

ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

И. Ю. Македонская^{1,*}, Е. В. Медведева¹, Н. Г. Отченаш¹,
И. И. Студенов¹, А. М. Торцев², Ю. М. Кони́на³

¹ Северный филиал “ВНИРО”,

163002 г. Архангельск, ул. Урицкого, 17, e-mail: *makedonskaya@severniro.ru

² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики

им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН 163000, г. Архангельск, пр. Никольский, 20

³ АО “Архангельский ЦБК” 164900, г. Новодвинск, ул. Мельникова, 1

Поступила в редакцию 11.04.2023

В работе обобщены результаты ежемесячных исследований фито- и зоопланктонных сообществ устьевой области р. Северная Двина, проводившихся в ходе экологического мониторинга с ноября 2020 г. по январь 2022 г. на водозаборах АО “Архангельский ЦБК” (г. Новодвинск) и ООО “РВК-Архангельск” (г. Архангельск и пос. Силикатчиков). По результатам планктонных съемок изучен качественный состав и описана внутригодовая изменчивость количественных показателей и структурных особенностей планктонных сообществ. В фитопланктоне обнаружено 273 внутривидовых таксона микроводорослей, среди которых преобладали диатомовые (159 таксонов). Показатели численности и биомассы изменялись синхронно в течение всего периода наблюдений. Первичная продукция и P/V коэффициенты находились на уровне значений для арктической зоны. Индекс Шеннона определил фитопланктонное сообщество как среднесложное в устойчивом состоянии. В зоопланктоне было обнаружено 45 видов, относящихся к четырем систематическим группам. Сезонная динамика зоопланктона характеризовалась двумя пиками численности и биомассы – в ноябре 2020 г. и июле 2021 г. По видовому составу зоопланктонное сообщество в районах водозаборов в феврале–июне 2021 г. можно характеризовать как кладоцерное, в июле – как коловраточно-кладоцерно-копеподное, в августе – как коловраточно-кладоцерное, а декабрь можно считать окончанием вегетационного периода. Проведена оценка степени загрязнения по индексу сапробности фитопланктона и зоопланктона. Установлено, что состояние вод р. Северная Двина в районе исследования соответствовало олиго-β-мезосапробной зоне или II классу качества вод (умеренно загрязненные).

Ключевые слова: Северная Двина, фитопланктон, зоопланктон, численность, биомасса, индекс Шеннона, индекс сапробности.

DOI: 10.47021/0320-3557-2023-65-80

ВВЕДЕНИЕ

В р. Северная Двина и ее притоках фитопланктон формирует более высокие по сравнению с зоопланктоном биомассы, и потому фитопланктон играет основную роль при оценке воздействия на водные биоресурсы и среду их обитания при заборе воды [Студенов, Торцев, 2020 (Studenov, Tortsev, 2020)]. Существенное влияние на планктонные сообщества одновременно оказывают факторы, которые в дальнейшем сказываются на неоднородности пространственного распределения и скачкообразности количественных показателей [Шушкина и др., 1997 (Shushkina et al., 1997)]. Эти изменения определяются как внутри- и межвидовыми отношениями в фитопланктоне, так и условиями внешней среды. В числе влияющих условий специалисты выделяют температуру и перемещение водных

масс, освещенность и минеральное питание [Кузьмин, 1975 (Kuzmin, 1975)]. Основной реакцией фитопланктона на увеличение термальной нагрузки является смещение и удлинение сроков вегетации и увеличении биомассы [Ташлыкова, Афо́нина, 2018 (Tashlykova, Afonina, 2018)]. Структура и уровень количественного развития фитопланктона является интегральным результатом этих разнонаправленных воздействий [Ляшенко и др., 2020 (Lyashenko et al., 2020)].

Цель работы – определение состояния планктонных сообществ устьевой области р. Северная Двина в районе насосных станций первого подъема речной воды для последующей оценки воздействия на водные биоресурсы и среду их обитания при заборе воды по фактическим значениям.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для данной работы послужили результаты обработки 69 проб фитопланктона и 44 проб зоопланктона, отобранных в устьевой области р. Северная

Двина ежемесячно в период с ноября 2020 г. по январь 2022 г.

Река Северная Двина образуется от слияния рек Сухона и Юг, впадает в Двинскую губу Белого моря. Ее общая протяжен-

ность – 744 км [Жила, Алюшинская, 1965 (Zhila, Alyushinskaya, 1965)].

Площадь водосбора – 357000 км², речная сеть развита очень сильно – в ее состав входит 61878 рек и ручьев, средняя густота речной сети по бассейну составляет 0.58 км/км² [Жила, Алюшинская, 1972 (Zhila, Alyushinskaya, 1972)]. Средний годовой водный сток р. Северная Двина в Белое море – порядка 110 км³. При впадении в Двинскую губу образует обширную дельту, состоящую из >150 протоков [Ильина, Грахов, 1987 (Ilyina, Grakhov, 1987)].

Ширина нижней оконечности дельты достигает 45 км, глубина врезания в материк – 37 км. Площадь дельты 900 км², на долю суши приходится около 55% общей площади. Устьевая область р. Северная Двина имеет протяженность 140 км и состоит из приустьевых участка протяженностью 100 км, в верхней части которого расположено Холмогорское разветвление из трех рукавов, а также дельты,

состоящей из трех рукавов, двух крупных протоков и множества мелких; в состав устьевой области включается также приустьевое взморье [Гидрология..., 1965 (Hydrology..., 1965)].

В устьевой области наблюдаются приливы, относящиеся к полусуточному мелководному типу с наличием манихи – временной приостановки или даже падения уровня воды в фазу прилива. Средняя высота прилива около г. Архангельск составляет 1.2 м в сизигию и 0.9 м в квадратуру. В зимний период из-за ледового покрова высота прилива уменьшается на 0.2–0.3 м. Гидрологический режим р. Северная Двина имеет ярко выраженную сезонную изменчивость с продолжительным весенним половодьем (май–июнь), периодом летней межени (июль–август), осенними паводками и зимней меженью (январь–март). Исследования выполняли на участках устьевой области р. Северная Двина в районах городов Архангельск, Новодвинск и пос. Силикатчиков (рис. 1).

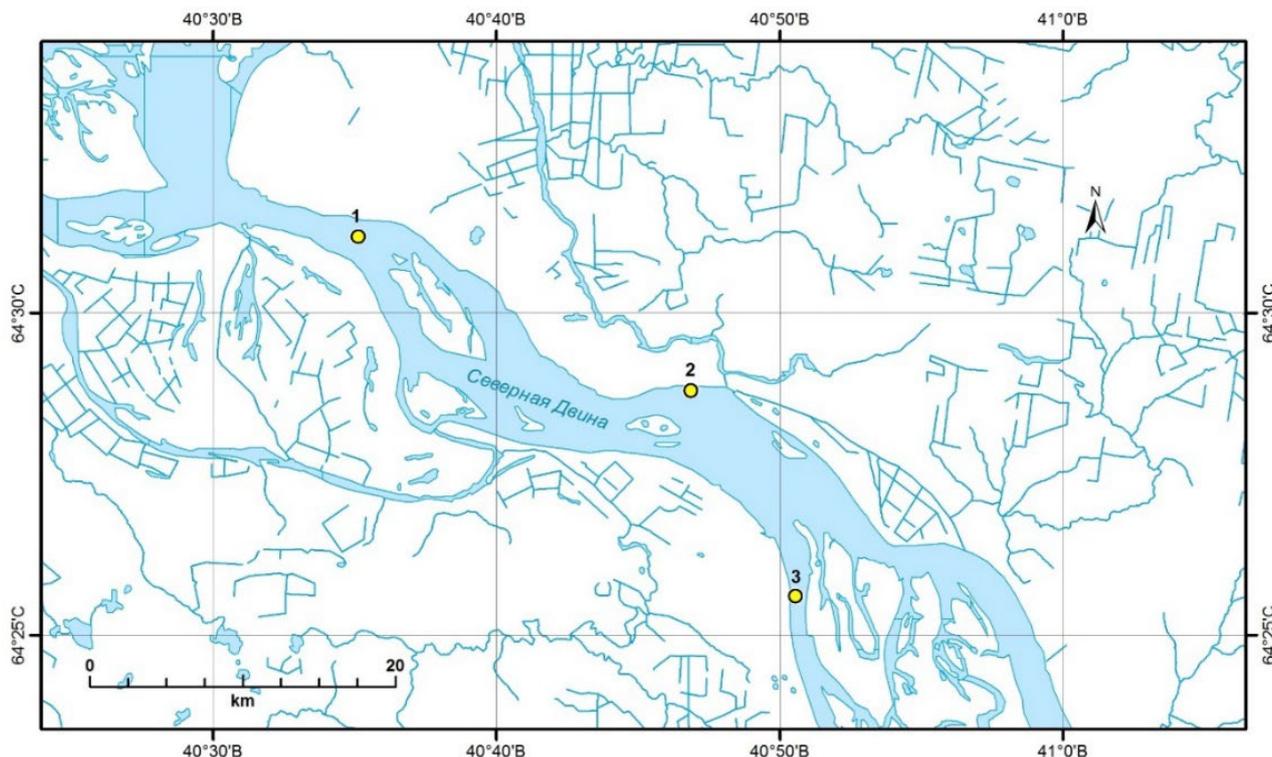


Рис. 1. Карта-схема расположения точек отбора проб планктона р. Северная Двина в 2020–2022 гг. (1 – г. Архангельск, 2 – п. Силикатчиков, 3 – г. Новодвинск).

Fig. 1. Map-diagram of the location of plankton sampling points of the Northern Dvina River in 2020–2022 (1 – Arkhangelsk city, 2 – Silikatnikov settlement, 3 – Novodvinsk city).

Отбор и обработка проб фитопланктона проводились согласно стандартным методикам [Руководство..., 1992 (Guidelines..., 1992); Методические..., 1988 (Methodological..., 1988)]. Пробы фитопланктона отбирались с поверхностного горизонта пластиковыми пробоотборниками в объеме 1 л с последующей фиксацией 40%-ным формалином. После

отстаивания пробы концентрировались до 1–2 мл. Отобранный материал обрабатывали камерально путем визуализации с использованием лабораторного микроскопа БиОптик С-300. Расчет биомассы проводили с помощью таблиц размеров и весов (масс) фитопланктона [Михеева, 1999 (Mikheeva, 1999)]. Видовой состав фитопланктона определяли по [Елен-

кин, 1938 (Elenkin, 1938); Диатомовый..., 1949 (Diatom..., 1949); Диатомовый, 1950 (Diatom..., 1950); Матвиенко, 1954 (Matvienko, 1954); Дедусенко-Щеголева, Голлербах, 1962 (Dedusenko-Shchegoleva, Gollerbach, 1962); Комаренко, Васильева, 1978 (Komarenko, Vasilyeva, 1978)] и с использованием электронных ресурсов [WoRMS].

Первичную продукцию фитопланктона рассчитывали косвенным методом с использованием уравнения В.Е. Шемшура [Шемшура и др., 1990 (Shemshura et al., 1990)]:

$$P_0 = 1.47 + 0.93 \lg C_0,$$

где P_0 – первичная продукция (мкг С/л×сут), C_0 – концентрация хлорофилла a (мкг/л).

Биомассу фитопланктона, выраженная в единицах углерода, рассчитывали исходя из концентрации хлорофилла a с использованием пересчетного коэффициента [Федоров, 1979 (Fedorov, 1979)]. Расчет хлорофилла a (мг/м³) фитопланктона производится в соответствии с ГОСТ [ГОСТ 17.1.4.02-90, 2001 (GOST 17.1.4.02-90, 2001)].

Расчет Р/В-коэффициента производится по формуле:

$$P/V = P_0 : B,$$

где P_0 – первичная продукция (мкг С/л×сут), B – биомасса фитопланктона (мг С/л) [Зенкевич, 1931 (Zenkevich, 1931)].

Индекс сапробности определялся по методу Пантле-Букка в модификации Сладечека. Чем больше данный индекс, тем выше уровень загрязнения вод. [РД 52.24.309-2016 (RD 52.24.309-2016)]. Индивидуальную сапробность

каждого вида определяли по справочнику [Унифицированные..., 1977 (Unified..., 1977)].

На основе численности и биомассы всех обнаруженных в исследованных озерах видов фитопланктона рассчитывали информационный индекс Шеннона для оценки структуры и выравненности сообщества микроводорослей [Шитиков и др., 2003 (Shitikov et al., 2003)].

Отбор и обработку проб зоопланктона проводили согласно стандартным методикам [Руководство..., 1992 (Guidelines..., 1992); Яшнов, 1969 (Yashnov, 1969)]. Зоопланктон отбирали путем процеживания 100 л воды через качественную планктонную сеть Апштейна с последующей фиксацией 40%-ным формалином. Материал обрабатывали камерально путем визуализации с использованием стереоскопического микроскопа БиОптик СС-200 и лабораторного микроскопа БиОптик С-300. Расчет биомассы проводили с помощью таблиц размеров и весов (масс) зоопланктонных организмов [Кононова, Фефилова, 2018 (Kononova, Fefilova, 2018)].

Статистическую обработку данных и создание рисунков проводили в программе Microsoft Excel.

В период проведения исследований измеряли температура воды (табл. 1). Следует отметить, что среднее значение температуры в осенний период было несколько выше весенних значений.

Температура воды в районе исследований изменялась в большом диапазоне: от минимальной (0.5°C) на всех точках в феврале 2021 г. до максимальной (26.1°C) в июле 2021 г. в районе пос. Силикатчиков.

Таблица 1. Температура воды в устьевой области р. Северная Двина в районах г. Новодвинск, г. Архангельск и пос. Силикатчиков в 2020–2022 гг.

Table 1. Water temperature in the estuarine region of the Severnaya Dvina in the districts of Novodvinsk, Arkhangelsk and Silikatchikov settlement in 2020–2022

Сезон Season	р. Северная Двина, г. Архангельск Severnaya Dvina river, Arkhangelsk city	р. Северная Двина, пос. Силикатчиков Severnaya Dvina river, Silikatchikov settlement	р. Северная Двина, г. Новодвинск Severnaya Dvina river, Novodvinsk city	Среднее значение в районе исследований Average value in the research area
Зима Winter	<u>0.7</u> 0.5–0.8	<u>3.1</u> 0.5–3.1	<u>2.4</u> 0.5–7.6	<u>1.87</u> 0.5–4.6
Весна Spring	<u>5.76</u> 0.9–11.4	<u>5.63</u> 1.4–11.6	<u>5.83</u> 0.8–11.5	<u>5.33</u> 0.8–11.6
Лето Summer	<u>20.8</u> 18.6–23.5	<u>21.97</u> 19.4–26.1	<u>20.66</u> 18.2–23.7	<u>24.14</u> 18.2–26.1
Осень Autumn	<u>6.13</u> 0.9–10.9	<u>6.47</u> 2.1–9.8	<u>5.48</u> 0.9–9.4	<u>5.78</u> 0.9–10.9

Примечание. Данные в числителе – среднее значение; данные в знаменателе – интервал значений.

Note. The data in the numerator is the average value; the data in the denominator is the range of values.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В районе насосных станций первого подъема речной воды в период исследований всего было обнаружено 273 вида представителей фитопланктонного сообщества, относящихся к 8 отделам (табл. 2).

В период исследований преобладали пресноводные планктонные космополиты фитопланктона, что характерно для большинства водотоков умеренной зоны. Наибольший

вклад в видовое богатство приносили представители диатомовых, зеленых водорослей и цианобактерий (рис. 2).

Минимальное (3 вида) разнообразие фитопланктона отмечено в феврале 2021 г. в районе пос. Силикатчиков, а максимальное (81 вид) – в июле 2021 г. в районе г. Новодвинск (рис. 3).

Таблица 2. Таксономический состав фитопланктона р. Северная Двина в районах г. Новодвинск, г. Архангельск и пос. Силикатчиков в 2020–2022 гг.

Table 2. Taxonomic composition of phytoplankton of the Northern Dvina River in the districts of Novodvinsk, Arkhangelsk and Silikatchikov settlement in 2020–2022

Отделы Departments	г. Архангельск Arkhangelsk	пос. Силикатчиков Silikatchikov settlement	г. Новодвинск Novodvinsk	Всего Total
Bacillariophyta	103	94	151	159
Chlorophyta	45	36	58	67
Суанобактерия Cyanobacteria	17	16	24	27
Chrysophyta	3	3	3	3
Сруптофита Cryptophyta	2	2	2	3
Ochrophyta	2	1	2	3
Dinophyta	3	2	4	5
Euglenophyta	3	3	6	6
Всего / Total	178	157	250	273

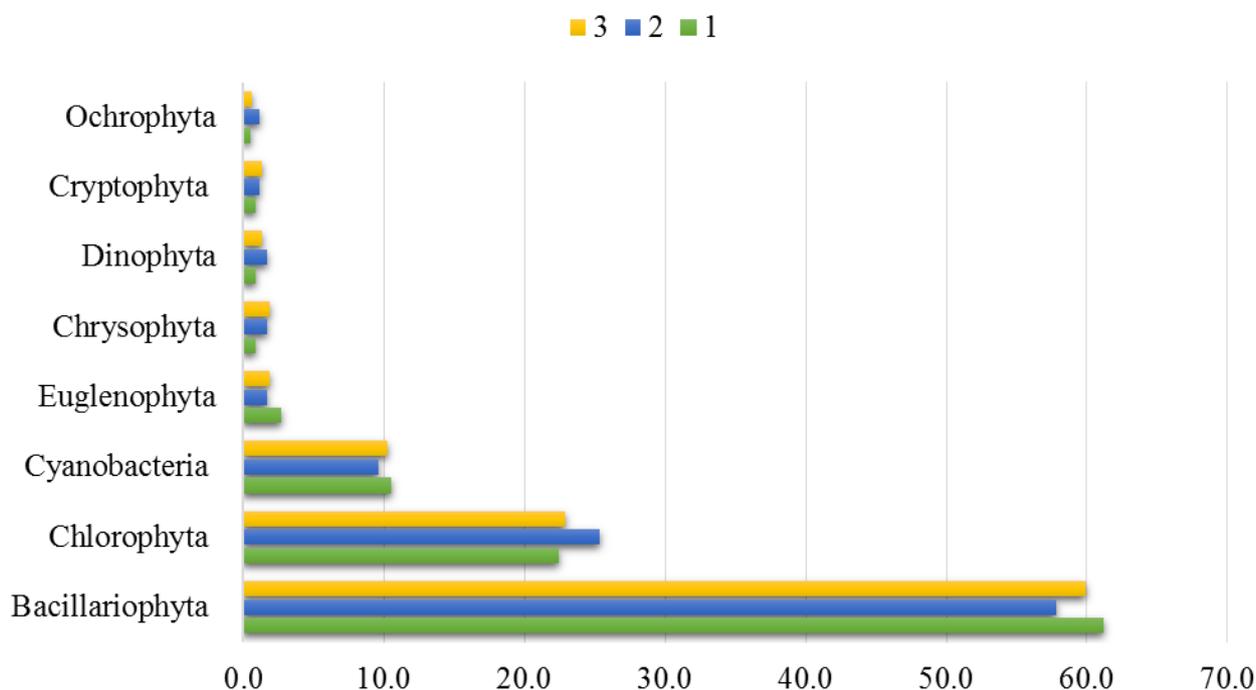


Рис. 2. Общий таксономический состав фитопланктона р. Северная Двина в процентном соотношении в районах г. Новодвинск г. (1), Архангельск (2) и пос. Силикатчиков (3) в 2020–2022 гг.

Fig. 2. The total taxonomic composition of phytoplankton of the Northern Dvina River in percentage ratio in the districts of Novodvinsk (1), Arkhangelsk (2) and Silikatchikov settlement (3) in 2020–2022.

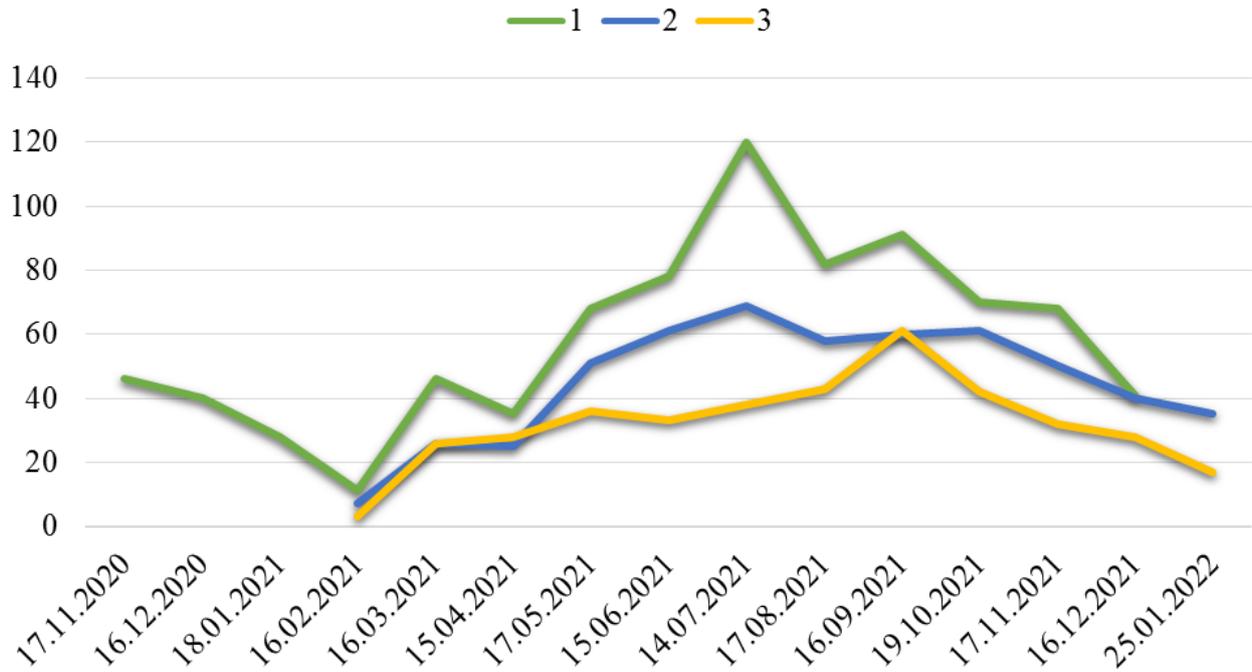


Рис. 3. Количество видов фитопланктона р. Северная Двина в районах г. Новодвинск (1), г. Архангельск (2) и пос. Силикатчиков (3) в 2020–2022 гг.

Fig. 3. The number of phytoplankton species of the Northern Dvina River in the districts of Novodvinsk (1), Arkhangelsk (2) and Silikatchikov settlement (3) in 2020–2022.

В зимний период (декабрь–февраль) доминирующие позиции по численности и биомассе занимали диатомовые (*Aulacoseira granulata*, *A. distans*, *Melosira varians*) и цианобактерии рода *Anabaena*. В районе г. Архангельск в качестве субдоминант по численности были отмечены *Fragilaria prolongata* из диатомовых и *Desmodesmus maximus* из зеленых микроводорослей.

Весной (март–май) на всех точках отбора проб доминировали по численности и биомассе диатомовые микроводоросли (*Aulacoseira granulata*, *A. distans*) и цианобактерия *Dolichospermum flosaquae*. В качестве субдоминантов в районе г. Архангельск были отмечены *Coenocystis* sp. из зеленых водорослей и диатомовая *Melosira varians*.

В летний сезон (июнь–август) комплекс видов, формирующих основную биомассу и численность, составляли диатомовые водоросли (*Aulacoseira granulata*, *Melosira moniliformes* и *Asterionella formosa*) и цианобактерия *Aphanocapsa grevillei*. В качестве субдоминант по биомассе отмечены колониальные *Coenocystis* sp. и *Mucidosphaerium pulchellum* из зеленых, а также крупная *Surirella splendida* из диатомовых микроводорослей.

Осенью (сентябрь–ноябрь) доминантами по биомассе и численности являлись диатомовые микроводоросли (*Aulacoseira granulata*,

A. distans, *Melosira moniliformes*, *Asterionella formosa*) и цианобактерия (*Aphanocapsa grevillei*). В качестве субдоминант отмечены: по биомассе – представители диатомовых водорослей (*Cymatopleura solea*, *Stephanodiscus astraea* и *Nitzschia sigmaidea*) и колониальная зеленая *Mucidosphaerium pulchellum*; по численности – также диатомовые (*Fragilaria crotonensis*, *Cyclotella comta*) и колониальная цианобактерия *Chroococcus turgidus*.

Исходя из полученных данных, видно, что диатомовые *Aulacoseira granulata*, *A. distans* и представители рода *Melosira* (*Melosira varians*, *M. moniliformes*) занимали доминирующие позиции по численности и биомассе фитопланктона во все сезоны и на всех точках отбора проб.

Следует отметить, что биологические весна, лето и осень имеют отличные от календарных временные интервалы: весенний период развития планктонных водорослей, как правило, приходится на май–июнь, летний – на июль–сентябрь, осенний – на октябрь–ноябрь, но возможны изменения сроков наступления и окончания каждого из периодов сезонной сукцессии в зависимости от погодных условий.

Количественные характеристики фитопланктонного сообщества в районе исследования представлены в таблице 3.

Таблица 3. Количественные характеристики фитопланктона р. Северная Двина в районах г. Новодвинск, г. Архангельск и пос. Силикатчиков в 2020–2022 гг.**Table 3.** Quantitative characteristics of phytoplankton of the Northern Dvina River in the districts of Novodvinsk, Arkhangelsk and Silikatchikov settlement in 2020–2022

Сезон Season	г. Архангельск Arkhangelsk		пос. Силикатчиков, Silikatchikov settlement		г. Новодвинск Novodvinsk	
	Численность, млн. кл./м ³ Number, million cells/m ³	Биомасса, мг/м ³ Biomass, mg/m ³	Численность, млн. кл./м ³ Number, million cells/m ³	Биомасса, мг/м ³ Biomass, mg/m ³	Численность, млн. кл./м ³ Number, million cells/m ³	Биомасса, мг/м ³ Biomass, mg/m ³
Зима Winter	<u>9.01</u> 0.9–15.8	<u>23.97</u> 1.6–41.8	<u>17.6</u> 1.7–33.3	<u>37.55</u> 3.2–62.8	<u>17.6</u> 1.7–33.3	<u>37.55</u> 3.2–62.8
Весна Spring	<u>9.43</u> 6.5–15.2	<u>24.2</u> 14.4–30.3	<u>69.1</u> 8.6–103.6	<u>111.43</u> 15.6–186.8	<u>69.1</u> 8.6–103.6	<u>111.43</u> 15.6–186.8
Лето Summer	<u>247</u> 92.5–353.1	<u>609.43</u> 469.5–780.2	<u>276.87</u> 114.3–367.2	<u>800.77</u> 585.9–1091.7	<u>276.87</u> 114.3–367.2	<u>800.77</u> 585.9–1091.7
Осень Autumn	<u>32.23</u> 16.7–57.1	<u>48.37</u> 24.3–67.7	<u>61.63</u> 28.4–108.1	<u>201</u> 49.7–383.2	<u>61.63</u> 28.4–108.1	<u>201</u> 49.7–383.2

Примечание. Данные в числителе – среднее значение; данные в знаменателе – интервал значений.

Note. The data in the numerator is the average value; the data in the denominator is the range of values.

Численность фитопланктона в районе исследований изменялась в большом диапазоне: от минимальной (1.7 млн кл./м³) в феврале 2021 г. до максимальной в июле 2021 г. (367.2 млн кл./м³) (рис. 4).

Биомасса фитопланктона также была очень изменчива: от минимальной (1.6 мг/м³) в феврале 2021 г. в районе г. Архангельска

до максимальной (1091.73 мг/м³) в июле 2021 г. в районе г. Новодвинск. Также можно отметить несколько вспышек развития микроводорослей: весенняя (март), летняя (июль) и осенняя (ноябрь). С наступлением вегетационного периода (май–сентябрь) количественные показатели фитопланктонного сообщества значительно возрастают (рис. 4, 5).

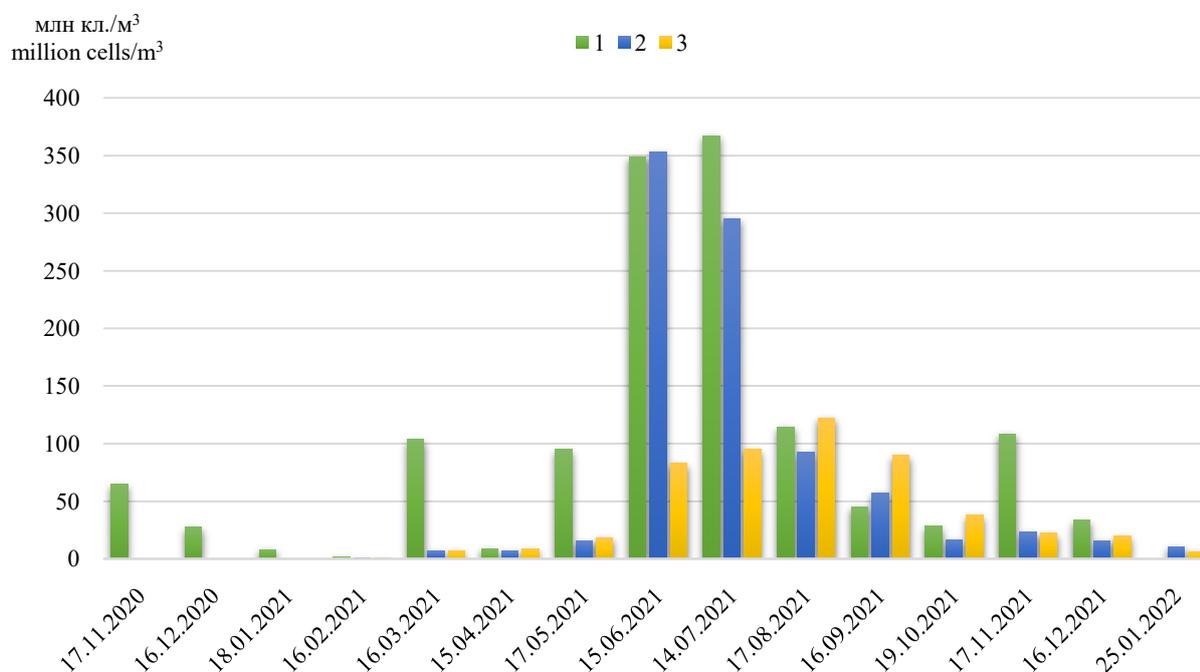


Рис. 4. Численность (млн кл./м³) фитопланктона в р. Северная Двина в районах г. Новодвинск (1), г. Архангельск (2) и пос. Силикатчиков (3) в 2020–2022 гг.

Fig. 4. The number (million cells/m³) of phytoplankton in the Severnaya Dvina River in the districts of Novodvinsk (1), Arkhangelsk (2) and Silikatchikov settlement (3) in 2020–2022.

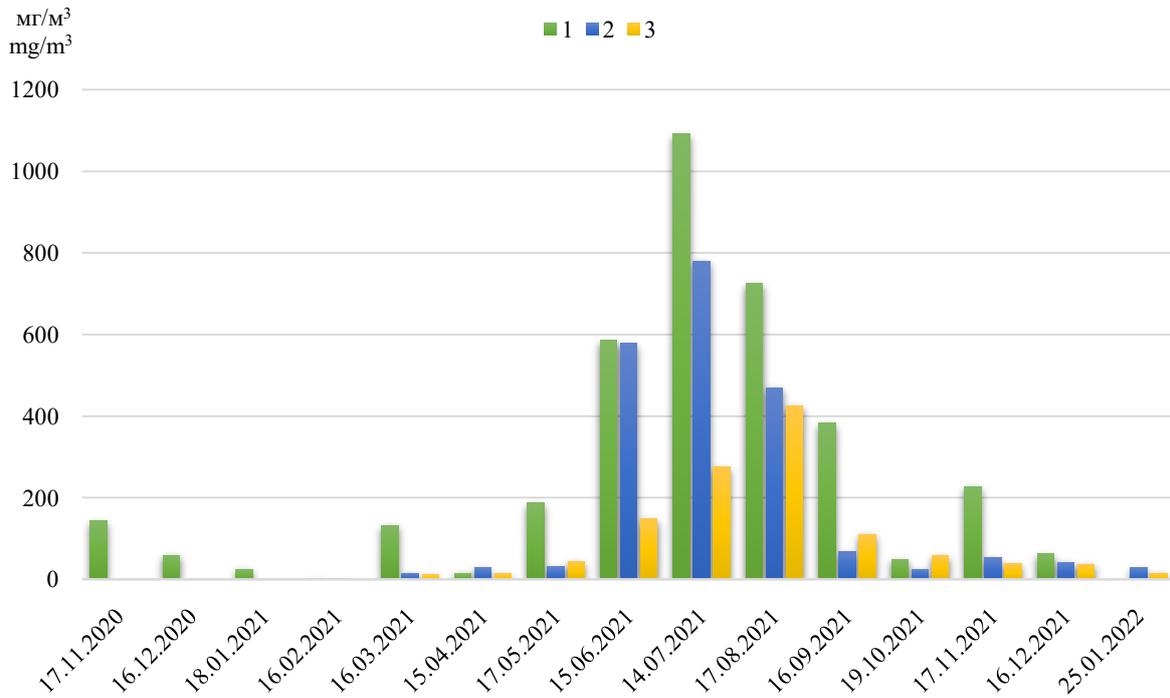


Рис. 5. Биомасса ($\text{мг}/\text{м}^3$) фитопланктона р. Северная Двина в районах г. Новодвинск (1), г. Архангельск (2) и пос. Силикатчиков (3) в 2020–2022 гг.

Fig. 5. Biomass (mg/m^3) of phytoplankton of the Northern Dvina River in the districts of Novodvinsk (1), Arkhangelsk (2) and Silikatchikov settlement (3) in 2020–2022.

За весь период наблюдений средние значения численности и биомассы фитопланктона составили: в районе г. Новодвинск – $96.75 \text{ млн кл./м}^3$ и $263.6 \text{ мг}/\text{м}^3$ соответственно; в районе г. Архангельск – $74.42 \text{ млн кл./м}^3$ и $176.5 \text{ мг}/\text{м}^3$ соответственно; в районе пос. Силикатчиков – 42.6 млн кл./м^3 и $98.1 \text{ мг}/\text{м}^3$ соответственно. Из полученных данных видно, что наибольшие количественные показатели развития фитопланктонного сообщества были отмечены в районе г. Новодвинск, а наименьшие – в районе пос. Силикатчиков (табл. 3, рис. 4, 5). Динамика развития биомассы и численности микроводорослей соответствует классической схеме развития фитопланктона в умеренных и умеренно высоких широтах [Моисеенко, 1996 (Moiseenko, 1996); Зметная, Новикова, 2015 (Zmetnaya, Novikova, 2015)]. Исходя из литературных данных, в течение года в дельте р. Северная Двина численность и биомасса фитопланктона находились в диапазоне от 17.8 до $784.8 \text{ млн кл./м}^3$ и от 322.4 до $3354.9 \text{ мг}/\text{м}^3$ соответственно [Новикова и др., 2018 (Novikova et al., 2018)], а в русле реки в летний период в диапазоне 32.9 – 788 млн кл./м^3 и 75.35 – $1259.16 \text{ мг}/\text{м}^3$ соответственно [Медведева, Македонская, 2021 (Medvedeva, Makedonskaya, 2021)].

Первичная продукция фитопланктона также была очень изменчива: от минимальной в феврале 2021 г. ($2.11 \text{ мкг С/л} \times \text{сут}$) в районе г. Архангельск до максимальной в августе 2021 г. ($226.03 \text{ мкг С/л} \times \text{сут}$) в районе г. Новодвинск. Также можно отметить несколько всплесков развития микроводорослей: весенняя (март), летняя (июль) и осенняя (ноябрь). С наступлением вегетационного периода (май–октябрь) первичная продукция фитопланктонного сообщества значительно возрастает (рис. 6).

Наибольшие средние значения первичной продукции фитопланктона были отмечены в районе г. Новодвинск, а наименьшие – в районе пос. Силикатчиков (табл. 4, рис. 6). Первичная продукция фитопланктона дельты р. Северная Двина за сезон в среднем составляла $83.4 \text{ мг С}/\text{м}^3 \times \text{сут}$.

Как видно из таблицы 4 и рисунка 7, полученные диапазоны суточного Р/В коэффициента фитопланктона районе г. Новодвинск, г. Архангельск и пос. Силикатчиков находятся на уровне значений для данной географической зоны (1.62 – 2.08) в имеющихся литературных источниках [Новикова и др., 2018 (Novikova et al., 2018); Оглы, 2009 (Ogly, 2009); Трансформация..., 1989 (Transformation..., 1989)].

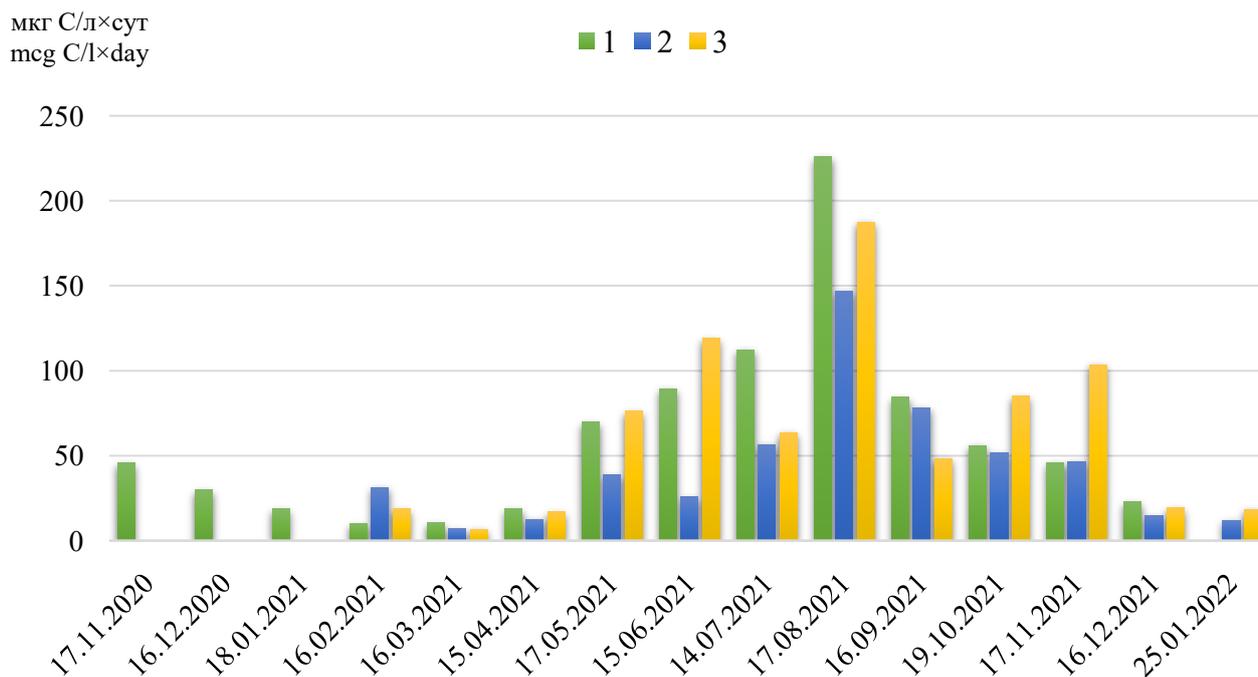


Рис. 6. Первичная продукция ($\text{мг С/л}\times\text{сут}$) фитопланктона р. Северная Двина в районах г. Новодвинск (1), г. Архангельск (2) и пос. Силикатчиков (3) в 2020–2022 гг.

Fig. 6. Primary production ($\text{mg S/m}^3\times\text{day}$) of phytoplankton of the Northern Dvina River in the districts of Novodvinsk (1), Arkhangelsk (2) and Silikatchikov settlement (3) in 2020–2022.

Таблица 4. Первичная продукция и Р/В коэффициент фитопланктона р. Северная Двина в районах г. Новодвинск, г. Архангельск и пос. Силикатчиков в 2020–2022 гг.

Table 4. Primary production and R/V phytoplankton coefficient of the Severnaya Dvina River in the districts of Novodvinsk, Arkhangelsk and Silikatchikov settlement in 2020–2022

Сезон	г. Новодвинск, Novodvinsk,		г. Архангельск, Arkhangelsk		пос. Силикатчиков, Silikatchikov settlement	
	Р (продукция), $\text{мг С/л}\times\text{сут}$ Р (production), $\text{mcg C/l}\times\text{day}$	Р/В коэффициент Р/В coefficient	Р (продукция), $\text{мг С/л}\times\text{сут}$ Р (production), $\text{mcg C/l}\times\text{day}$	Р/В коэффициент Р/В coefficient	Р (продукция), $\text{мг С/л}\times\text{сут}$ Р (production), $\text{mcg C/l}\times\text{day}$	Р/В коэффициент Р/В coefficient
Зима Winter	<u>20.37</u> 10.17–29.82	<u>2.04</u> 1.97–2.13	<u>19.4</u> 12.11–31.34	<u>2.04</u> 1.96–2.1	<u>18.86</u> 18.54–19.36	<u>2.03</u> 2.03–2.04
Весна Spring	<u>32.98</u> 10.56–69.78	<u>2.01</u> 1.84–2.13	<u>19.49</u> 6.94–38.84	<u>2.07</u> 1.93–2.19	<u>33.39</u> 6.75–76.43	<u>2.03</u> 1.83–2.2
Лето Summer	<u>142.53</u> 89.29–226.03	<u>1.76</u> 1.69–1.81	<u>76.4</u> 25.65–146.84	<u>1.87</u> 1.74–1.99	<u>123.46</u> 63.77–187.52	<u>1.78</u> 1.71–1.86
Осень Autumn	<u>58.02</u> 45.82–84.43	<u>1.88</u> 1.82–1.9	<u>58.9</u> 46.75–78.46	<u>1.87</u> 1.83–1.9	<u>79.04</u> 48.5–103.69	<u>1.83</u> 1.79–1.89

Примечание. Данные в числителе – среднее значение; данные в знаменателе – интервал значений.

Note. The data in the numerator is the average value; the data in the denominator is the range of values.

Достаточно высокие показатели развития фитопланктона в ноябре–декабре 2020 г. и октябре–ноябре 2021 г. можно объяснить высокими значениями температуры воды для осеннего сезона в месте отбора проб и позд-

ними сроками ледостава. Снижение количественных показателей фитопланктона в январе–феврале обусловлено наступлением зимнего периода: усиление морозов, установление ледового покрова, сокращением светового дня.

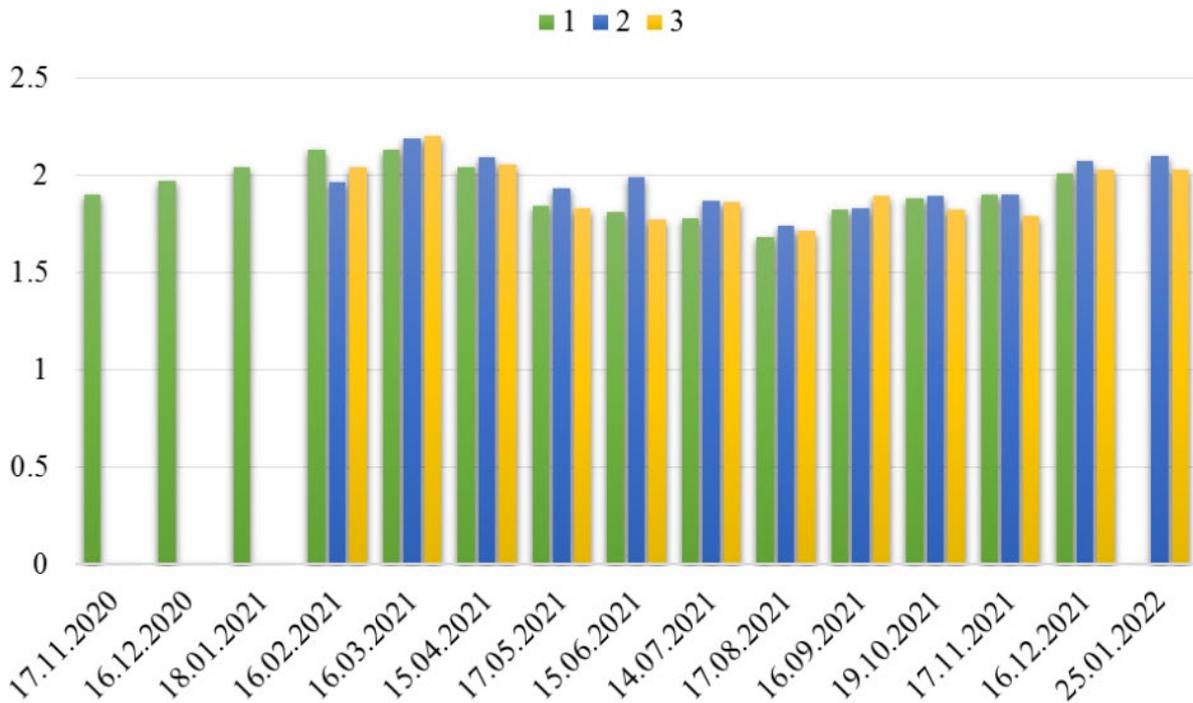


Рис. 7. P/B коэффициент фитопланктона р. Северная Двина в районах г. Новодвинск (1), г. Архангельск (2) и пос. Силикатчиков (3) в 2020–2022 гг.

Fig. 7. P/B phytoplankton coefficient of the Northern Dvina River in the districts of Novodvinsk (1), Arkhangelsk (2) and Silikatchikov settlement (3) in 2020–2022.

В связи с данными процессами также происходит снижение фотосинтетической активности фитопланктона, отмечается преобладание деструктивных процессов над продукционными. Достаточно высокие показатели развития фитопланктона в марте, апреле и мае 2021 г. связаны со сменой сезона (весна), увеличением светового дня и вскрытием ледового покрова. С наступлением летнего сезона (июнь–август) значительно увеличивается продолжительность светового дня, повышается температура воды, что приводит к росту качественных и количественных показателей развития фитопланктона. С сентября начинается постепенное снижение количественных показателей развития фитопланктонного сообщества в связи с наступлением осеннего сезона (уменьшение светового дня, понижение температуры).

Индекс сапробности фитопланктона в районе исследований варьировал в диапазоне от 1.2 и до 2.3, среднегодовое значение индекса составило 1.7 (табл. 5). Сапробиологическое состояние вод р. Северная Двина в районе исследования соответствовало олиго-β-мезосапробной зоне (индекс сапробности 1.5–2.5) или II классу качества вод с умеренным содержанием органических веществ (умеренно загрязненные), что хорошо коррелируется

с аналогичными данными для русла р. Северная Двина в летний период [РД 52.24.309-2016 (RD 52.24.309-2016); Медведева, Македонская, 2021 (Medvedeva, Makedonskaya, 2021); Обзор..., 2014 (Overview..., 2014)].

Индекс биоразнообразия Шеннона-Уивера отражает сложность структуры сообщества и может изменяться от 0 до 5. Средние значения данного индекса колебались в пределах: по численности от 2.25 (весна) и до 3.39 (осень) и по биомассе от 2.2 (зима) и до 2.99 (осень). Можно отметить, что наиболее сложная структура исследованного фитопланктонного сообщества была в осенний период. Среднегодовые значения индекса биоразнообразия Шеннона-Уивера по численности (2.74) и биомассе (2.48) свидетельствуют о средней сложности структуры сообщества фитопланктона и вполне устойчивом состоянии данного сообщества (табл. 5).

Для более точного описания исследуемых данных, был применен метод статистического анализа. Наибольшее стандартное отклонение присутствовало в данных по районам г. Новодвинск и пос. Силикатчиков – биомасса, г. Архангельск – численность и биомасса, что говорит о большом разбросе значений.

Таблица 5. Значения индекса сапробности по В. Сладечку (S), индекса видового разнообразия Шеннона-Уивера по численности (H'1) и биомассе (H'2) фитопланктона в р. Северная Двина в районах г. Новодвинск, г. Архангельск и пос. Силикатчиков в 2020–2022 гг.

Table 5. Values of the saprobity index according to V. Sladeczek (S), the Shannon-Weaver species diversity index in terms of the abundance (H'1) and biomass (H'2) of phytoplankton in the Severnaya Dvina River in the districts of Novodvinsk, Arkhangelsk and Silikatchikov settlement in 2020–2022

Район / Region	S	H'1	H'2
Зима / Winter			
г. Новодвинск, Novodvinsk,	1.66	2.36	2.15
г. Архангельск, Arkhangelsk	1.72	2.51	2.19
пос. Силикатчиков, Silikatchikov settlement	1.5	2.56	2.33
Среднее значение / Average value	1.65	2.45	2.20
Весна / Spring			
г. Новодвинск, Novodvinsk,	1.71	1.97	2.27
г. Архангельск, Arkhangelsk	1.63	2.24	2.28
пос. Силикатчиков, Silikatchikov settlement	1.59	2.84	2.87
Среднее значение / Average value	1.65	2.25	2.39
Лето / Summer			
г. Новодвинск, Novodvinsk,	1.61	2.97	2.47
г. Архангельск, Arkhangelsk	1.69	2.70	2.07
пос. Силикатчиков, Silikatchikov settlement	1.71	2.9	2.53
Среднее значение / Average value	1.66	2.85	2.32
Осень / Autumn			
г. Новодвинск, Novodvinsk,	1.61	3.08	2.7
г. Архангельск, Arkhangelsk	1.63	3.64	3.2
пос. Силикатчиков, Silikatchikov settlement	1.64	3.73	3.39
Среднее значение Average value	1.63	3.39	2.99
Среднегодовое значение Average annual value	1.65	2.74	2.48

Более ровное распределение данных было в показателях Р/В коэффициента, температуры и количестве видов в районах г. Новодвинск и г. Архангельск. Остальные данные распределены в островершинном вариативном ряде, что видно из положительных показателей эксцесса. Самые высокие максимальные значения были во всех показателях по району г. Новодвинск, самые низкие по минимальным значениям наблюдались в районе пос. Силикатчиков (табл. 6).

В районе насосных станций первого подъема речной воды в период исследований всего было обнаружено 45 видов зоопланктонных организмов, относящихся к 4 систематическим группам (табл. 7). Большинство видов являются

эвритопными, широко распространенными в регионе [Куликова, 2010 (Kulikova, 2010)].

На протяжении всего периода исследований на всех точках отбора проб как по численности, так и по биомассе чаще всего доминировали представители Cladocera, при этом основную роль в формировании общей численности в июльском вегетационном пике играли коловратки *Brachionus calyciflorus*. Меньший (ноябрьский) пик был обусловлен относительно высокой численностью ветвистоусых *Bosmina (Eubosmina) coregoni*, *Daphnia longispina* и мелких коловраток. В августе по численности и биомассе доминировали мелкие кладоцеры (*Disparalona rostrata*, *Alona quadrangularis*, *Bosmina longirostris* и *Ceriodaphnia pulchella*).

Таблица 6. Статистические характеристики гидробиологических показателей фитопланктона и параметров среды в р. Северная Двина в районах г. Новодвинск, г. Архангельск и пос. Силикатчиков 2020–2022 гг.**Table 6.** Statistical characteristics of hydrobiological indicators of phytoplankton and environmental parameters in the Severnaya Dvina River in the districts of Novodvinsk, Arkhangelsk and, Silikatchikov settlement 2020–2022

Статистическая характеристика Statistical characteristics	Численность, млн кл./м ³ Number, million cells/m ³	Биомасса, мг/м ³ Biomass, mg/m ³	Количество видов в пробе Number of species in the sample	Продукция мг С/м ³ ×сут P (production), mg C/l×day	P/B коэффициент P/B coefficient	Температура, °C Temperature, °C
г. Новодвинск / Novodvinsk,						
Среднее значение Average value	96.77	263.62	59.21	60.01	1.92	7.92
Стандартное отклонение Standard deviation	117.39	86.75	6.76	57.45	0.13	7.81
Медиана Median	55	137.45	68	45.85	1.9	6
Экссесс Excess	2.39	2.15	−0.94	5.02	−0.73	−0.28
Максимальное значение Maximum value	367.2	1091.7	94	226.03	2.13	23.7
Минимальное значение Minimum value	1.7	3.2	11	10.17	1.68	0.5
г. Архангельск / Arkhangelsk						
Среднее значение Average value	74.41	176.49	30.75	43.54	1.96	8.03
Стандартное отклонение Standard deviation	120.14	270.11	13.28	39.01	0.12	8.7
Медиана Median	16.25	36.05	34	35.09	1.94	3.9
Экссесс Excess	2.43	1.01	−0.25	4.12	−0.52	−1.04
Максимальное значение Maximum value	353.1	780.2	47	146.84	2.19	23.5
Минимальное значение Minimum value	0.9	1.6	4	6.94	1.74	0.5
пос. Силикатчиков / Silikatchikov settlement						
Среднее значение Average value	45.88	98.12	32.25	63.68	1.91	9.05
Стандартное отклонение Standard deviation	43.03	129.55	14.29	54.18	0.14	8.61
Медиана Median	22.2	40.85	32.5	56.13	1.87	5.75
Экссесс Excess	−0.97	3.14	1.6	0.98	−0.4	−0.4
Максимальное значение Maximum value	122.2	426	61	187.52	2.2	26.1
Минимальное значение Minimum value	0.7	0.9	3	6.75	1.71	0.5

Таблица 7. Таксономический состав зоопланктона р. Северная Двина в районах г. Новодвинск, г. Архангельск и пос. Силикатчиков в 2020–2022 гг.**Table 7.** Taxonomic composition of zooplankton of the Northern Dvina River in the districts of Novodvinsk, Arkhangelsk and Silikatchikov settlement in 2020–2022

Таксоны Taxa	г. Новодвинск, Novodvinsk	г. Архангельск, Arkhangelsk	пос. Силикатчиков, Silikatchikov settlement	Всего Total
Cladocera	20	12	12	24
Copepoda	14	4	5	15
Ostracoda	–	1	–	1
Rotifera	5	1	3	5
Всего	39	18	21	45

Примечание. “–” – нет данных.

Note. “–” – not date.

В сентябре доминантами как по численности, так и по биомассе были ветвистоусые рачки и мелкие циклопиды на различных стадиях развития. В октябре, в связи со снижением вегетационной активности, зоопланктонное сообщество представлено яйцевыми капсулами дафний (эфиппиум). Ноябрьский зоопланктон в районах водозаборов состоял из эфиппиумов дафний и крупных кладоцер *Simocephalus vetulus*. В декабрьских пробах зоопланктеры обнаружены не были. За период исследований наблюдались два пика развития зоопланктона – в ноябре 2020 г. и июле 2021 г. При этом численность и биомасса колебались в следующих пределах: с 1120 экз./м³ и 49.77 мг/м³ в ноябре до 40 экз./м³ и 1.17 мг/м³ в феврале; с 3580 экз./м³ и 105.69 мг/м³ в июле до нулевых показателей в декабре соответ-

венно. Также наблюдалось изменение числа обнаруженных видов (с 8 в ноябре до 1 в феврале, с 14 в июле до 0 в декабре). Среднегодовые общие показатели численности и биомассы зоопланктона в районе г. Новодвинск составляли 572 экз./м³ и 17 мг/м³, в районе г. Архангельск аналогичные показатели были ниже – 397 экз./м³ и 5.6 мг/м³. Минимальные среднегодовые характеристики наблюдались в районе пос. Силикатчиков – 227 экз./м³ и 4.7 мг/м³. Уровень количественных показателей свидетельствует о олиготрофном статусе водоема [Китаев, 1984 (Kitaev, 1984)]. Динамика развития качественных и количественных показателей зоопланктона в целом соответствует классической схеме развития в умеренных и умеренно высоких широтах [Зметная, Плакуева, 2018 (Zmetnaya, Plakueva, 2018)].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые проведено круглогодичное исследование количественных и качественных показателей развития фитопланктона и зоопланктона р. Северная Двина в районах г. Новодвинск, г. Архангельск и пос. Силикатчиков в течение 15 месяцев с ноября 2020 г. по январь 2022 г.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что планктонные фитопланктоны в р. Северная Двина в районе исследований характеризовались доминированием представителей отдела Bacillariophyta, Chlorophyta и Cyanobacteria, и уровень их развития в период наблюдений соответствовал стадиям сукцессионного цикла развития фитопланктонных сообществ: весенней, летней, осенней и зимней.

Изменения численности, биомассы и видового разнообразия были волнообразными в соответствии со сменой сезонов. Было выявлено несколько вспышек развития микроводорослей: весенняя (март), летняя (июль) и осенняя (ноябрь). С наступлением вегетационного периода (май–сентябрь) количественные пока-

затели фитопланктонного сообщества значительно возрастали. В рассмотренных пробах осенне-зимнего периода, несмотря на уменьшение освещенности, было зафиксировано относительно высокое количество видов фитопланктона. Это можно связать с попаданием водных масс с повышенной температурой искусственного происхождения в районе забора проб, что приводит к очаговому смещению биологических сезонов во времени и вызывает интенсификацию развития фитопланктона, изменение его качественного и количественного состава, замену одних групп другими и сохранение высокой численности микроводорослей [Ташлыкова, Афонина, 2018 (Tashlykova, Afonina, 2018)].

По результатам анализа зоопланктонного сообщества воды р. Северная Двина с ноября 2020 г. по январь 2022 г. в районах исследований можно характеризовать как олиготрофные. Сезонная динамика зоопланктона характеризовалась двумя пиками численности и биомассы – в ноябре 2020 г. и июле 2021 г.

По видовому составу зоопланктонное сообщество в районах водозаборов в феврале–июне 2021 г. можно характеризовать как кладоцерное, в июле оно классифицировалось как колорваточно-cladoцерно-копеподное, в августе как колорваточно-cladoцерное, декабрь можно считать окончанием вегетационного периода.

Сапробиологическое состояние вод р. Северная Двина в районе исследования соответствовало олиго-β-мезосапробной зоне (индекс сапробности 1.5–2.5) или II классу качества вод с умеренным содержанием органических веществ (умеренно загрязненные).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гидрология устьевой области Северной Двины. М.: Гидрометеиздат, 1965. 376 с.
- ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 12 с.
- Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 5. Желтозеленые водоросли. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. 272 с.
- Диатомовый анализ. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Порядки Centrales и Mediales. Л.: Государственное издательство геологической литературы, 1949. 446 с.
- Диатомовый анализ. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Порядок Pennales. Л.: Государственное издательство геологической литературы, 1950. 630 с.
- Еленкин А.А. Синезеленые водоросли СССР. Л.: Издательство академии наук СССР, 1938. 984 с.
- Жила И.М., Алюшинская Н.М. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность (таблицы). Л.: Гидрометеиздат, 1965. Т. 3. Северный край, 612 с.
- Жила И.М., Алюшинская Н.М. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность (текст). Л.: Гидрометеиздат, 1972. Т. 3. Северный край, 664 с.
- Зенкевич Л.А. Материалы по питанию рыб Баренцева моря // Докл. первой сессии океанограф. ин-та. М.: Изд-во ГОИН, 1931. № 4. С. 1–35.
- Зметная М.И., Плакуева М.В. Видовое разнообразие и структура зоопланктонного сообщества водотоков Субарктики (на примере Архангельской области) // Арктика: экология и экономика. 2018. № 1(29). С. 68–83.
- Зметная М.И., Новикова Ю.В. Современное состояние фитопланктонного сообщества и качество поверхностных вод дельты р. Северной Двины // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. 2015. № 4. С. 44–55.
- Ильина Л.Л., Грахов А.Н. Реки Севера. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 128 с.
- Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
- Комаренко Л.Е., Васильева И.И. Пресноводные зеленые водоросли водоемов Якутии. М.: Наука, 1978. 284 с.
- Кононова О.Н., Фефилова Е.Б. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона европейского севера России. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ, Ин-т биологии, 2018. 152 с.
- Кузьмин Г.В. Фитопланктон. Видовой состав и обилие // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. С. 73–87.
- Куликова Т.П. Зоопланктон водных объектов бассейна Белого моря. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 325 с.
- Ляшенко О.А., Педченко А.П., Суслопарова О.Н. Мониторинг состояния фитопланктона Лужской губы Финского залива в условиях природного и антропогенного воздействий // Труды ВНИРО. Среда обитания водных биологических ресурсов. 2020. Т. 179. С. 149–163.
- Матвиенко А.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 3. Золотистые водоросли. М.: Наука, 1954. 188 с.
- Медведева Е.В., Македонская И.Ю. Летний фитопланктон р. Северная Двина // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы IX Научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, посвященной 140-летию ВНИРО. М.: Изд-во ВНИРО, 2021. С. 122–125.
- Методические основы комплексного экологического мониторинга океана. М.: Гидрометеиздат, 1988. 287 с.
- Михеева Т.М. Альгофлора Беларуси: таксономический каталог. Минск: Изд-во БГУ, 1999. С. 304–343.
- Моисеенко Т.И. Формирование качества поверхностных вод и донных отложений в условиях антропогенных нагрузок на водосборы Арктического бассейна. Апатиты: Изд-во Кольск. НЦ АН СССР, 1996. 263 с.
- Новикова Ю.В., Зметная М.И., Студенов И.И., Македонская И.Ю. Расчет Р/В коэффициента и характеристика количественных показателей фитопланктона для некоторых водных объектов таежной зоны Архангельской области // Вода: химия и экология. 2018. № 01–03. С. 49–54.
- Обзор загрязнения окружающей среды на территории деятельности ФГБУ “Северное УГМС” за 2013 год. Архангельск: Изд-во ФГБУ “Северное УГМС”, 2014. С. 177–206.

- Оглы З.П. Показатели продуктивности фитопланктона в водоемах Забайкальского края // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 1(3). С. 327–331.
- РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону: Изд-во ФГБУ “ГХИ”, 2016. 116 с.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
- Студенов И.И., Торцев А.М. Практическая реализация мер по сохранению водных биоресурсов на целлюлозно-бумажном производстве: результаты и их применение // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 11. С. 66–71. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-11-66-71.
- Ташлыкова Н.А., Афолина Е.Ю. Развитие планктонных сообществ в условиях антропогенной гидротермали // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 3. С. 48–54.
- Трансформация органического и биогенных веществ при антропогенном эвтрофировании озер. Л.: Наука, 1989. 268 с.
- Унифицированные методы исследования качества вод. Ч.3. Методы биологического анализа вод. Приложение 1. Индикаторы сапробности. М.: Изд-во СЭВ, 1977. 92 с.
- Шемшура В.Е., Финенко З.З., Бурлакова З.П., Крупаткина Д.К. Оценка первичной продукции морского фитопланктона по хлорофиллу а, относительной прозрачности и спектрам восходящего излучения // Океанология. 1990. Т. 30, № 3. С. 479–485.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
- Шушкина Э.А., Виноградов М.Е., Гагарин В.И., Дьяконов В.Ю., Лебедева Л.П., Незлин Н.П. Оценка продуктивности, скорости обмена, трофодинамики, а также запасов планктонных организмов в разнопродуктивных районах океана на основании спутниковых и, экспедиционных наблюдений // Информационный бюллетень РФФИ. 1997. Т. 5, № 4. С. 48–54.
- Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд-во Московского университета, 1979. 168 с.
- Яшнов В.А. Практикум по гидробиологии. М.: Высшая школа, 1969. 428 с.
- WoRMS (World Register of Marine Species. URL: [https:// www.marinespecies.org](https://www.marinespecies.org))

REFERENCES

- Dedusenko-Shchegoleva N.T., Gollerbach M.M. Determinant of Freshwater Algae of the USSR. Issue 5. Yellow-green Algae. Moscow-Leningrad, Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1962. 272 p. (In Russian)
- Diatom Analysis. The Determinant of Fossil and Modern Diatoms. Orders Centrales and Mediales. Leningrad, Izd. Geolog. Liter., 1949. 446 p. (In Russian)
- Diatom Analysis. The Determinant of Fossil and Modern Diatoms. Order Pennales. Leningrad, Izd. Geolog. Liter., 1950. 630 p. (In Russian)
- Elenkin A.A. Blue-green Algae of the USSR. Leningrad, Izd. Academy of Sciences of the USSR, 1938. 984 p. (In Russian)
- Fedorov V.D. On Methods of Studying Phytoplankton and its Activity. Moscow, Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1979. 168 p. (In Russian)
- Guidelines for Hydrobiological Monitoring of Freshwater Ecosystems. St. Petersburg, Hydrometeoizdat, 1992. 318 p. (In Russian)
- Hydrology of the mouth area of the Northern Dvina. Moscow, Gidrometeoizdat, 1965. 376 p.
- Ilyina L.L., Grakhov A.N. Rivers of the North. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1987. 128 p. (In Russian)
- Kitaev S.P. Ecological Bases of Bioproductivity of Lakes of Different Natural Zones. Moscow, Nauka, 1984. 207 p. (In Russian)
- Komarenko L.E., Vasilyeva I.I. Freshwater Green Algae of Reservoirs of Yakutia. Moscow, Nauka, 1978. 284 p. (In Russian)
- Kononova O.N., Fefilova E.B. Methodological Guidelines for Determining the Size and Weight Characteristics of Zooplankton Organisms of the European North of Russia. Syktyvkar, Izd-vo Komi NC, In-t biologii, 2018. 152 p. (In Russian)
- Kulikova T.P. Zooplankton of Water Bodies of the White Sea Basin. Petrozavodsk, Karel'skij nauchnyj centr Russian Academy of Sciences, 2010. 325 p. (In Russian)
- Kuzmin G.V. Methodology for studying biogeocenoses of inland reservoirs. *Fitoplankton. Vidovoj sostav i obilie* [Phytoplankton. Species composition and abundance]. Moscow, Nauka, 1975, pp. 73–87. (In Russian)
- Lyashenko O.A., Pedchenko A.P., Susloparova O.N. Monitoring of the state of phytoplankton of the Luga Bay of the gulf of Finland under conditions of natural and anthropogenic impacts. *Trudy VNIRO* [Proceedings of VNIRO Habitat of aquatic biological resources], 2020, vol. 179, pp. 149–163. (In Russian)
- Matvienko A.M. Determinant of Freshwater Algae of the USSR. Issue 3. Golden Algae. Moscow, Nauka, 1954. 188 p. (In Russian)
- Medvedeva E.V., Makedonskaya I.Y. Summer phytoplankton R.Northern Dvina. *Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya rybohozyajstvennogo kompleksa: materialy IX Nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchyonyh s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchenoj 140-letiyu VNIRO* [Modern Problems and Prospects of the Development of the fisheries complex: materials of the IX Scientific and Practical Conference of Young scientists with international participation dedicated to the 140th anniversary of VNIRO]. Moscow, Izd. VNIRO, 2021, pp. 122–125. (In Russian)

- Methodological Foundations of Integrated Environmental Monitoring of the Ocean. Moscow, Hydrometeoizdat, 1988. 287 p. (In Russian)
- Mikheeva T.M. Algot flora of Belarus: Taxonomic Catalog. Minsk, Izd. BSU, 1999, pp. 304–343. (In Russian)
- Moiseenko T.I. Formation of the Quality of Surface Waters and Bottom Sediments under Conditions of Anthropogenic Loads on the Catchments of the Arctic Basin. Apatity, Izd-vo Kol'sk. NC AN SSSR, 1996. 263 p. (In Russian)
- Novikova Yu.V., Zmetnaya M.I., Studenov I.I., Makedonskaya I.Yu. Calculation of the P/B coefficient and characterization of Quantitative Indicators of Phytoplankton for some water bodies of the taiga zone of the Arkhangelsk region. *Water: chem. and ecol.*, 2018, no. 01–03, pp. 49–54. (In Russian)
- Ogly Z.P. Indicators of phytoplankton productivity in reservoirs of the Trans-Baikal Territory. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2009, vol. 11, no. 1 (3), pp. 327–331. (In Russian)
- Overview of Environmental Pollution in the Territory of Operation of the Federal State Budgetary Institution “Northern UGMS” for 2013. Arkhangelsk, Izd. FGBU “Northern UGMS”, 2014, pp. 177–206. (In Russian)
- RD [Construction Regulation] 52.24.309-2016. Organization and conduct of routine observations of the state and pollution of surface waters of the land. Rostov-on-Don, Izd. FGBI “GHI”, 2016. 116 p. (In Russian)
- Shemshura V.E., Finenko Z.Z., Burlakova Z.P., Krupatkina D.K. Assessment of primary production of marine phytoplankton by chlorophyll a, relative transparency and spectra of ascending radiation. *Okeanologiya*, 1990, vol. 30(3), pp. 479–485. (In Russian)
- Shitikov V.K., Rosenberg G.S., Zinchenko T.D. Quantitative Hydroecology: Methods of System Identification. Toliatti, Izd. IEVB RAS, 2003. 463 p. (In Russian)
- Shushkina E.A., Vinogradov M.E., Gagarin V.I., Dyakonov V.Yu., Lebedeva L.P., Nezlin N.P. Assessment of productivity, exchange rate, trophodynamics, as well as stocks of planktonic organisms in diverse areas of the ocean based on satellite and expedition observations. *Informacionnyj byulleten' RFFI* [RFBR Newsletter], 1997, vol. 5, no. 4, pp. 48–54. (In Russian)
- State Standard 17.1.4.02-90. Water. Method of spectrophotometric determination of chlorophyll-A. Moscow, 2001. 12 p. (In Russian)
- Studenov I.I., Tortsev A.M. Practical implementation of measures for the conservation of aquatic biological resources in pulp and paper production: results and their application. *Ecol. and ind. of Russia*, 2020, vol. 24, no. 11, pp. 66–71. doi: 10.18412/1816-0395-2020-11-66-71. (In Russian)
- Tashlykova N.A., Afonina E.Yu. Development of plankton communities in conditions of anthropogenic hydrothermal. *Theoret. and Appl. Ecol.*, 2018, no. 3, pp. 48–54. (In Russian)
- Transformation of Organic and Biogenic Substances in Anthropogenic Eutrophication of Lakes. Leningrad, Nauka, 1989. 268 p. (In Russian)
- Unified Methods for the Study of Water Quality. Part 3. Methods of Biological Analysis of Water. Annex 1. Indicators of Saprobity. Moscow, Izd. CEA, 1977. 92 p. (In Russian)
- WoRMS (World Register of Marine Species. – URL: [https:// www.marinespecies.org](https://www.marinespecies.org))
- Yashnov V.A. Practicum on Hydrobiology. Moscow, Vysshaya shkola, 1969, 428 p. (In Russian)
- Zenkevich L.A. Materials on fish nutrition in the Barents Sea. *Doklad pervoj sessii okeanograf. In-ta* [Docl. of the First session of the Oceanographer. In-ta.]. Moscow, Izd. GOIN, 1931, no. 4, pp. 1–35. (In Russian)
- Zhila I.M., Alyushinskaya N.M. Surface Water Resources of the USSR: Hydrological Study (tables). Northern edge. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1965. vol. 3. 612 p. (In Russian)
- Zhila I.M., Alyushinskaya N.M. Surface Water Resources of the USSR: Hydrological Study (text). Northern edge. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1972. vol. 3. 664 p. (In Russian)
- Zmetnaya M.I., Novikova Yu.V. The current state of the phytoplankton community and the quality of surface waters of the delta p. Northern Dvina. *Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University*, 2015, vol. 4, pp. 44–55. (In Russian)
- Zmetnaya M.I., Plakueva M.V. Species diversity and structure of zooplankton community of Subarctic watercourses (on the example of the Arkhangelsk region). *Arctic: ecology and economics*, 2018, no. 1(29), pp. 68–83. (In Russian)

INTRA-ANNUAL VARIABILITY OF PLANKTON COMMUNITIES IN THE ESTUARY REGION OF THE SEVERNAYA DVINA RIVER

I. Y. Makedonskaya^{1, *}, E. V. Medvedeva¹, N. G. Otchenash¹,

I. I. Studenov¹, A.M. Tortsev², Yu. M. Konina³

¹ Northern Branch of VNIRO,

163002, Arkhangelsk, e-mail: *makedonskaya@severnoro.ru

² N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 163000, Arkhangelsk

³ JSC “Arkhangelsk Pulp and Paper Mill”, 164900, Novodvinsk

Revised 11.04.2023

The paper summarizes the results of monthly studies of phyto- and zooplankton communities of the estuarine region of the Northern Dvina, conducted during environmental monitoring from November 2020 to January 2022 at the water intakes of JSC “Arkhangelsk Pulp and Paper Mill” (Novodvinsk) and LLC

“RVC-Arkhangelsk” (Arkhangelsk and Silikatchikov settlement). Based on the results of plankton surveys, the qualitative composition was studied and the intra-annual variability of quantitative indicators and structural features of plankton communities was described. In phytoplankton, 273 intraspecific taxa of microalgae were found, among which diatoms predominated (159 taxa). The indicators of abundance and biomass changed synchronously during the entire observation period. Primary production and P/B coefficients were at the level of digital values for the Arctic zone. The Shannon Index identified the phytoplankton community as medium-complex in a stable state. 45 species belonging to 4 systematic groups were found in zooplankton. Seasonal dynamics of zooplankton was characterized by 2 peaks of abundance and biomass – in November 2020 and July 2021. By species composition, the zooplankton community in the water intake areas in February–June 2021 it can be characterized as a kladocern, in July – as a rotifer-kladocern-copepod, in August as a rotifer-kladocern, and December can be considered the end of the growing season. The degree of contamination was assessed according to the index of saprobity of phytoplankton and zooplankton. It was found that the state of the waters of the Severnaya Dvina River in the study area corresponded to the oligo- β -mesosaprobic zone or class II water quality (moderately polluted).

Keywords: Northern Dvina, phytoplankton, zooplankton, abundance, biomass, Shannon index, saprobity index