем не менее, на каждом конкретном участке реки немаловажное значение имеют взаимодей-

Таблица 1. Пространственно-временная динамика значений биомассы (B , г/м³) и концентрации Хл a (мкг/л) фитопланктона в нижнем течении р. Северная Двина в 2019–2021 г.

| Станция отбора проб | Показатель | Год | Зимняя межень | Весеннее половодье | Летняя межень | Осенний период | В среднем за год |
|------------------------------------|------------|------|---------------|--------------------|---------------|----------------|------------------|
| В черте г. Новодвинск | B | 2019 | 0.21 ± 0.12 | 1.00 ± 0.21 | 1.78 ± 0.29 | 1.44 ± 0.31 | 1.11 ± 0.16 |
| | | 2020 | – | – | 1.30 ± 0.39 | – | – |
| | | 2021 | 0.15 ± 0.02 | 0.34 ± 0.02 | 0.9 ± 0.04 | 0.32 ± 0.04 | 0.43 ± 0.09 |
| | Хл a | 2019 | 0.52 ± 0.29 | 2.50 ± 0.53 | 4.45 ± 0.73 | 3.59 ± 0.77 | 2.76 ± 0.41 |
| | | 2020 | – | – | 3.28 ± 0.98 | – | – |
| | | 2021 | 0.36 ± 0.06 | 0.85 ± 0.04 | 2.25 ± 0.11 | 0.79 ± 0.1 | 1.06 ± 0.22 |
| В черте г. Архангельск у ж/д моста | B | 2019 | – | 0.66 ± 0.30 | 2.10 ± 0.67 | 2.27 ± 2.23 | 1.68 ± 0.48 |
| | | 2020 | 0.30 | – | 1.54 ± 0.77 | 0.86 | 0.91 ± 0.42 |
| | | 2021 | 0.16 | 0.59 ± 0.09 | 1.06 ± 0.32 | 0.32 ± 0.07 | 0.53 ± 0.36 |
| | Хл a | 2019 | – | 1.66 ± 0.74 | 5.26 ± 1.67 | 5.69 ± 5.57 | 4.2 ± 1.21 |
| | | 2020 | 0.83 | – | 3.85 ± 1.9 | 2.17 | 2.28 ± 1.03 |
| | | 2021 | 0.41 | 1.47 ± 0.23 | 2.65 ± 0.8 | 0.81 ± 0.17 | 1.34 ± 0.89 |
| Рукав Корабельный | B | 2019 | 0.10 ± 0.01 | 0.88 ± 0.25 | 1.64 ± 0.43 | 0.82 ± 0.14 | 0.86 ± 0.17 |
| | | 2020 | – | – | 2.17 ± 0.19 | 0.88 ± 0.002 | 1.53 ± 0.27 |
| | | 2021 | 0.13 ± 0.04 | 0.48 ± 0.04 | 1.09 ± 0.1 | 0.49 ± 0.1 | 0.55 ± 0.11 |
| | Хл a | 2019 | 0.26 ± 0.01 | 2.19 ± 0.64 | 4.10 ± 1.08 | 2.04 ± 0.36 | 2.15 ± 0.41 |
| | | 2020 | – | – | 4.95 ± 0.46 | 2.21 ± 0.005 | 3.58 ± 0.27 |
| | | 2021 | 0.33 ± 0.11 | 1.19 ± 0.1 | 2.72 ± 0.25 | 1.24 ± 0.26 | 1.37 ± 0.29 |
| Протока Кузнечиха | B | 2019 | – | 0.85 ± 0.21 | 1.65 ± 0.4 | 0.55 ± 0.47 | 1.02 ± 0.19 |
| | | 2020 | – | – | 1.86 | 2.46 | 2.16 ± 0.58 |
| | | 2021 | 0.10 ± 0.02 | 0.38 ± 0.01 | 1.24 ± 0.2 | 0.57 ± 0.02 | 0.57 ± 0.17 |
| | Хл a | 2019 | – | 2.12 ± 0.53 | 4.13 ± 1.01 | 1.36 ± 1.17 | 2.54 ± 0.48 |
| | | 2020 | – | – | 4.66 | 6.15 | 5.41 ± 1.44 |
| | | 2021 | 0.24 ± 0.06 | 0.96 ± 0.03 | 3.9 ± 0.5 | 1.42 ± 0.04 | 1.63 ± 0.43 |
| Предустьевое взморье | B | 2019 | – | 0.98 ± 0.40 | 1.33 ± 0.44 | 0.71 ± 0.7 | 1.01 ± 0.24 |
| | | 2020 | – | – | 1.7 ± 0.291 | – | – |
| | | 2021 | 0.11 | 0.59 ± 0.08 | 0.55 ± 0.39 | – | 0.42 ± 0.14 |
| | Хл a | 2019 | – | 2.45 ± 1.01 | 3.34 ± 1.11 | 1.78 ± 1.77 | 2.52 ± 0.6 |
| | | 2020 | – | – | 4.30 ± 0.73 | – | – |
| | | 2021 | 0.27 | 1.46 ± 0.20 | 1,8 ± 0.98 | – | 1.04 ± 0.36 |

Примечание. Даны средняя арифметическая и ошибка средней, “–” – отбор проб не проводили.

ствия гидробионтов, осуществляемые за счет обильного дрефта организмов. Благодаря этому, в определенной точке водотока плотность особей, несмотря на интенсивный дрефт, может продолжительное время оставаться стабильной (Алимов, 2010). Соответственно, возникает вопрос относительно стабильности и вариабельности качественного состава и количественных характеристик зоопланктона лотических систем. Для зоопланктона реки характерно значительное разнообразие, связанное не только с дрефтом, а также с множеством экологических факторов и/или их различных комбинаций.

В период проведения исследования численность зоопланктона изменялась от 809 в 2019 г. до 2063 экз./м³ в 2021 г., биомасса – от 14.41 до 52.44 мг/м³ соответственно (табл. 4). В трехлетней динамике наиболее высокие показатели обилия зоопланктона наблюдали в 2021 г., вероятно, вследствие благоприятного комбинированного эффекта воздействия факторов на развитие планктонных животных. Наибольшего количественного развития достигали *Soropoda*; общими для всех трех лет исследований были ракообразные рода *Eurytemora*, способные обитать в солоноватых водах. В видовой структуре зоопланкто-

Таблица 2. Таксономический состав и экологическая характеристика зоопланктона в нижнем течении р. Северная Двина в 2019–2021 г.

| Таксон | Экотип, распространение, трофическая группа, зона, (индекс сапробности) | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Тип Rotifera | | | | |
| <i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850 | Пл, К, ХВ–ВС, β –о, (1.55) | + | + | + |
| <i>A. herricki</i> Guerne, 1888 | Пл, К, ХВ–ВС, о, (1.0) | + | + | + |
| <i>Asplanchna</i> sp. | | + | – | – |
| <i>Brachionus calyciflorus calyciflorus</i> Pallas, 1776 | Пл, К, В, β – α , (2.5) | + | + | + |
| <i>B. diversicornis</i> (Daday, 1883) | Пл, К, В, β , (2.0) | – | + | – |
| <i>B.</i> sp. | Пл, П, В, о– β , (1.25) | + | – | – |
| <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879) | | + | – | + |
| <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851) | Пл, К, В, о– β , (1.15) | + | – | + |
| <i>K. quadrata</i> (O.F. Müller, 1786) | Пл, К, В, β –о, (1.55) | + | – | + |
| <i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg, 1832) | Пл, К, В | – | – | + |
| <i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832 | Пл, К, В, β –о, (1.5) | + | – | + |
| <i>Lecane</i> sp. | | + | – | – |
| <i>Lepadella</i> sp. | Пл, ХВ–ВС, о, (1.0) | + | – | – |
| <i>Ploesoma hudsoni</i> (Imhof, 1891) | | + | – | – |
| <i>P.</i> sp. | Пл, Г, В, β –о, (1.8) | + | – | – |
| <i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin, 1943 | | + | – | + |
| <i>P. dolichoptera</i> Idelson, 1925 | Пл, П, В, о– β , (1.1) | + | – | – |
| <i>Synchaeta</i> sp. | | + | – | + |
| <i>Trichocerca</i> sp. | Пл, К, о, (1.3) | + | – | – |
| <i>Conochilus unicornis</i> Rousset, 1892 | | + | – | – |
| <i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834) | Пл, К, В, β , (2.35) | + | – | – |
| Надогряд Cladocera | | | | |
| <i>Acroperus harpae</i> (Baird, 1834) | Г, Ф, о– β , (1.4) | + | + | + |
| <i>Alona affinis</i> (Lydig, 1860) | М, П, Ф, о– β , (1.1) | + | – | – |
| <i>A. quadrangularis</i> (O.F. Müller, 1776) | М, Ф, о– β , (1.4) | + | + | + |
| <i>Alona</i> sp. | | + | – | – |
| <i>Alonopsis elongatus</i> G.O. Sars, 1862 | М, П, Ф, о, (0.8) | + | – | – |
| <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller, 1785) | Пл, К, Ф, β –о, (1.75) | + | + | + |
| <i>Coronatella rectangula</i> (G.O. Sars, 1862) | М, П, Ф, о– β , (1.3) | + | + | – |
| <i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841) | М, П, Ф, о, (1.3) | + | + | + |
| <i>Disparalona</i> sp. | | + | – | – |
| <i>Peracantha truncata</i> (O.F. Müller, 1785) | М, П, Ф, о, (1.3) | + | – | – |
| <i>Leydigia leydigi</i> (Schödler, 1863) | М, Г, С, β , (2.0) | + | – | – |
| <i>Pleuroxus uncinatus</i> (Baird, 1850) | М, Г, Ф, о– β , (1.4) | + | + | – |
| <i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine, 1820) | М, П, Ф, о, (1.2) | + | – | – |
| <i>Bosmina (Eubosmina) coregoni</i> Baird, 1857 | Пл, К, Ф, о, (0.95) | + | + | + |
| <i>B. (Bosmina) longirostris</i> (O.F. Müller, 1785) | Пл, К, Ф, о– β , (1.55) | + | + | + |
| <i>Bosminopsis</i> sp. | | – | + | – |
| <i>Ceriodaphnia pulchella</i> G.O. Sars, 1862 | Ф, о– β , (1.40) | – | + | + |
| <i>C. quadrangula</i> (O.F. Müller, 1785) | К, Ф, о, (1.15) | + | – | + |
| <i>Ceriodaphnia</i> sp. | | + | + | + |
| <i>Daphnia (Daphnia) cucullata</i> G.O. Sars, 1862 | Пл, П, Ф, β –о, (1.75) | + | – | + |
| <i>D. (D.) cristata</i> G.O. Sars, 1862 | Пл, П, Ф | + | – | – |

Таблица 2. Окончание

| Таксон | Экотип, распространение, трофическая группа, зона, (индекс сапробности) | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| <i>D. (D.) longispina</i> (O.F. Müller, 1776) | Пл, К, Ф, β, (2.0) | + | – | – |
| <i>Daphnia</i> sp. | | + | – | – |
| <i>Alonella nana</i> (Baird, 1843) | М, Ф, о–β, (1.4) | + | + | – |
| <i>Scapholeberis mucronata</i> (O.F. Müller, 1776) | Ф, β, (2.0) | + | – | – |
| <i>Pliocryptus acutifrons</i> G.O. Sars, 1862 | Г, С, β–α, (2.1) | + | – | – |
| <i>Macrothrix laticornis</i> (Jurine, 1820) | М, К, С, β, (1.7) | – | + | – |
| <i>M. hirsuticornis</i> Norman & Brady, 1867 | | + | – | – |
| <i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1761) | Г, Хв, о–β, (1.3) | + | – | – |
| <i>Sida crystallina</i> (O.F. Müller, 1776) | Пл, П, Ф, о–β, (1.3) | + | + | + |
| <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin, 1848) | о, (1.4) | + | + | + |
| <i>Limnospira frontosa</i> G.O. Sars, 1862 | Ф, о, (1.3) | – | – | + |
| Подкласс Соперода | | | | |
| <i>Acanthocyclops vernalis vernalis</i> (Fischer, 1853) | М, П, Хв, β–о, (1.85) | + | + | + |
| <i>A.</i> sp. | | + | + | – |
| <i>Cyclops scutifer scutifer</i> Sars G.O., 1863 | Пл, П, Хв | + | + | + |
| <i>C. strenuus strenuus</i> Fischer, 1851 | М, П, Хв, β–α, (2.25) | + | + | + |
| <i>C. vicinus vicinus</i> Uljanin, 1875 | Пл, П, Хв, β–α, (2.15) | + | – | – |
| <i>Cyclops</i> sp. | | + | – | – |
| <i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus, 1857) | | + | – | – |
| <i>Diacyclops</i> sp. | | + | – | – |
| <i>Eucyclops serrulatus serrulatus</i> (Fischer, 1851) | М, К, С, β–о, (1.85) | + | + | – |
| <i>Megacyclops viridis viridis</i> (Jurine, 1820) | П, К, Хв, β–о, (1.65) | + | + | + |
| <i>Mesocyclops leuckarti leuckarti</i> (Claus, 1857) | М, К, Хв, о–β, (1.25) | + | + | + |
| <i>Macrocyclus albidus albidus</i> (Jurine, 1820) | Хв, β, (2.0) | + | – | – |
| <i>Paracyclops affinis</i> (Sars G.O., 1863) | М, К, С, о, (1.0) | + | + | – |
| <i>P. fimbriatus fimbriatus</i> (Fischer, 1853) | К | + | + | + |
| <i>Paracyclops</i> sp. | | + | – | – |
| <i>Platycyclops phaleratus</i> (Koch, 1838) | П, β–о, (1.5) | + | + | – |
| <i>Thermocyclops crassus crassus</i> (Fischer, 1853) | Пл, К, Хв | + | – | – |
| <i>Th. oithonoides</i> (Sars G.O., 1863) | Пл, К, Хв, о–β, (1.3) | + | + | + |
| <i>Harpacticoida</i> sp. | | + | – | + |
| <i>Ectinosoma</i> sp. | | + | – | – |
| <i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars G.O., 1863) | | + | – | – |
| <i>E. graciloides</i> (Lilljeborg, 1888) | | + | – | – |
| <i>E.</i> sp. | | + | – | – |
| <i>Eurytemora affinis</i> (Poppe, 1880) | Пл, Г, Ф | + | + | + |
| <i>E. gracilis</i> (Sars G.O., 1898) | Пл, Г, Ф | + | + | – |
| <i>E. lacustris</i> (Poppe, 1887) | Пл, Г, Ф | + | + | – |
| Rotifera | | 19 | 4 | 11 |
| Cladocera | | 30 | 15 | 13 |
| Соперода | | 26 | 14 | 9 |
| Итого | | 75 | 33 | 33 |

Примечание. Экотип: Пл – планктонный, М – мейобентосный. Распространение: К – космополит, П – палеаркт, Г – голаркт. Трофическая группа: С – собиратели, Ф – фильтраторы, Хв – хвататели, Хв–вс – хвататели-всасыватели, В – вертикатеры. “+” – присутствие в пробах, “–” – отсутствие.

Таблица 3. Трофическая структура руководящего комплекса зоопланктонных организмов лотической системы Северной Двины

| Трофическая группа | Экологическая подгруппа по способу питания и передвижения | Вид |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Организмы, добывающие пищу из толщи воды | | |
| Хвататели-всасыватели | Плавание/захват + всасывание | <i>Asplanchna priodonta</i> |
| Фильтраторы первичные | Плавание/первичная фильтрация | <i>Bosmina coregoni</i> |
| | | <i>Bosmina longirostris</i> |
| Фильтраторы | Плавание/фильтрация + захват | <i>Eurytemora affinis</i> |
| | | <i>Eurytemora gracilis</i> |
| Организмы, добывающие пищу с поверхности субстрата | | |
| Вертикаторы | Плавание + ползание/вертикация | <i>Brachionus calyciflorus</i> |

Таблица 4. Пространственное распределение количественных показателей зоопланктона в нижнем течении р. Северная Двина

| Показатели | Станция отбора проб | | | | | В среднем по реке |
|------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | в черте г. Новодвинск | в черте г. Архангельск у ж/д моста | протока Кузнечиха | рукав Корабельный | протока Маймакса | |
| 2019 г. | | | | | | |
| <i>N</i> | 678 ± 322 | 450 ± 240 | 2004 ± 1281 | 180 ± 143 | 734 ± 506 | 809 ± 314 |
| <i>B</i> | 10.56 ± 6.28 | 7.63 ± 4.34 | 40.87 ± 28.82 | 2.23 ± 1.76 | 10.77 ± 6.50 | 14.41 ± 6.79 |
| 2020 г. | | | | | | |
| <i>N</i> | 516 ± 411 | 351 ± 299 | 2413 ± 1543 | 233 ± 151 | 1509 ± 1418 | 1004 ± 418 |
| <i>B</i> | 5.99 ± 2.99 | 6.02 ± 4.57 | 132.65 ± 86.57 | 4.87 ± 4.41 | 61.06 ± 60.08 | 42.12 ± 25.05 |
| 2021 г. | | | | | | |
| <i>N</i> | 1970 ± 819 | 2289 ± 1811 | 2700 ± 1199 | 1305 ± 702 | 2051 ± 645 | 2063 ± 228 |
| <i>B</i> | 46.89 ± 25.73 | 62.31 ± 51.11 | 82.71 ± 37.03 | 23.41 ± 16.61 | 46.87 ± 19.85 | 52.44 ± 9.79 |

Примечание. *N* – численность, экз./м³, *B* – биомасса, мг/м³. Даны средние арифметические и ошибка средней.

на в 2019 г. наблюдали перестройку, выраженную в смене доминантного вида *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880) и, в целом, таксономической группы зоопланктона. Численным ядром планктона в этот год оказался эврибионтный вид, имеющий всесветное распространение и являющийся показателем эвтрофных условий – *Bosmina (B.) longirostris* (Imant, Novoselov, 2021).

В пространственном аспекте количественные показатели организмов на станциях в черте г. Новодвинск и г. Архангельск у ж/д моста в 2020 г. были снижены по сравнению с 2019 и 2021 гг. В протоках Кузнечиха и Маймакса во все годы исследований зафиксированы наибольшие значения показателей. В этих протоках основной вклад в численность и биомассу вносили эврибионтные первичные фильтраторы – виды рода *Bosmina* и солоновато-водные фильтраторы – виды рода *Eurytemora*. В протоке Маймакса доминировали преимущественно *Bosmina*, которые спо-

собны переносить незначительные колебания солености; в протоке Кузнечиха – виды рода *Eurytemora*, что указывает на значительное влияние прибрежных вод на речную систему в этих протоках. С другой стороны, эти протоки отличаются по морфометрическим характеристикам по сравнению с крупными рукавами реки, и в них создается благоприятный термический режим в период летней межени, что положительно сказывается на количественном развитии вышеперечисленных организмов (Новоселов и др., 2022).

Индикаторные виды зоопланктона обследованной акватории достигали 60.8% общего числа видов, из них 44.3% – показатели β-мезосапробных условий и переходных о-β-, β-о-, β-α-мезосапробных зон, оставшиеся 16.5% – олигосапробной зоны.

Выводы. Трехлетний мониторинг планктонных сообществ нижнего течения р. Северная Двина, проведенный в период 2019–2021 гг. поз-

волил выявить основные характеристики их современного состояния. Содержание Хл *a* и количество биомассы фитопланктона представлены диапазоном величин, типичных для соответствующего периода сезонного цикла фитопланктона. Массовое развитие водорослей начиналось в период весеннего половодья, достигая максимума в летнюю межень с последующим снижением количественных показателей в осенний период. В то же время, интенсивность развития фитопланктона имела различия в межгодовом аспекте. В 2019 г. в черте г. Архангельск у ж/д моста после летнего скачка развития фитопланктона не происходило снижения биомассы, и в осенний период отмечались высокие значения количественных показателей. В 2021 г. в районе предустьевых взморья отмечены наиболее низкие значения биомассы фитопланктона и концентрации хлорофилла *a* на протяжении всего вегетационного периода. Невысокий продукционный потенциал альгоценозов планктона мог быть обусловлен как сезонной сукцессией (сменой групп, доминирующих в летнем планктоне, на осенний комплекс), так и поступлением загрязняющих веществ, снижающих скорость роста и фотосинтетическую активность фитопланктона.

Видовой перечень зоопланктона нижнего течения р. Северная Двина в период исследования был достаточно широк и включал в общей сложности 79 видов, наибольшего видового богатства достигали ветвистоусые ракообразные. Индикаторные виды зоопланктона исследуемого участка реки составляли более половины общего числа, виды-индикаторы полисапробных вод не обнаружены. В трехлетней динамике наиболее высокие показатели обилия зоопланктона наблюдали в 2021 г. Основной количественный фон планктона — копепоидный, общими для всех лет исследований были ракообразные рода *Eurytemora*, способные обитать в солоноватых водах. В 2019 г. происходила перестройка в структуре зоопланктона. Наиболее продуктивные по количественным показателям зоопланктона — связанные между собой водообменом протоки Кузнечиха и Маймакса (Пидгайко и др., 1968), что позволяет отнести их к районам с наиболее благоприятной кормовой базой для откорма молоди рыб независимо от их дальнейшей трофической специализации.

Состояние биотической части экосистемы (фито-, зоопланктон) по качественному (видовой состав и таксономическое разнообразие) и по количественному (численность и биомасса) составу можно считать удовлетворительным. Пространственная (различные участки нижнего течения реки) и сезонно-временная динамика количественных показателей находятся в соответствии с климатическими и экологическими особенностями региона.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания “Изучение изменений в экосистеме р. Северная Двина и в водоемах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Европейского северо-востока России в условиях климатических сукцессий и воздействия антропогенных факторов” (№ 122011800593-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алимов А.Ф. 2000. Элементы теории функционирования водных экосистем. Санкт-Петербург: Наука.
- Алимов А.Ф. 2010. Изменения структуры сообществ животных при эвтрофировании и загрязнении водных экосистем // Докл. РАН. Т. 433. № 2. С. 1.
- Бульон В.В. 1983. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Ленинград: Наука.
- Кононова О.Н. 2018. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона Европейского Севера России. Сыктывкар: Коми Науч. центр УрО РАН.
- Крылов А.В. 2005. Зоопланктон равнинных малых рек. Москва: Наука.
- Маргалев Р. 1992. Облик биосферы. Москва: Наука.
- Минеева Н.М. 2021. Многолетняя динамика хлорофилла в планктоне различных участков крупного равнинного водохранилища // Биология внутр. вод. № 6. С. 574.
<https://doi.org/10.31857/S0320965221060127>
- Новоселов А.П., Имант Е.Н., Артемьев С.Н. и др. 2022. Современное состояние планктонных и бентосных сообществ устьевой области реки Северная Двина // Экология. № 3. С. 1.
<https://doi.org/10.31857/S0367059722030088>
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. 2010. Т. 1. Зоопланктон. Москва: Товарищество науч. изданий КМК.
- Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. 1977. Ленинград: Гидрометеоиздат.
- Пидгайко М.Л., Александров Б.М., Иоффе Ц.И. и др. 1968. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР // Изв. ГосНИОРХ. Т. 67. С. 205.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. 1992. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат.
- Imant E.N., Novoselov A.P. 2021. Dynamics of Zooplankton Composition in the Lower Northern Dvina River and Some Factors Determining Zooplankton Abundance // Russ. J. Ecol. V. 52. № 1. P. 59.
<https://doi.org/10.1134/S1067413621010045>
- Jinhua Luo. 2013. Phytoplankton–zooplankton dynamics in periodic environments taking into account eutrophication // Math. Biosci. V. 245. Iss. 2. P. 126.
<https://doi.org/10.1016/j.mbs.2013.06.002>
- Song Cu., Choi H., Jeon MS. et al. 2021. Zooplankton diversity monitoring strategy for the urban coastal region using metabarcoding analysis // Sci. Rep. V. 11. P. 24339.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-03656-3>
- Yongzhen Pei, Yunfei Lv., Changguo Li. 2012. Evolutionary consequences of harvesting for a two-zooplankton one-phytoplankton system // Appl. Math. Model. V. 36. Iss. 4. P. 1752.
<https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.09.015>

Spatio-Temporal Distribution of Plankton Communities (Phyto- and Zooplankton) in the Lower Northern Dvina River

**A. P. Novoselov¹, *, E. N. Imant¹, Yu. V. Novikova¹,
N. Yu. Matveev¹, N. V. Klimovsky¹, and S. N. Artem'ev¹**

¹*Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia*

**e-mail: alexander.novoselov@rambler.ru*

The three-year (2019–2021) dynamics of the qualitative and quantitative composition of plankton communities in the lower reaches of the Northern Dvina River was analyzed. The results of the analysis of the species richness and taxonomic composition of zooplankton, as well as the results of the spatial and temporal distribution of the abundance and biomass of phyto- and zooplankton are presented. It was revealed that the average annual values of phytoplankton biomass and chlorophyll *a* concentration varied from 0.42 g/m³ and 1.04 mg/L in the pre-estuary coastal areas in 2021 to 2.16 g/m³ and 5.41 mg/L respectively, in the Kuznechikha channel in 2020. It was established that the species list of zooplankton for the study period included 79 species, the number of which in samples varied from 33 in 2020–2021 to 75 in 2019. The highest indicators of quantitative indicators of zooplankton in 2021 were revealed; in the spatial aspect, in the channels of the Kuznechikha and Maimaksa, their highest values were recorded in all years of research. The main contribution to both abundance and biomass was made by species of the genera *Bosmina* and *Eurytemora*.

Keywords: Northern Dvina, plankton communities, phytoplankton, zooplankton, chlorophyll *a* concentration, qualitative and quantitative indicators, spatial and temporal dynamics