Саратовский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»
(«СаратовНИРО»)

На правах рукописи

Елена Александровна ДЖАЯНИ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА ВОДОХРАНИЛИЩА СЕМИАРИДНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОГОДНЫХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ИРИКЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

1.5.15. Экология (биологические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
кандидат биологических наук, доцент
Малинина Юлия Александровна

Саратов – 2022

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Список сокращений 4

ВВЕДЕНИЕ 5

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 10

1.1. Факторы, определяющие развитие и распределение фитопланктонных сообществ водохранилищ 10

1.2. История изучения фитопланктонных сообществ р. Урал и Ириклинского водохранилища 21

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ 27

2.1. Краткая характеристика р. Урал и Ириклинского водохранилища 27

2.2. Погодные и гидрологические условия в 2016–2019 гг. 33

2.3. Материалы и методы исследования 37

ГЛАВА 3. ВИДОВОЙ СОСТАВ ФИТОПЛАНКТОНА Р. УРАЛ И ИРИКЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 40

ГЛАВА 4. СТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА 54

4.1. Весенний сезон 54

Фитопланктонное сообщество реки Урал 54

Фитопланктонное сообщество Чапаевского плеса 60

Фитопланктонное сообщество Софинского плеса 68

Фитопланктонное сообщество Таналык-Суундукского плеса 75

Фитопланктонное сообщество Приплотинного плеса 81

Распределение фитопланктонных сообществ по продольному профилю акватории 88

Заключение к разделу 4.1 110

4.2. Летний сезон 117
Фитопланктонное сообщество реки Урал 117
Фитопланктонное сообщество Чапаевского плеса 123
Фитопланктонное сообщество Софинского плеса 130
Фитопланктонное сообщество Таналык-Суундукского плеса 137
Фитопланктонное сообщество Приплотинного плеса 144
Распределение фитопланктонных сообществ по продольному профилю акватории 151
Заключение к разделу 4.2 173
4.3. Осенний сезон 179
Фитопланктонное сообщество реки Урал 179
Фитопланктонное сообщество Чапаевского плеса 185
Фитопланктонное сообщество Софинского плеса 192
Фитопланктонное сообщество Таналык-Суундукского плеса 199
Фитопланктонное сообщество Приплотинного плеса 205
Распределение фитопланктонных сообществ по продольному профилю акватории 211
Заключение к разделу 4.3. 233
ГЛАВА 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ РУСЛОВЫХ ПЛЕСОВ ИРИКЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 239
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 265
ВЫВОДЫ 267
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 269
ПРИЛОЖЕНИЕ 288

Список сокращений

ФП – фитопланктон

ЧП – Чапаевский плес

СП – Софинский плес

ТСП – Таналык-Суундукский плес

ПП – Приплотинный плес

УВБ – удельное видовое богатство

СИМ – средняя индивидуальная масса

САК (NAO) – индекс Североатлантического колебания

Актуальность темы исследования. Исследования пространственно-временной динамики биологических сообществ – одна из основных задач экологии. Она тесно связана с проблемами изучения закономерностей формирования структуры биоценозов, биологического разнообразия, разработки подходов к определению качества среды методами биоиндикации. Среди всего многообразия экосистем особое значение в жизни биосферы и существовании человека имеют континентальные водотоки и водоемы. К числу наиболее специфичных и молодых пресноводных объектов относятся водохранилища (Даценко, 2007). Они играют большую роль в изменении биологического разнообразия и качества воды крупных речных систем, а также в решении ряда экономических и социальных вопросов, что определяет актуальность изучения их биологического режима.

Сообщество фитопланктона – важнейший элемент биоты водохранилищ, первичное звено трофической цепи, ключевой элемент процессов биотического круговорота и самоочищения вод, широко используемый компонент системы биологического мониторинга, структурно-функциональные характеристики которого позволяют определить трофический статус и экологическое состояние разнотипных водных объектов (Гусева, 1952; Трифонова, 1990; Охапкин, 1997, 1999; Баринова и др., 2006, 2015; Комулайнен и др., 2006; Даценко, 2007; Корнева, 2015; Даценко и др., 2017; Эдельштейн и др., 2017 и мн. др.). Результаты исследований водохранилищ Волги, Ангары, Днепра, Енисея и других рек показали, что динамика фитопланктона определяется комплексом гидрофизических, гидрохимических, биологических и антропогенных факторов (Примайченко, 1981; Кузьмина, 1988; Охапкин, 1994; Воробьева, 1995; Минеева, 2004; Корнева, 2015). Однако в конкретных водных объектах, в их отдельных участках, в разные сезоны и в разных природных зонах влияние комплекса факторов может быть специфично, что составляет актуальную задачу исследований. Особое значение имеет изучение водоемов, расположенных в зонах лесостепи и степи, для которых прогнозируется аридизация в результате глобального изменения климата (Магрицкий, Кенжебаева, 2017; Глобальный доклад …, 2019).

Значительная часть водосбора р. Урал относится к группе умеренно- и слабоопустыненных зон (Зонн и др., 2004). Геология, рельеф, почвы, растительность и климат обусловили своеобразный гидрологический режим всего бассейна реки. Для него характерны маловод-

ность, низкий модуль стока, незначительная роль грунтового питания и рекордная для больших рек межгодовая изменчивость стока (Соловых и др., 2003; Сивохип, 2014; Магрицкий, Кенжебаева, 2017; Магрицкий и др., 2018). Исследование фитопланктона крупнейшего на р. Урал Ириклинского водохранилища актуально с точки зрения определения закономерностей пространственно-временной организации сообществ гидробионтов водохранилищ семиаридных территорий в условиях влияния значительных межгодовых колебаний погодных и гидрологических условий. В связи с изменением климата, которое проявляется также в переменах времени наступления, частоты, интенсивности и продолжительности аномальных метеорологических явлений, исследования актуальны и для водохранилищ других природных зон. Кроме этого, известно, что к трансформации структуры планктонных сообществ водохранилищ приводит жизнедеятельность моллюсков р. *Dreissena*, что показано нами на примере Волгоградского водохранилища (Шашуловский и др., 2014). В связи с этим, изучение фитопланктона Ириклинского водохранилища актуально также для последующей оценки средообразующей роли нового вида донных беспозвоночных – *D. polymorpha* (Pallas, 1771), обнаруженного в водоеме в 2019 г. (Колозин и др., 2021).

Цель работы – анализ пространственно-временной динамики фитопланктонных сообществ Ириклинского водохранилища в условиях межгодовых изменений погодных и гидрологических факторов в разные сезоны вегетационного периода.

Для достижения цели определены следующие **задачи:**

1. Выявить современный видовой состав фитопланктона р. Урал и Ириклинского водохранилища, описать его межгодовые изменения в 2016–2019 гг.

2. Установить ведущие факторы и закономерности изменений количественных характеристик фитопланктонных сообществ р. Урал и разнотипных плесов водохранилища в отдельные сезоны вегетационного периода.

3. Изучить горизонтальное распределение фитопланктона водохранилища.

4. Проанализировать пространственно-временные изменения трофического статуса и сапробности вод р. Урал и Ириклинского водохранилища.

Научная новизна. Определен видовой состав фитопланктона на современном этапе существования Ириклинского водохранилища, выявлено его увеличение в годы, характеризу-

ющиеся повышением объема притока и уровня воды, а также по сравнению с данными, полученными в XX-м веке и в первое десятилетие XXI-го. Впервые описана динамика количественных характеристик фитопланктона разнотипных плесов водохранилища в условиях выраженных межгодовых изменений погодных и гидрологических факторов. Впервые показана преобладающая роль увеличения суммы атмосферных осадков, объема притока и связанных с ними гидрохимических показателей воды в повышении количественных характеристик фитопланктона Ириклинского водохранилища. Впервые отмечены отражающие наиболее выраженный эффект эвтрофирования изменения фитопланктона при сочетании ряда погодных и гидрологических факторов – суммы атмосферных осадков, температуры и уровня воды. Впервые описана пространственная динамика зоны проявления краевого эффекта в плесах верхней части водохранилища.

Положения, выносимые на защиту:

1. Ведущую роль в формировании количественных характеристик и структуры фитопланктона Ириклинского водохранилища играет поступление биогенных и органических веществ с водосбора, зависимое от суммы атмосферных осадков и объема притока.

2. Глубину изменений фитопланктона в разнотипных плесах под влиянием суммы осадков и объема стока определяет близость к главной реке, наличие крупных притоков, морфометрические характеристики, уровень и температура воды.

3. Максимальные количественные показатели фитопланктона, трофический статус и сапробность вод характерны для плесов верхнего участка водохранилища, что связано с наиболее активным поступлением и аккумуляцией биогенных и органических веществ, приносимых водами главной реки, а также наименьшей глубиной участков.

4. Пространственная динамика зоны формирования максимальных количественных характеристик фитопланктона в верхнем участке водохранилища определяется динамикой границы зоны переменного подпора.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты работы расширяют представления о влиянии погодных и гидрологических условий на пространственно-временную динамику количественных и качественных характеристик сообществ фитопланктона водохранилищ семиаридной зоны. Данные могут быть использованы для создания прогнозных моделей состояния фитопланктона водохранилищ семиаридных зон при изменении климата,

для разработки подходов к формированию режима их эксплуатации с целью управления качеством воды, а также для определения принципов организации сети станций мониторинга и оценки качества среды. Результаты работы могут найти применение при подготовке курсов по экологии и гидробиологии в ВУЗах.

Соответствие паспорту научной специальности. Результаты исследования соответствуют шифру специальности 1.5.15. Экология (биологические науки), конкретно области исследования – экологии сообществ.

Личный вклад соискателя. Автором определена тема работы, составлен план сбора и анализа данных, выполнена обработка проб фитопланктона, составлены матрицы данных для статистической обработки, проведен их анализ, написан текст, составлены таблицы и подготовлены рисунки, сформулированы выводы.

Степень достоверности и апробация результатов. В работе использованы общепринятые методы сбора, обработки и анализа проб фитопланктона, все данные подверглись статистическому анализу, результаты исследования нашли отражение в статьях, прошедших рецензирование специалистами в области экологии и гидробиологии. Основные итоги работы представлены на Междунар. конф. “Актуальные проблемы планктонологии” (г. Светлогорск, Калининградская обл., 9–14 сентября, 2012), Всеросс. конф., посвященной 85-летию Татарского отделения ФГБНУ “ГосНИОРХ” “Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов и пути их рационального использования” (г. Казань, 24–29 октября 2016 г.), II-й Междунар. конф. “Актуальные проблемы планктонологии” (г. Светлогорск, Калининградская обл., 14–18 сентября 2015 г.), III-й Междунар. конф. “Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем” (г. Санкт-Петербург, 23–27 октября 2017 г.), III-й Междунар. конф. “Актуальные проблемы планктонологии” (г. Зеленоградск, Калининградская обл., 24–28 сентября 2018 г.), XII-м Съезде Гидробиологического общества при РАН (г. Петрозаводск, 16–20 сентября 2019 г.), I-й Всерос. науч. конф. “Чтения памяти В.И. Жадина”, (г. Санкт-Петербург, 18–22 апреля 2022 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, из них 3 – статьи в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки РФ, 2 из которых включены в Международную базу Web of Science Core Collection, 7 – материалы и тезисы конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 300 страницах, состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, списка литературы (245 источников, из них 46 на иностранных языках) и приложения. Работа проиллюстрирована 88 рисунками, данные представлены в 99 таблицах.

Благодарности. Автор признателен научному руководителю *Ю.А. Малининой* за участие в подготовке работы, а также *Е.А. Шашуловской* (СаратовНИРО), *В.А. Колозину* (СаратовНИРО), *Л.Г. Корневой* (ИБВВ РАН), *Е.Г. Сахаровой* (ИБВВ РАН), *В.С. Вишнякову* (ИБВВ РАН), *С.Э. Болотову* (ИБВВ РАН), *А.И. Цветкову* (ИБВВ РАН) и *А.В. Крылову* (ИБВВ РАН) за данные по гидрохимии, помощь в сборе первичного материала, определении ряда таксонов, консультации по статистической обработке и обсуждение результатов.

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Факторы, определяющие развитие и распределение фитопланктонных сообществ водохранилищ

Роль фитопланктона в жизни водоемов трудно переоценить, т.к. все биологические процессы и явления в экосистемах – это производные автотрофного синтеза органических веществ. Фитопланктон определяет общую энергетическую основу круговорота вещества и энергии в водных экосистемах, участвует в создании органического вещества, передающегося по всей трофической сети. Кислород, который выделяется в результате фотосинтеза, играет большую роль в окислении минеральных и органических веществ, а также в метаболизме растений и животных.

Фитопланктон – важнейший компонент системы биологического мониторинга, он первым реагирует на различные виды воздействия на биоту, может служить индикатором степени антропогенного воздействия, позволяет максимально объективно определить трофический статус и экологическое состояние разнотипных водных объектов (Баринова и др., 2006, 2015; Гусева, 1952; Даценко, 2007; Даценко и др., 2017; Комулайнен и др., 2006; Корнева, 2015; Охапкин, 1997, 1999; Трифонова, 1990; Эдельштейн и др., 2017). Короткий жизненный цикл микроводорослей позволяет оценить неблагоприятные изменения пресноводных объектов даже в ограниченном по времени наблюдении.

Среди всего многообразия водных экосистем особое место занимают водохранилища. В первую очередь особое значение они имеют для жизни человека, решая ряд важнейших вопросов в области рационального использования водных ресурсов, обеспечения водой населения и промышленности, перераспределения стока, снижения рисков подтоплений и др. Одновременно зарегулирование стока влечет изменение всего природного комплекса реки: увеличивает емкость речных систем, замедляет водообмен, способствует формированию гетерогенной структуры водных масс (Эдельштейн, 1991). При этом наблюдается ряд положительных экологических последствий. В частности, зарегулирование стока повышает рыбопродуктивность, усиливает эффект разбавления, увеличивает прозрачность воды (Гусева, 1952; Пирожников, 1971).

Однако кардинальная перестройка гидрологического режима реки приводит к полной трансформации сообществ гидробионтов, включая первичных продуцентов, изменения

структуры и продукционных характеристик которых чаще всего свидетельствует об интенсификации процесса эвтрофирования (Гусева, 1952, 1956, Даценко, 2007; Кожова, 1975; Сиренко, Гавриленко, 1978; Охапкин, 1994, 1997, 2002).

Описанию особенностей развития фитопланктона водохранилищ посвящено значительное число работ, выполненных в ходе изучения каскадов водохранилищ Волги, Ангары, Днепра, Енисея такими исследователями как К.К. Гусева (1952, 1958, 1961) А.Д. Примайченко (1959, 1960, 1966, 1981), К.К. Гусева, А.Д. Примайченко (1971), Л.Г. Корнева (1993, 2015), Н.М. Минеева (2004), А.Г. Охапкин (1994, 1997), О.М. Кожова (1975), Н.А. Герасимова (1973, 1996), И.И. Попченко (2001), Далечина (1971, 1977) и мн. др. Была выпущена серия книг «Фитопланктон Волги» (Охапкин, 1994; Герасимова, 1996; Охапкин и др., 1997; Экология фитопланктона…, 1999; Попченко, 2001; Паутова, Номоконова, 2001; Фитопланктон Нижней Волги. …, 2003) с привлечением специалистов различных научно-исследовательских институтов, в которой обобщены данные по фитопланктону волжских водохранилищ.

Факторы, которые обуславливают неравномерное распределение планктона в водоемах разнообразны, среди них, как отмечал И.А. Киселев (1980), не только связанные с внешней средой (механические, химические и физические), но и биологические, связанные с выеданием и передвижением в водной толще самих организмов. Исследования гидрологических, метеорологических, гидрохимических и трофометаболических процессов, определяющих уровень развития фитопланктона в водохранилищах, позволили провести их классификацию по типам абиотических и биотических факторов с учетом прямого и/или косвенного воздействия. Так, коллектив авторов МГУ (Даценко, 2007, 2013; Даценко и др., 2010, 2017; Отчет …, 2012; Эдельштейн и др., 2013, и мн. др.) выделяет три типа абиотических факторов первичного продуцирования – гидрологические (внешний водообмен и колебания уровня воды в водохранилище), гидрофизические (динамика и термическая структура вод водохранилища) и гидрохимические (внешняя и внутренняя биогенная нагрузка). Эти факторы косвенно определяют действие прямых факторов, к которым относятся ряд абиотических параметров – температура воды, освещенность водной толщи, концентрация биогенных веществ, а также ряд биотических – физиологическое состояние клеток водорослей, пресс более высоких трофических уровней. Биотические факторы – сезонные изменения физиологического

состояния клеток водорослей, трофические взаимодействия, конкуренция за источники питания и пр. – изменяются относительно плавно и медленно, а абиотические, которые связаны с гидролого-гидрохимическим режимом водоема, характеризуются высокой внутри- и межсезонной изменчивостью (Отчет …, 2012).

Комплекс абиотических факторов включает уровни, различающиеся по степени влияния на рост и динамику фитопланктона в водохранилищах. К верхнему уровню – географические факторы – отнесены два зональных – ландшафт водосбора и климатические особенности территории, и два азональных – особенности формы ложа водохранилища и антропогенное воздействие на водоем и его водосбор.

Более низкий – водоемный – уровень, как мы указывали выше, подразделяет факторы первичного продуцирования на следующие типы: 1) гидрологические; 2) гидрофизические; 3) гидрохимические. Структура водного баланса определяет соотношение вертикальной и горизонтальной составляющих внешнего водообмена. При увеличении вертикальной составляющей повышается роль внутренних процессов, а в условиях преобладания горизонтальной более значима роль водосбора в формировании абиотического фона экосистемы (Даценко и др., 2010, 2017; Даценко, 2013; Отчет …, 2012 и др.).

Важным фактором формирования биологического режима водохранилищ выступает уровенный режим, который влияет на изменения режима течений, температуры, формирования рельефа дна, кислородного, волнового и ледового режимов (Авакян, Ривьер, 2000). Колебания уровня воды в водохранилище в вегетационный период приводят к изменению соотношения толщины и объема трофогенного и трофолитического слоев экосистемы водохранилищ. Это изменяет степень окисления органического вещества, образующегося при фотосинтезе фитопланктона, скорость его осаждения на дно и возврата в трофогенный слой регенерируемых при этом биогенных веществ. В ряде работ показано влияние уровня воды на развитие (обилие, таксономический состав и размерные характеристики) фитопланктона – основного продуцента автохтонного органического вещества в крупных пресных водоемах (Гусева, 1958; Корнева, 1999; Гончаров, Даценко, 2002; Литвинов и др., 2003; Даценко, 2007; Халиуллина и др., 2009; Белова, Кременецкая, 2010; Корнева, 2015; Трифонова и др., 2017; Эдельштейн и др., 2017; Сахарова, Корнева, 2018; Korneva, Mineeva, 1996). Было отмечено, что прямое влияние изменений уровня воды в водохранилище определяет условия зимовки и

дальнейшего развития акинет цианобактерий (Гончаров и др., 2002). Косвенное влияние отличается большим разнообразием и определяет соотношение площадей мелководной и глубоководной зоны; температурную стратификацию; поступление биогенных веществ из затопленных мелководий; динамические процессы.

Л.П. Брагинский и Л.А. Сиренко (1997) высказывали мнение, что активная вегетация цианобактерий связана с наличием прогретого мелководья: цианобактерии всплывают с поверхности донных отложений, когда вода на мелководье прогревается. В результате понижения уровня происходит увеличение доли мелководий и биогенные вещества из донных отложений становятся более доступными, что имеет существенное значение для интенсивности “цветения” (Халиуллина и др., 2009). С.Л. Белова и Е.Р. Кременецкая (2010) также указывали на то, что низкий уровень воды водохранилища может вызывать перестройку структуры фитопланктона. Так, на Можайском водохранилище при аномально низком уровне воды существенно возрастала доля эвгленовых водорослей в общей численности фитопланктона, отмечено доминирование в составе фитоценоза мелкоклеточных форм фитопланктона. В ходе изучения фитопланктона москворецких водохранилищ обнаружена тесная обратная корреляционная связь биомассы фитопланктона с уровнем воды (Даценко, Гончаров, 2002; Гончаров, Абдуллаева, 2014). Авторы указывали на то, что в жаркое сухое лето при низком уровне водохранилища повышается температура придонного слоя воды, а интенсивный удельный поток детрита в гиполимнион приводит к быстрому поглощению кислорода. В свою очередь, дефицит кислорода способствует регенерации биогенных веществ из донных отложений, что увеличивает внутреннюю биогенную нагрузку. В результате даже короткое штормовое перемешивание слоев приводит к быстрому обогащению эпилимниона биогенными веществами, вызывающее интенсивное развитие фитопланктона вплоть до вспышек “цветения”. В многоводные годы с высоким уровнем воды водохранилища эти процессы протекают менее интенсивно, биомасса фитопланктона не отличается высокими величинами. Однако И.С. Трифонова с коллегами (2017) на оз. Красное отмечала, что количественные показатели планктонных сообществ были выше в многоводном теплом году, а уровень развития литоральных сообществ и их разнообразие заметно ниже.

Из гидрохимических факторов, влияющих на развитие и распределение фитопланктона, ведущее значение имеет концентрация химических веществ в водоеме, которая определяется

внешней и внутренней нагрузкой. Химический состав и формирование запаса минеральных биогенных веществ в воде имеет сильные межсезонные и межгодовые колебания в зависимости от соотношения объемов, образующих ее исходных водных масс: основной зимней водохранилищной, речной зимней, донной зимней и речной весенней (Отчет …, 2012; Даценко и др., 2014, 2017, 2020). Показано, что суммарный объем основной зимней водохранилищной, речной зимней и донной зимней масс зависит от глубины предвесенней сработки полезного объема водохранилища, а соотношение в нем объемов составляющих масс зависит от глубины слоя отбора и расхода воды при этой сработке.

Важным фактором формирования видового состава фитопланктона выступает также общая минерализация воды, а концентрация питательных для клетки веществ (в первую очередь, солей азота и фосфора) – продуктивности фитоценоза (Отчет ..., 2012; Вареник, Коновалов, 2018).

Существует множество работ (Гусева, 1952; Брагинский, 1981; Курейшевич, 2005 и др.), в которых обсуждается роль химических элементов в жизни водорослей, мнения о значимости того или иного химического элемента порой противоречивы и, видимо, определяются сочетанием ряда факторов. Из биогенных веществ лимнологами справедливо рассматриваются главные элементы, определяющие развитие фитопланктона в водоемах – фосфор, азот, а для диатомовых водорослей – кремний. Рейнольдс (C.S. Reynolds) в своей работе (2006) более детально рассматривает четыре ключевых элемента (P, N, Si, Fe) и определяет концентрации, ниже которых наступает лимитирование фитопланктона. Из-за активных процессов регенерации минеральных соединений фосфора и азота, протекающих в водной толще и на поверхности донных отложений, именно величина общего запаса биогенных веществ оказывает существенное влияние на продукционные процессы. Наличие азота и фосфора – непременное условие вегетации клеток фитопланктона, но важно также соотношение их концентраций, влияющих на таксономическую и размерную структуру фитопланктонного сообщества и определяющих смену доминирующих видов. (Гусева, 1952; Левич, Личман, 1992, Левич и др., 1997; Булгаков, Левич, 1995; Отчет …, 2012; Вареник, Коновалов, 2018; Smith, 1986).

В связи с дефицитом биогенных веществ, который отмечается в водоемах, особую роль в формировании высокой интенсивности фотосинтеза играет приток биогенных веществ из

различных внешних источников. Биогенная нагрузка водоемов формируется, главным образом, за счет приноса питательных веществ речной водой с водосбора речной системы. К числу природных абиотических факторов, определяющих биогенную нагрузку водоемов, следует отнести и атмосферные осадки (Сиренко, Гавриленко, 1978). Отмечено, что в атмосферных осадках наблюдается высокое содержание фосфора и в естественных условиях поступление его с атмосферными осадками превышает величину выноса с речным стоком, а в условиях сильного антропогенного воздействия может наблюдаться обратная картина (Савенко, Савенко, 2007). В водохранилищах Верхней Волги в различные по водности фазы меняется структура водного баланса – повышается роль атмосферных осадков на зеркало водохранилищ и испарения в маловодную фазу (Литвинов, Рощупко, 2000).

Показано, что поток неорганического фосфора и кремния с атмосферными осадками на поверхность Черного моря существенно ниже потока неорганического азота, но они также оказывают значительное влияние на биогеохимические характеристики поверхностных вод (Вареник, Коновалов, 2018). Поступление неорганического азота с атмосферными осадками может приводить к повышению величины первичной продукции до 2.5% в поверхностном слое прибрежных районов Черного моря (Вареник, 2017). Для Саргассового моря отмечено, что в период летней стратификации атмосферные осадки могут привносить от 5 до 25% азота, а атмосферное поступление кремния составляет около 3% от общего поступления его в океан (Jickells, 1995; Frings et al., 2016). Атмосферные выпадения являются одним из основных источников азота и фосфора для некоторых олиготрофных районов Средиземного моря, поступление азота на поверхность моря приводит к повышению первичной продукции в среднем на 30–50%, поступления фосфора способствует росту первичной продукции в среднем 6–10%, в период летней стратификации достигая порой 30% (Richon et al., 2017). Вопрос о количественной оценке и соотношении поступающих из атмосферы биогенных элементов остается до конца не изученным.

Важнейшее значение для развития фитопланктона в вегетационный период имеет запас фосфора в водной массе водохранилища, который формируется при его весеннем наполнении. Различные варианты сочетания внутриводоемных процессов вызывают межгодовую изменчивость внешней и внутренней фосфорной нагрузки в разных районах водохранилищ в период весенней вспышки “цветения” преимущественно диатомовыми водорослями (Отчет …,

2012; Эдельштейн и др., 2017; Даценко, 2020). Возникающий в период весеннего цветения большой биогидрохимический круговорот распространяется в водоеме нередко и до дна русловой ложбины, что усиливает весеннее цветение дополнительным выносом в трофогенный слой обогащенной биогенами воды (Эдельштейн и др., 2021).

Во время летнего развития преимущественно зеленых водорослей и цианобактерий колебания фосфорной нагрузки в верхних районах сильно зависит от частоты дождевых паводков и их объемов. Необходимо указать, что в центральных и приплотинных участках водохранилищ фосфорная нагрузка формируется весной, а затем изменяется внутримассовыми процессами обмена между трофогенным и трофолитическим слоями этой водной массы.

Поступление веществ с водосбора – важнейший элемент внешней биогенной нагрузки. Величина этого поступления зависит от продуктивности растительности на водосборной площади, которая, в свою очередь, контролируется факторами внешней среды – температурой воздуха, количеством осадков и испарением (Бульон, 2007). Был проведен анализ связи пресноводных экосистем с зонально-распределенными наземными экосистемами и сделан вывод о тесной связи экосистемы суши и озер, впервые описана зависимость первичной продукции озерных экосистем от таковой наземной растительности. Вынос фосфора с водосборных бассейнов – важный фактор, влияющий на первичную продукцию озер, величина экспорта фосфора зависит от продукции наземных экосистем, которая контролируется температурой воздуха, количеством осадков и испарением.

Очевидная зависимость внешней нагрузки от условий формирования и колебаний речного стока связывает этот фактор с чисто гидрологическими воднобалансовыми характеристиками. Если внешний водообмен соответствует водообмену водоема с окружающей средой и определяется стоком и влагооборотом, то внутренний – это перемещение воды внутри водоема под влиянием течений, вертикального водообмена, турбулентного перемешивания. Он отражает обмен веществом и энергией между различными частями водоема и является одним из факторов формирования и изменения водных масс (Литвинов, Рощупко, 2000). Внешний и внутренний водообмен тесно связаны. Внутренняя биогенная нагрузка указывает на интенсивность круговорота биогенов внутри водоема. Основным источником внутренней нагрузки биогенными веществами выступают донные отложения водоема, где накапливается и аллохтонный, и автохтонный взвешенный материал, к внутренней биогенной нагрузке

также относят и поступление веществ из мелководий в результате разложения затопленной растительности при повышении уровня (Отчет …, 2012; Даценко и др., 2020).

Таким образом, концентрация биогенных веществ в водохранилище является следствием косвенного воздействия трех важнейших факторов – внутренней и внешней биогенной нагрузки, динамики вод и плотностной стратификации в вегетационный период.

Рассмотренные выше факторы играют роль своеобразного географического фона, который определяет особенности проявления многочисленных процессов функционирования экосистемы каждого отдельного водоема. Эти факторы действуют в большинстве случаев косвенно усиливая или ослабляя влияние прямых факторов, непосредственно воздействующих на жизнедеятельность клетки фитопланктона.

К прямым факторам также следует отнести температуру воды. К.А. Гусева (1961) рассматривала температуру как основной управляющий фактор среды. Прямое влияние температуры воды на рост и размножение водорослей обусловлено наличием диапазона оптимальных тепловых условий специфичных для отдельных групп и видов фитопланктона. Чем выше температурный оптимум, тем интенсивнее протекают процессы фотосинтеза и деления (Eppley, 1972). Большинство водорослей способны переносить широкий диапазон колебаний температуры, поэтому встречаются в разные сезоны года на различных географических широтах (Михеева, 1983). Одновременно, сезонная сукцессия видов фитопланктона наблюдается также по причине несовпадения температурных оптимумов различных таксонов фитопланктона. Отмечена существенная чувствительность представителей альгофлоры к температурному фактору и его сопряженность с другими факторами роста водорослей (Eppley, 1972), так влияние температуры на рост клеток диатомовых и зеленых водорослей летом опосредовано через ряд факторов и не столь существенно, как весной и осенью (Козицкая, 1989). Исследуя фотосинтетическую активность хлорофилла на Рыбинском водохранилище установлено, что связь ассимиляционных чисел – важной продукционной характеристикой фитопланктона – с сезонными изменениями температуры проявляется более резко в мезотрофных водоемах по сравнению с эвтрофными (Сигарева, Минеева, 1985).

Прозрачность воды влияет на фитопланктон косвенно, поскольку характеризует проникновение в водную толщу солнечной радиации, необходимой для фотосинтеза. На величину прозрачности воды водоема оказывают влияние и ландшафтные особенности водосбо-

ра, обусловлена она содержанием взвешенных веществ органического и неорганического происхождения. (Россолимо, 1964; Бульон, 2007; Nurnberg, Shaw, 1988).

К числу важных факторов также относятся световые условия. И.Л. Пырина (1959) показала, что даже отдельные представители одной и той же группы водорослей по-разному реагируют на одну и ту же освещенность. Взвешенные в воде частицы, которые могут образовываться в результате ветрового перемешивания донных отложений на мелководных участках или дождевыми паводками, задерживают световое проникновение и тормозят фотосинтез (Гусева, 1961). При массовом развитии фитопланктона может проявляется световое голодание, так в Кременчугском, Каховском и др. водохранилищах, летом и осенью, когда фитопланктон представлен цианобактериями, световое голодание оказывается больше, чем весной, когда преобладают диатомовые (Примайченко, 1981). В Днепровских водохранилищах большие массы цианобактерий скапливаются у поверхности воды и создают эффект самозатенения.

Хотя главные факторы развития планктона достаточно хорошо известны, необходимо отметить, что уровень и глубина познания закономерностей развития фитопланктона далеки от совершенства. Основная причина заключается в том, что все факторы действуют одновременно и с разной интенсивностью (Михеева, 1983 и мн. др.). Кроме этого, каждый из этих факторов, влияющих на развитие фитопланктона, по-разному проявляется в конкретных водных объектах, а их сложная комбинация формирует особенности функционирования экосистемы водоема и формирования качества воды в отдельные годы.

Также необходимо учесть, что водохранилища – сложно организованные мозаичные системы, в них выделяется несколько гидрологических зон – мелководная (речная), промежуточная или озерно-речная и глубоководная или озерная (Беркович, 2012). Эти зоны различаются по ряду характеристик – глубинами, ветроволновым и скоростным режимом, обеспеченностью минеральным питанием и т.д. В связи с этим особый интерес вызывает выявление особенностей структурной и функциональной организации сообществ гидробионтов, а также их реакции на разных участках водохранилищ при воздействии одних и тех же факторов.

Неоднородность количественных и качественных характеристик фитопланктона в акватории водохранилищ хорошо известна (Даценко, 2007; Даценко и др., 2017; Минеева, 2004; Эдельштейн и др., 2017). Система течений и перемешивания оказывает влияние на из-

менение концентраций биогенных веществ и биомассы фитопланктона, определяет перераспределение веществ между отдельными частями в пространственно-неоднородных водоемах (Минеева, 2004; Даценко и др., 2014). В глубоководных водоемах из гидрофизических процессов авторы выделяют конвекцию и вертикальное плотностное расслоение. Весь этот комплекс гидролого-гидрофизических процессов влияет не только на перераспределение пассивных субстанций, оказывает влияние на интенсивность протекания химических и биохимических процессов. Гидрофизические процессы не только контролируют температуру воды – важнейший фактор биохимических превращений, но и способствуют возникновению вторичных процессов, определяющих круговорот веществ в водоеме – в первую очередь внутреннюю химическую нагрузку на экосистему (Даценко и др., 2014). Так, в верхнем районе Саратовского водохранилища, где высокие скорости течения и трансформируется планктон, поступающий из Куйбышевского водохранилища, биомасса фитопланктона обычно ниже, чем в среднем и нижнем районах. Наиболее продуктивными являются мелководные (пойменные) и приустьевые участки, характеризующиеся пониженными скоростями течения, более ранним прогревом воды весной, более высокими температурами летом и быстрым охлаждением воды осенью. Здесь раньше начинается интенсивное развитие цианобактерий, и именно здесь нередко регистрируется “цветение” воды (Попченко, 2001). Л.Г. Корнева (2015) отмечает неоднородное распределение фитопланктона Рыбинского водохранилища, обусловленное сложной морфометрией и гетеротопностью, которая предопределяет значительную разницу в гидрологическом режиме различных его участков.

При изучении Можайского водохранилища по продольной его оси отмечены различные сроки начала и окончания весеннего “цветения” диатомовыми водорослями – от верховья к плотине с задержкой в 3–4 дня (Эдельштейн и др., 2021). Более раннее начало “цветения” верхних участков авторы объясняли тем, что они более мелководные, хорошо прогреваются и перемешиваются, в них поступают с речными водами биогенные вещества. Летне-осеннее “цветение” вызвано цианобактериями, межгодовая изменчивость и линия тренда индекса “цветения” воды в центральном плесе мало отличаются от таковых в приплотинном. Это свидетельствует о том, что на большей части Можайского водохранилища единые причины изменчивости интенсивности цветения.

Разнообразие речных экосистем, сток которых зарегулирован, крайне велико, как велико разнообразие соотношения и порядка расположения разнотипных участков водохранилищ, определяющих закономерности распределения водных организмов по их продольному профилю, а также особенности реакции сообществ на влияние основных факторов среды. Это определяет актуальность исследований каждого крупного водотока и разных зон его зарегулированных участков – водохранилищ.

К их числу относится р. Урал – третий по протяженности водоток Европы (длина 2428 км, площадь бассейна – 231 000 км^2), который, как и большинство крупных рек, зарегулирован. Щиты плотины были опущены в 1955 г., но работа при постоянном водосливе наиболее крупного на реке Ириклинского водохранилища началась в 1958 г. Водохранилище руслового типа, регулирование – многолетнее, при НПУ (245 м) объем составляет 3.25 км^3, площадь акватории – 260 км^2, длина – 73 км, наибольшая и средняя глубины – 36 и 12.5 м. Водоем включает каскад русловых плесов, а также ряд крупных боковых заливов (Соловых и др., 2003).

1.2. История изучения фитопланктона р. Урал и Ириклинского водохранилища

Первые сведения о водорослях водоемов Оренбуржья можно найти у К.Г. Эренберга (Ehrenberg, 1830), некоторые данные имеются также в работе Ю.К. Шелля (1883) (цит. по: Батурина, 1970а). Обобщающие работы по анализу альгофлоры водоемов Оренбургской области представлены уже в 21-м веке (Яценко-Степанова и др., 2005, 2007; Яценко, 2011; Немцева и др., 2012; Игнатенко и др., 2013). Авторами обобщены данные литературы более чем за 150-летний период и собственные материалы, составлен чек-лист альгофлоры Оренбургской области, включающий 1033 вида, разновидности и формы, в структуре сообщества преобладали виды из отделов Chlorophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta. Исходя из особенностей структуры, степени развития, характера сезонной динамики фитопланктона и продукционно-деструкционных процессов, свидетельствующих о неизменности трофического статуса и качества вод пойменных озер Урала, авторы пришли к выводу о стабильности экологического состояния водоемов на протяжении около 30 лет, которая обеспечивается позитивным влиянием паводка, объединяющего в единую систему пойменные озера и р. Урал. Большая часть исследований посвящена также сапробиологической характеристике, показано, что среди выявленных индикаторов сапробности лидирующее положение занимали β-мезосапробы.

Первые сведения по альгофлоре р. Урал опубликованы в работе С.Д. Муравейского (1923), который изучал планктон и гидрохимию водотока в 1917–1918 гг. в районе г. Оренбурга, и отмечал, что планктонный комплекс осенью совершенно не сходный с весенним. Более подробно фитопланктон нижнего течения р. Урал описал А.Л. Бенинг (1938) по результатам исследований 1927 и 1929 гг. В работе приводится список водорослей из диатомовых, зеленых, цианобактерий, коньюгат и перидиней, всего 77 форм. Автор отметил, что планктон реки состоит в основном из представителей цианобактерий и диатомовых, а также коловраток, ветвистоусых и веслоногих ракообразных, значительно менее представлены виды жгутиковых, зеленых и простейших, практически отсутствуют десмидиевые.

В работе И.А. Киселева (1954), который приводит данные по среднему течению р. Урал в августе 1949 г. и в июне–июле 1950 г., также присутствуют сведения о количественном преобладании в составе фитопланктона диатомовых и, в меньшей степени, цианобактерий. Из 118 встреченных видов 59 диатомовых, протококковых – 23, перидиниевых – 10, эвгленовых – 9,

сине-зеленые, хризомонады, вольвоксовые, десмидиевые, разножгутиковые, улотриксовые и зигнемовые встречены единично. Однако, как отмечает автор, сборы носили эпизодический, большей частью однократный, характер.

В течение ряда лет коллектив кафедры биологии Оренбургского медицинского института исследовал гидробиологию среднего течения р. Урал и его притоков, параллельно изучался гидрохимический режим. За период исследований с 1959 по 1963 гг. была представлена характеристика видового состава фитопланктона, сезонной количественной и качественной динамики (Блюмина, 1962; Драбкин, Блюмина, 1963; Гидробиология реки Урала, 1971). Авторами обнаружен 201 вид и разновидность водорослей, диатомовые и зеленые преобладали по видовому разнообразию и количественному развитию. В весеннем планктоне доминировали диатомовые водоросли, а именно *Asterionella formosa, Fragilaria crotonensis*, *Nitzschia sigmoidea*, *N. acicularis*, зеленые же играли подчиненную роль, среди них по численности преобладали *Scenedesmus quadricauda*, *S. acuminatus* и *Pediastrum duplex.* В конце июля – начале августа численность фитопланктона уменьшалась, главенствующее положение занимали зеленые водоросли (протококковые): *Scenedesmus quadricauda*, *S. bijugatus*, *Pediastrum boryanum*, диатомовые отступают на второй план, возрастает доля цианобактерий из-за развития *Merismopedia tenuissima*. Во второй половине августа-начале сентября регистрировали подъемом численности фитопланктона, который авторы связывают с благоприятными условиями – теплой устойчивой погодой и высокой прозрачностью. В этот период руководящими формами были *Asterionella formosa*, *Scenedesmus quadricauda*, *Pediastrum duplex*, *P. boryanum*. В конце сентября планктон беднел и в ноябре приобретал зимний характер. В материалах указывается на *β*-мезосапробный характер реки.

В районе г. Уральска исследования проводились с 1965 по 1967 гг. За время исследований было отмечено 167 таксонов водорослей, из них диатомовых 51%, зеленых – 25% (Фокина, 1968). Автор подчеркивает резко выраженное преобладание диатомовых водорослей как по числу видов, так и по обилию, указывает на преобладание в планктоне *β*-мезосапробных форм.

С 1968 по 1971 гг. исследования фитопланктона р. Урал и ее притоков продолжены С.Н. Порядиной. В среднем течении р. Урал были выделены участки с разной сапробностью (Порядина, 1971). Автор делает выводы, что на реке имеются зоны с высокой концентрацией биогенных веществ в воде, которые расположены вблизи больших городов. Кроме того, охарак-

теризованы особенности фитопланктона на разных участках течения реки: в верхнем участке в течение года руководящими формами выступали представители диатомовых водорослей, в среднем – диатомовых и протококковых, в нижнем – диатомовых, протококковых и цианобактерий (Порядина, 1973а). В развитии альгофлоры реки отмечены сезонные изменения, выражающиеся в смене видового состава и количественного развития, отмечено два максимума: весенний, который обусловлен диатомовыми водорослями, и летний, связанный с развитием протококковых водорослей (Поряднина, 1973б). Подробный список альгофлоры р. Урал и его притоков был представлен в работе С.Н. Порядиной и А.Э. Эргашева (1975), который включал 364 вида, разновидности и формы, из них: диатомовых – 144, зеленых – 136, цианобактерий – 54, эвгленовых – 13, остальные отделы представлены единично.

В 1977 по 1978 гг. проводилось изучение флоры различных водоемов Оренбургской области. Список водорослей насчитывал 302 видовых и внутривидовых таксона без диатомовых водорослей (Батурина, 1977), максимальным числом видов были представлены Chlorophyta, среди которых хлорококковым принадлежало 114 таксонов. В это же время проводились работы по изучению диатомовых водорослей и особое внимание уделялось фитобентосу, всего было встречено 253 таксона (Батурина, Лигерман, 1986). Из 49 индикаторных видов 30 были показателями олигосапробных вод, 16 – β-мезосапробных и 3 – α-мезосапробых.

По данным Г.П. Алехиной (2002), проводившей исследования фитопланктона среднего течения р. Урал в период 1993–2000 гг., количественные показатели по сравнению с данными С.Н. Порядиной возросли, автор указывает на нарастание антропогенной нагрузки на водоток. Наибольшим видовым богатством отличались отделы диатомовых (40%) и зеленых (37%) водорослей.

Начало детальному изучению фитопланктона Ириклинского водохранилища положила В.Н. Батурина, проводившая работы в 1962–1966 гг., а также в 1981 г., параллельно ею обработаны пробы, собранные С.Н. Уломским в 1958, 1959 и 1961 гг. В результате изучения было идентифицировано 205 видов и внутривидовых таксонов водорослей, из которых наибольшего разнообразия достигали хлорококковые водоросли – 40%, а также десмидиевые – 14%, доля диатомовых составляла 11% (Батурина, 1983). Большинство видов диатомовых можно было найти на всех участках водоема. Эвгленовые отмечались, как правило, на мелководьях.

Кроме этого, было изучено горизонтальное и вертикальное распределение фитопланктона, а также сезонная и межгодовая динамика (Батурина, 1968, 1970а, б, 1971а, б, 1983). Отмечено, что воды р. Урал вносили фитопланктон в верхний плес водохранилища в ничтожном количестве. В первые годы образования верхних плесов – Уртазымского и Чапаевского – фитопланктон был развит слабо, так как в них сохранялся речной режим. В последующие годы (1961–1964 гг.) основу количественных характеристик формировали диатомовые водоросли, весной также вольвоксовые и эвгленовые, летом – хлорококковые. Цианобактерии были малочисленны. Лишь в 1965 г. фитопланктон верховья водохранилища отличался от предыдущих лет богатым развитием в летне-осенний период хлорококковых и цианобактерий, при этом количественные показатели хлорококковых уменьшались по направлению к Чапаевскому плесу, а цианобактерий – увеличивались. Обилие в Уртазымском плесе хлорококковых водорослей автор объясняла наличием значительных количеств биогенных веществ и хорошей прогреваемостью. Одновременно сильное ветровое перемешивание отрицательно действовало на цианобактерий, но при этом происходило перемешивание воды, обогащая ее углекислотой, к которой очень требовательны зеленые водоросли (Батурина, 1970б). Чапаевский плес защищен высокими берегами и менее подвержен ветровому перемешиванию, что создавало благоприятные условия для ежегодного обильного развития цианобактерий.

В средней части водохранилища – Софинском и Орловском плесах – весной основу численности и биомассы составляли эвгленовые водоросли, высоким обилием отличались также вольвоксовые и диатомовые. Летом и осенью 1962–1964 гг. 85–98% биомассы составляли диатомовые водоросли (их численность достигала 8,8 млн кл./л, биомасса – 5,6 мг/л). В 1965 г. доминирующее положение в эти сезоны занимали цианобактерии, численность которых составляла 64–142 млн кл./л, что связано с благоприятными гидрологическими условиями – значительной прозрачностью, хорошей прогреваемостью и отсутствием течения в Софинском плесе. Указывалось, что на химический режим плесов средней части водохранилища определенное влияние оказывают реки Бурля и Ташла, которые в паводок приносят богатые биогенными веществами воды.

В нижней части водохранилища в первые годы существования водохранилища отмечалось массовое развитие цианобактерий, в последующие годы они развивались слабо, а по количественным показателям преобладали в основном диатомовые водоросли, составляя 40–80%, а

порой и более 90% от общей биомассы, заметную роль также играли перидиниевые, в некоторых случаях превышая биомассу диатомовых. В.Н. Батурина (1970б) указывает, что преобладание диатомовых водорослей в нижних плесах в течение всего вегетационного периода связано с холодноводностью. Большие глубины и отсутствие мелководий способствуют слабому поступлению биогенов из придонных слоев, поэтому количественные характеристики в нижних плесах всегда были ниже, чем в верхних.

Весной фитопланктон довольно обилен в верховье водохранилища, летом развивался обильно по всему водохранилищу и количественно отличался по годам: так средняя биомасса в 1963 г. изменялась от сотых долей до 3,2 мг/л, в июле–августе 1963 г. – 1,1–2,2 мг/л, а лето 1965 г. было самым продуктивным – 0,5–5,7 мг/л и максимальные количественные показатели 1965 г. (142,3 млн кл./л и 34 мг/л) были наибольшими за все годы исследования. Осенью численность и биомасса водорослей довольно высокая 1,8–6,5 млн кл./л и 0,7–3,6 мг/ соответственно.

В целом можно заключить, что наличие биогенных веществ, световые и температурные условия благоприятствовали обилию водорослей в верховьях водохранилища и заливов. В низовье долго держится лед, температура воды значительно ниже, несколько меньше и концентрация биогенных веществ – все это отрицательно сказывалось на развитии фитопланктона в низовье. Однако показано, что отдельные районы водохранилища имели особенности сезонных и межгодовых изменений фитопланктона. В связи с неоднородными гидрологическими условиями, химизмом и температурой воды распределение фитопланктона по продольному профилю водохранилища было различным. В верхнем и среднем участках количественные показатели сообщества весной и осенью были постоянно выше, а летом распределение количественных показателей может быть иное (Батурина, 1970б). Так в июле количественные показатели всегда выше в средних плесах, наибольшая численность в августе регистрировалась в верховье или средней части, а максимальная биомасса – в низовье.

Данные, полученные в ходе изучения фитопланктона Ириклинского водохранилища в 1975–1981 гг., также показали, что верхние участки водохранилища отличались большим видовым разнообразием, численностью и биомассой (Порядина, Жовнир, 1983).

В 2003 г. под редакцией Г.Н. Соловых вышла книга «Гидробиологическая характеристика Ириклинского водохранилища», в которой освещены вопросы изменения структуры популяций фито- и зооценозов, а также лизоцим-антилизоцимного микробного сообщества под влия-

нием теплового загрязнения сбросных вод Ириклинской ГРЭС. Авторы указывают, что в течение 1975–1992 гг. было обнаружено 139 таксонов водорослей, из которых наиболее разнообразно представлены зеленые водоросли. На протяжении всего периода изучения наблюдалось количественное преобладание диатомовых.

Последние доступные результаты изучения, представленные в научной литературе, относятся к 2001–2008 гг. (Еремкина, 2020). За этот период было выявлено 268 таксонов из 8 отделов (Bacillariophyta – 87, Chlorophyta – 88, Cyanobacteria – 29, Charophyta – 20, Euglenophyta – 21, Ochrophyta – 12, Cryptophyta – 4, Miozoa – 7), 13 классов, 29 порядков, 65 семейств, 131 рода. Автором показано, что общий список альгофлоры водохранилища с учетом данных архивов и литературы насчитывает 392 таксона из 9 отделов, а основу видового богатства формируют зеленые и диатомовые водоросли. Наиболее разнообразный фитопланктон обнаружен в верховьях: в Уртазымском плесе – 146 таксонов, в Софинском – 152, где также выявлены высокие численности и биомассы. Определено, что воды водохранилища в 2001–2008 гг. относились к умеренно загрязненным переходного 3б–4а класса.

В значительной части упомянутых работ авторы большое внимание уделяли видовому разнообразию фитопланктона, а сведения о его количественных показателях и их межгодовой динамике на разнотипных участках в разные сезоны в зависимости от ярко выраженных вариаций погодных и гидрологических условий представлены в гораздо меньшей степени. Очевидно, что в настоящее время исследования закономерностей пространственно-временной динамики фитопланктона Ириклинского водохранилища не только не потеряли своей актуальности, что связано с местом первичных продуцентов в структурно-функциональной организации экосистемы водоема, но выходят на новый уровень в связи с изменением климата и, как следствие, режима водности.

Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Краткая характеристика р. Урал и Ириклинского водохранилища

Характеристика составлена в основном по информации, представленной в книге 1 “Схемы комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Урал (Российская часть)” (Общая характеристика речного бассейна, 2014).

Река Урал относится к крупнейшим водным артериям России, ее общая длина составляет 2 428 км, площадь водосбора – 231 000 км^2, а на территории Российской Федерации длина 1 142 км, площадь водосбора – 172 000 км^2 (Водохозяйственное районирование…). Река протекает по территории России (Челябинская и Оренбургская области, Республика Башкортостан) и Казахстана (рис. 2.1.1) в разных природных ландшафтах.

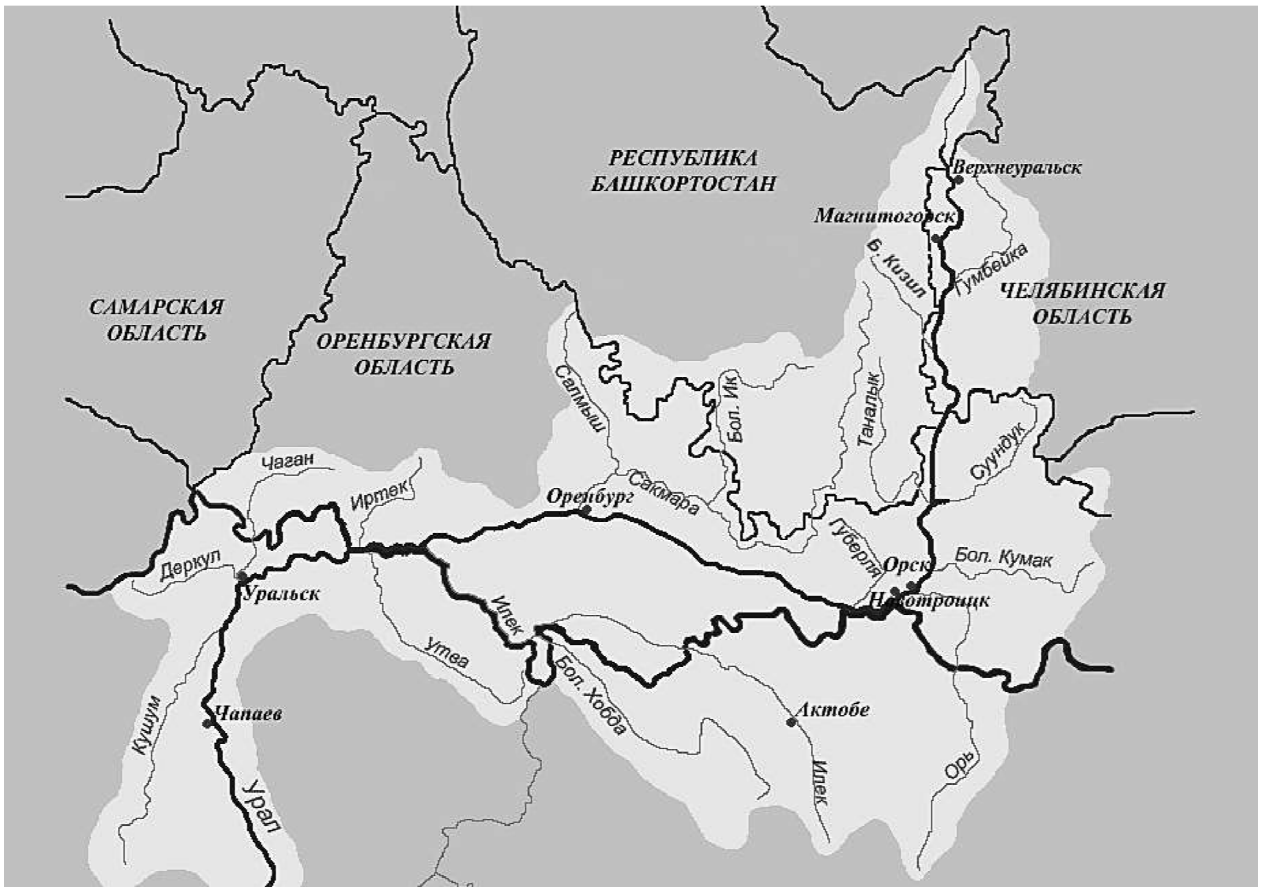

Рис. 2.1.1. Карта-схема бассейна р. Урал на территории России.

Верховья реки находятся в пределах лесостепной области Урала в Южноуральской восточной горной провинции. По условиям рельефа бассейн Урала подразделяется на горные сооружения Южного Урала, Общий Сырт, Подуральское плато (Ресурсы поверхностных вод …, 1970). По характеру долины, русла, водности и, согласно направлению течения, Урал делится на три основных части: верхнюю, среднюю и нижнюю: от истоков до г. Орска она

течет в южном направлении, от г. Орска до г. Уральска – на запад, а от г. Уральска до устья – на юг. Падение реки от истока до устья составляет 787 м. Левобережная часть бассейна реки в 2,1 раза больше правобережной, а правые притоки, стекающие с более возвышенных частей бассейна, в питании Урала играют большую роль. Густота речной сети по правому берегу составляет 0,29 км/км^2, по левому – 0,19 км/км^2, в целом в бассейне – 0,25 км/км^2.

Климатические условия формируются под влиянием радиационного баланса, циркуляционных процессов, а также характера подстилающей поверхности. Значительное удаление от Атлантического и Тихого океанов обусловило в пределах бассейна континентальность климата. В зимний период под действием Азорского и Сибирского антициклонов на большей части территории наблюдается ясная и холодная погода. В целом континентальность климата вызывает безоблачную погоду и большой приток солнечной радиации. Величины радиационного баланса составляют 37–49 ккал/см^2/год.

Большая протяженность территории обеспечивает различные температурные условия. Средняя годовая температура воздуха изменяется от 1°С на северо-востоке бассейна до 4°С на юге. Наиболее холодным месяцем повсеместно является январь, наиболее теплым – июль, когда средняя температура колеблется в пределах 18–29°С, а максимальные температуры достигают 38–42°С. Относительная влажность воздуха характеризует степень засушливости климата, уменьшаясь с севера на юг. Ветровой режим территории различен и обусловливается рельефом и циркуляционными факторами.

Разнообразие форм рельефа, а также атмосферных процессов, обусловливают большую изменчивость осадков. По величине годовых сумм осадков территория бассейна делится на три района: I – западные склоны Уральских гор и юго-восточные отроги Общего Сырта с годовой суммой осадков 500–650 мм; II – восточные склоны Уральских гор и юго-восток Оренбургской обл. с годовой суммой осадков 350–450 мм; III – центральный и северо-западный с годовой суммой осадков 225–500 мм. Большая часть бассейна р. Урал характеризуется засушливостью, в течение 1–2 месяцев подряд может наблюдаться полное отсутствие осадков. Наибольшее количество осадков за сутки повсеместно отмечаются в июне–августе (49–87 мм). Ливневые дожди охватывают небольшую территорию и продолжаются от нескольких минут до 3–5 часов, обычны в июне–августе, за один дождь выпадает до 69 мм осадков.

Водные ресурсы бассейна представлены поверхностными объектами и подземными водами. Ресурсы поверхностных вод включают речной сток, ресурсы озер, болот. Основной водно-ресурсный потенциал сосредоточен в р. Урал и ее крупных притоках – реках Сакмара, Илек и Орь, а также в 1150 водотоках, из которых 29 имеют длину более 100 км. Распределение речной сети на территории бассейна р. Урал обусловлено наличием на юго-западе Каспийского моря и на северо-востоке горных сооружений Южного Урала, поэтому реки здесь имеют общее направление течения с северо-востока на юго-запад. По особенностям ее формирования территорию бассейна р. Урал можно разделить на следующие районы: верхняя часть бассейна р. Урал и бассейн р. Сакмары; реки Общего Сырта, впадающие в р. Урал; реки Подуральского плато, впадающие в р. Урал выше г. Уральска. В пределах верхней части бассейна только реки Урал и Сакмара имеют постоянное течение на всем протяжении.

Реки имеют преимущественно снеговое питание (до 60–80% годового объема стока), в результате чего на каждой наблюдается обильное весеннее половодье, в течение которого проходит 70–80% годового стока. В целом годовой объем стока реки в год P=50% обеспеченности составляет 9,2 км^3, P=75% – 6,2 км^3, P=95% – 3,8 км^3.

Долина Урала большей частью прямая, лишь местами слабо извилистая. До впадения р. Алимбет ее преобладающая ширина 1,0–1,5 км, наибольшая – 7–8 км – у г. Орск. Ниже впадения р. Алимбет долина постепенно расширяется, ее преобладающая ширина составляет 6–8 км, к устью р. Илек ширина увеличивается до 12–13 км, а у г. Уральска имеет ширину несколько десятков км. Правый склон долины высокий и крутой, местами обрывистый. Пойма Урала преимущественно двухсторонняя, ее ширина варьирует от 0,5–1,0 до 7–10 км, лишь на участке от с. Хабарного до устья р. Терекла, где река протекает в теснине, пойма отсутствует.

Русло р. Урал на всем протяжении извилистое, коэффициент извилистости достигает 2, в большей части неразветвленное. Большое разветвление (на протяжении 14 км) на два рукава отмечается у с. Нижнеозерного, а также выше впадения р. Илек, где протяженность рукавов составляет 12 км. Берега русла преимущественно крутые, чередующиеся с обрывистыми высотой от 3–4 до 7–8 м. Берега сложены песчано-глинистыми отложениями с примесью гальки, однако в конце участка встречаются супеси и суглинки. Дно русла на плесах песчаное, у берегов часто слегка заиленное, на перекатах песчано-галечное или каменистое. Глубины на перекатах изменяются от 0,3 до 0,8 м, на плесах – от 1,0 до 8,0 м. Скорость течения р. Урал на

плесах до 0,3–0,5 м/с, на перекатах – до 1,0 м/с (а отдельных перекатах 2,0 м/с). Уклон реки по мере удаления от истока уменьшается с 6,7 до 0,9‰ у г. Орска.

Средняя продолжительность половодья колеблется от 20 дней на малых реках до 100 дней на р. Урал. Растянутость половодья объясняется неоднородностью начала и конца снеготаяния в отдельных частях бассейна: в нижнем течении р. Урал поступление талых вод в русловую сеть начинается раньше, чем в верхней части бассейна. Окончание половодья зависит от конца снеготаяния в верховьях бассейна, где сосредоточены наибольшие снегозапасы, а также от времени добегания паводочной волны.

Из климатических факторов, определяющих величину весеннего стока, основным являются снегозапасы, которые к началу таяния значительно изменяются по территории в соответствии с зональным убыванием количества зимних осадков с севера на юг и с запада на восток, а также под влиянием рельефа и залесенности местности. В верхнем течении Урала величина снегозапасов составляет 70–120 мм, на юге – 30–50 мм. В распределении весеннего стока бассейн р. Урал характеризуется наличием достаточно отличающихся друг от друга районов: в верховьях самой р. Урал и правых ее притоков максимум стока на весенний период приходится на апрель–май, в бассейне рек Таналык и Салмыш – преимущественно на апрель (65–78%). В последнем месяце весны формируется всего лишь 4% сезонного стока, что свидетельствует о резком сокращении стока малых рек и наступлении устойчивого маловодного периода. Доля летне-осеннего стока в годовом стоке распределяется следующим образом: р. Урал – г. Верхнеуральск – 26%, п. Березовский – 17,3%, г. Оренбург и р. Сакмара в устье – 15%, р. Илек – 11%; в бассейнах малых рек Таналык, Суундук и Большой Кумак – 3–10%, Большой Ик и Салмыш – 12–18%. Зимний сток заметно меньше летнего, он зависит от общей увлажненности территорий и регулирующей способности водосборов. В осенний период наблюдается несколько повышенная водность в результате выпадения осадков и уменьшения испарения с водосбора. Зимой на большинстве рек сток прекращается из-за промерзания перекатов.

Особенность практически всех озер бассейна – бессточность, значительное сокращение водной поверхности или пересыхание к концу лета. Большинство озер сосредоточено в предсыртовой зоне, куда сбрасывается основной сток Общего Сырта и Подуральского плато.

В южной и юго-восточной частях территории озер мало, в массе представлены безводные замкнутые впадины с горько-соленой грязью.

В связи с высокой неравномерностью стока в течение года, бассейн р. Урал имеет довольно высокую степень зарегулирования стока. Так, в бассейне на территории России создано 13 водохранилищ объемом более 10 млн м^3. К числу наиболее крупных относятся Ириклинское, Верхне-Кумакское, Черновское и Красночабанское. Также имеется 126 водохранилищ объемом до 10 млн м^3, более 600 прудов объемом до 1 млн м^3, из которых более 500 находятся на территории Оренбургской области.

Строительство крупнейшего на Южном Урале гидроузла – Ириклинского водохранилища – началось в 1949 г., датой его возникновения считается 28 мая 1955 г., когда были опущены щиты плотины, а наполнение продолжалось до 1966 г. (Чибилев и др., 2006). Водохранилище расположено на территории Гайского района Оренбургской области, створ плотины находится в 83 км выше по реке от г. Орска, площадь водосбора в створе – 36900 км^2. Водохранилище руслового типа, регулирование – многолетнее, при НПУ (245 м) объем составляет 3260 млн м^3, площадь акватории – 260 км^2, длина – 73 км. Сработка уровня не превышает 6 м, водообмен 1 раз в 2 года. Водоем включает каскад русловых плесов, а также ряд крупных боковых заливов (рис. 2.1.2).

Рис. 2.1.2. Ириклинское водохранилище.

Верхний из исследованных нами плесов – Чапаевский – имеет площадь 26 км^2, наибольшую ширину – 2 км, глубину – 15 м, средний – Софинский – соответственно 23 км^2,

3 км, 15 м, Таналык-Сундукский – 61 км^2, 7 км, 28 м, Приплотинный – 3 км^2, 0,8 км, 36 м (Грандилевская-Дексбах, Шилкова, 1971; Соловых и др., 2003; Чибилев и др., 2006). Водохранилище осуществляет водообеспечение Орско-Халиловского промышленного комплекса, а также городов Гай, Новотроицк. Водохранилище комплексного назначения, используется для водоснабжения, целей энергетики, защиты от затопления городов Орска и Новотроицка, орошения. В 1970 г. введена в эксплуатацию Ириклинская ГРЭС, забирающая воду из водохранилища для целей оборотного водоснабжения. Обладая полезной емкостью 2 760 млн м^3, почти в двое превышающей средний многолетний объем притока (1220 млн м^3), водохранилище способно вести глубокое многолетнее регулирование стока.

Гидрохимический режим водохранилища в летнюю межень характеризуется рядом черт: р. Урал и ряд притоков (Уртазымка, Таналык, Ирикла, Суундук) имеют воды средней или повышенной минерализации, гидрокарбонатные, группы кальциевой и натриево-кальциевой; восточные притоки Бурля, Ташла, Соленая – к хлоридно-сульфатным, к группе натриевой (Соловых и др., 2003). Весной воды из жестких переходят в мягкие, снижается минерализация, все реки – гидрокарбонатные.

2.2. Погодные и гидрологические условия в 2016–2019 гг.

Исследованные вегетационные периоды различались по ряду погодных условий, сведения о которых получены из открытых источников (http://rp5.ru; https://www.meteoblue.com/ru/climate-change). Минимальная температура воздуха весной отмечена в 2017 и 2019 гг., а максимальная – в 2016 г. (табл. 2.2.1). В июне 2017 г. она была выше, чем в 2018 г., а в июле достигала максимальной величины, хотя в среднем за период с апреля по июль уступала значениям 2016 г. В августе 2016 г. отмечена максимальная температура, в 2019 г. – минимальная, в сентябре такие величины наблюдались в 2017 и 2019 гг. соответственно, в октябре – в 2018 и 2016 гг. В целом, наибольшей средней за вегетационный период температурой воздуха отличался 2016 г., наименьшей – 2019 г.

Исследованные годы различались также по количеству атмосферных осадков в вегетационный период: максимальное обнаружено в 2017 г., минимальное – в 2018 г. (табл. 2.2.1). Однако необходимо отметить, что в период апрель–май наименьшая сумма осадков наблюдалась в 2019 г., в период апрель–июль и апрель–октябрь – в 2018 г.

Уровень р. Урал в 2016–2018 гг. имел незначительные межгодовые вариации, однако минимальные величины во все сезоны вегетационного периода и в среднем отмечены в 2018 г. (табл. 2.2.2). Однако объем притока воды в водохранилище имел более значительные различия. Так, в 2019 г. в апреле–мае и в апреле–июле он был меньше в среднем в 3.2 раза, чем в другие годы, в апреле–октябре – в 1.2 раза (табл. 2.2.2). Наибольший объем притока в весенне-летний период и в среднем за период вегетации наблюдался в 2016 г., а в августе и сентябре – в 2017 г.

В связи с минимальными количествами атмосферных осадков и объемом притока в 2019 г. уровень воды водохранилища был меньше, чем в разные месяцы 2016–2018 гг. на 0.35–2.40 м, в период апрель–май в среднем на 1.31 м, в период апрель – июль – на 1.72 м, в период апрель–октябрь – на 1.75 м (табл. 2.2.2). Максимальный уровень воды водохранилища наблюдался в 2017 г. Низкий уровень и минимальный приток воды в водохранилище в 2019 г. послужили причиной сокращения объемов сброса воды из водохранилища, который в период апрель–май был меньше, чем в 2016–2018 гг. в среднем на 16.1 $м^3$/сек, в период апрель–июль – на 22.6, а в период апрель–октябрь – на 20.3 $м^3$/сек (табл. 2.2.2). Исключение наблюдалось лишь в мае 2018 г., когда отмечен наименьший объем сброса.

Таблица. 2.2.1. Температура воздуха и количество атмосферных осадков в вегетационные периоды 2016–2019 гг.

Месяц	Температура, °С				Осадки, мм				
	2016	2017	2018	2019	Месяц	2016	2017	2018	2019
Апрель	8,5	6,0	5,6	5,1	Апрель	32,7	21,1	24,5	26,0
Май	15,1	13,7	15,1	14,7	Май	29,4	58,2	22,6	15,0
Средняя	11,8	9,9	10,4	9,9	*Сумма*	62,2	79,3	47,0	40,9
Июнь	19,4	18,9	17,6	18,4	Июнь	35,2	50,3	19,9	12,5
Июль	21,8	24,2	23,8	21,7	Июль	25,3	52,6	50,0	71,0
Средняя	16,2	15,7	15,5	15,0	*Сумма*	122,6	182,2	116,9	124,4
Август	24,3	21,9	19,7	17,8	Август	21,5	26,6	26,6	30,9
Сентябрь	13,1	14,8	14,7	9,1	Сентябрь	42,1	18,5	17,9	41,9
Октябрь	2,8	3,3	6,2	6,1	Октябрь	24,4	48,7	16,0	25,6
Средняя	15,0	14,7	14,7	13,3	*Сумма*	210,6	276,0	177,3	222,9

Таблица. 2.2.2. Гидрологические характеристики р. Урал и Ириклинского водохранилища в вегетационные периоды 2016–2019 гг.

Месяц	Уровень р. Урал, м				Приток, м^3/сек				Уровень водохранилища, м				Сброс, м^3/сек			
	2016	2017	2018	2019	2016	2017	2018	2019	2016	2017	2018	2019	2016	2017	2018	2019
Апрель	253,1	253,4	252,9	–	278,5	276,2	202,7	61,2	242,7	243,6	243,1	242,4	25,7	48,8	19,2	15,0
Май	252,9	252,6	252,5	–	175,8	104,4	83,2	54,1	244,6	244,9	244,0	242,6	37,5	67,8	15,0	24,2
Средний	253,0	253,0	252,7	–	227,1	190,3	143,0	57,7	243,6	244,2	243,5	242,5	31,6	58,3	17,1	19,6
Июнь	252,2	252,2	252,0	–	77,1	55,1	40,8	19,5	244,8	244,9	244,2	242,5	45,2	60,0	24,7	21,1
Июль	251,9	251,9	251,7	–	42,1	27,6	16,7	8,9	244,6	244,6	244,0	242,3	47,6	60,0	45,0	15,0
Средний	252,5	252,5	252,3	–	143,4	115,8	85,9	35,9	244,2	244,5	243,8	242,4	39,0	59,2	26,0	18,8
Август	251,6	251,7	251,6	–	14,0	16,3	11,9	7,3	243,9	244,2	243,5	242,0	60,0	35,0	28,7	15,8
Сентябрь	251,5	251,7	251,6	–	9,3	13,9	11,0	10,2	243,4	243,9	243,2	241,7	30,9	30,0	25,0	15,0
Октябрь	251,7	251,7	251,6	–	16,6	16,6	12,0	13,0	243,2	243,6	242,9	241,5	27,6	30,0	25,0	15,0
Средний	252,1	252,2	252,0	–	87,6	72,9	54,0	24,9	243,9	244,2	243,5	242,1	39,2	47,4	26,1	17,3

Примечание. «–» – отсутствие данных.

Следовательно, в весенний сезон наиболее специфичными погодными и гидрологическими условиями характеризовался 2017 г., который отличался максимальными количеством осадков, уровнем воды водохранилища и объемом сброса, минимальные величины зарегистрированы в 2019 г. Необходимо указать, что весна 2016 г. отличалась наибольшими среднесуточной температурой воздуха и объемом притока. Корреляционный анализ показывает, что уровень воды был связан с объемом притока и количеством атмосферных осадков, а объем сброса возрастал при увеличении уровня воды (табл. 2.2.3).

Таблица. 2.2.3. Коэффициенты корреляции между гидрологическими и метеорологическими характеристиками в мае

Показатель*	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I	**0,98**	**0,70**	**0,94**	**0,94**	**0,66**	**0,71**	**0,80**	**0,87**
II	–	0,54	**0,84**	**0,84**	**0,69**	**0,76**	**0,87**	**0,89**
III	–	–	**0,90**	**0,90**	0,32	0,31	0,30	0,52
IV	–	–	–	**1,00**	0,52	0,55	**0,61**	**0,76**
V	–	–	–	–	0,52	0,55	**0,61**	**0,76**
VI	–	–	–	–	–	**0,99**	**0,94**	**0,94**
VII	–	–	–	–	–	–	**0,97**	**0,96**
VIII	–	–	–	–	–	–	–	**0,97**

***** I – уровень воды в мае, II – средний уровень воды в апреле–мае, III – объем притока в мае, IV – средний объем притока в апреле–мае, V – суммарный объем притока в апреле–мае, VI – объем сброса в мае, VII – средний за апрель–май объем сброса, VIII – сумма атмосферных осадков в мае, IX сумма атмосферных осадков в апреле–мае; здесь и в табл. 2.2.4 и 2.2.5 **жирным** выделены статистически значимые коэффициенты.

В июле наибольшие количество атмосферных осадков зарегистрировано в 2019 г., минимальное – в 2016 г. (табл. 2.2.1). Одновременно в 2019 г. отмечены наименьшие уровень воды водохранилища и объем сброса, а 2016 г. отличался максимальными температурой воздуха и объемом притока. Коэффициенты корреляции показали, что уровень воды водохранилища был положительно связан с объемом притока, а объем сброса был выше при увеличении уровня воды (табл. 2.2.4).

Таблица. 2.2.4. Коэффициенты корреляции между гидрологическими и метеорологическими характеристиками в июле

Показатель*	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I	**0,99**	**0,84**	**0,96**	**0,96**	**0,96**	**0,79**	**-0,80**	0,42
II	–	**0,76**	**0,90**	**0,90**	**0,99**	**0,84**	**-0,71**	0,52
III	–	–	**0,96**	**0,96**	**0,67**	**0,61**	**-0,93**	0,18
IV	–	–	–	**1,00**	**0,84**	**0,71**	**-0,92**	0,28
V	–	–	–	–	**0,84**	**0,71**	**-0,92**	0,28
VI	–	–	–	–	–	**0,86**	**-0,61**	**0,58**
VII	–	–	–	–	–	–	-0,38	**0,87**
VIII	–	–	–	–	–	–	–	0,12

***** I – уровень воды в июле, II – средний уровень воды в апреле–июле, III – объем притока в июле, IV – средний объем притока в апреле–июле, V – суммарный объем притока в апреле–июле, VI – объем сброса в июле, VII – средний за апрель–июль объем сброса, VIII – сумма атмосферных осадков в июле, IX сумма атмосферных осадков в апреле–июле.

Интересно отметить, что с количеством атмосферных осадков в июле обнаружены отрицательные коэффициенты корреляции уровня воды, а с суммой осадков за период с апреля по июль значения коэффициентов были статистически незначимыми. Однако уровень воды в июле и в среднем за период с начала вегетации были положительно связаны с количеством осадков в мае (соответственно $r = 0.71$ и 0.78) и в июне ($r = 0.83$ и 0.87).

В октябре 2017 г. отмечено максимальное количество атмосферных осадков, уровень воды водохранилища и объем сброса, минимальные количество осадков зарегистрировано в 2018 г., уровень водохранилища, объемы притока и сброса – в 2019 г. Наибольшие среднесуточная температура воздуха и средний объем притока зафиксированы в 2016 г. Как и весной, и летом, осенью обнаружены сильные прямые корреляционные связи между уровнем воды и объемом притока, с которыми также был положительно связан объем сброса (табл. 2.2.5). С количеством атмосферных осадков в октябре и в период с апреля по октябрь прямо коррелировал лишь объем притока.

Таблица. 2.2.5. Коэффициенты корреляции между гидрологическими и метеорологическими характеристиками в октябре

Показатель*	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I	**1,00**	**0,64**	**0,90**	**0,90**	**1,00**	**0,92**	0,45	0,30
II	–	**0,64**	**0,91**	**0,91**	**1,00**	**0,92**	0,43	0,28
III	–	–	**0,78**	**0,78**	**0,65**	**0,87**	**0,69**	**0,68**
IV	–	–	–	**1,00**	**0,91**	**0,87**	0,28	0,18
V	–	–	–	–	**0,91**	**0,87**	0,28	0,18
VI	–	–	–	–	–	**0,92**	0,43	0,29
VII	–	–	–	–	–	–	**0,71**	**0,61**
VIII	–	–	–	–	–	–	–	**0,98**

***** I – уровень воды в октябре, II – средний уровень воды в апреле–октябре, III – объем притока в октябре, IV – средний объем притока в апреле–октябре, V – суммарный объем притока в апреле–октябре, VI – объем сброса в октябре, VII – средний за апрель–октябрь объем сброса, VIII – сумма атмосферных осадков в октябре, IX сумма атмосферных осадков в апреле–октябре.

Таким образом, в исследованный период зарегистрированы существенные различия уровенного режима водохранилища, который, независимо от сезона, напрямую зависел от объема притока и определял объемы сброса. Важно отметить, что количество атмосферных осадков прямо коррелировало с уровнем воды лишь в апреле–июне, а определяло объем притока только весной и осенью.

2.3. Материалы и методы исследования

Сборы проведены в мае, июле, октябре 2016–2019 гг. на поперечных разрезах (левый берег, русло, правый берег) в р. Урал (52°16′ с.ш., 58°54′ в.д. и 52°16′ с.ш., 58°55′ в.д.) и русловых плесов водохранилища: Чапаевский (ЧП) (52°04′ с.ш., 58°49′ в.д.), Софинский (СП) (51°55′ с.ш., 58°48′ в.д.), Таналык-Суундукский (ТСП) (51°47′ с.ш., 58°46′ в.д.) и Приплотинный (ПП) (51°40′ с.ш., 58°37′ в.д.) (рис. 2.3.1).

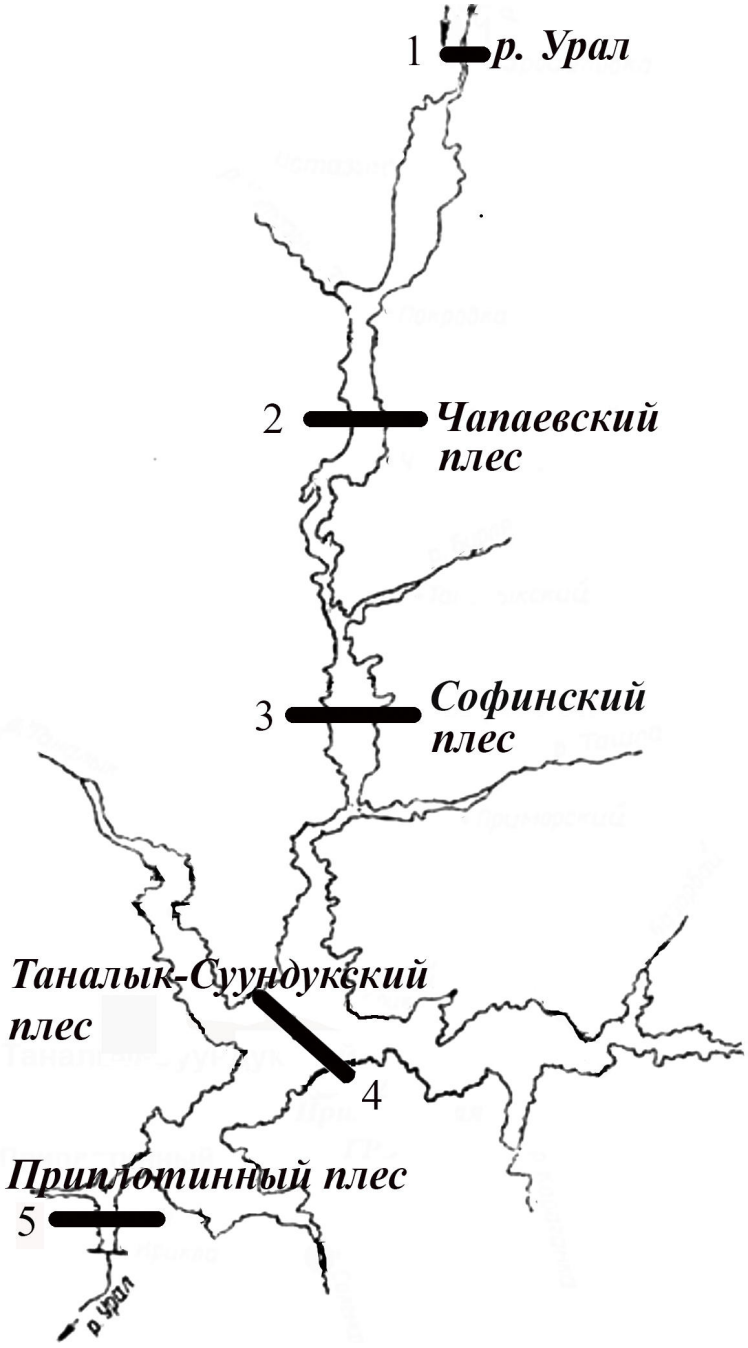

Рис. 2.3.1. Схема Ириклинского водохранилища. 1–5 – разрезы, на которых проведен сбор первичного материала.

Пробы фитопланктона (всего более 200) отбирали, фиксировали и концентрировали стандартными методами (Гусева, 1959; Методические ..., 1984). Учет водорослей проводили

под световым микроскопом “Микромед-3” в камере “Учинская-2” объемом 0,01 мл. Для определения численности и биомассы фитопланктона пользовались общепринятой методикой (Методические ..., 1984). Биомассу ФП определяли с помощью счетно-объемного метода (Методика изучения …, 1975; Методические ..., 1984), линейные размеры получали путем измерения клеток встреченных организмов. Для нахождения объема клеток их формы приравнивали к соответствующим геометрическим фигурам (Hillebrand, 1999). Крупные клетки, ценобии, колонии зеленых водорослей и цианобактерий просчитывались в объеме нескольких камер (Корнева, 1993).

К числу доминирующих были отнесены виды, численность и биомасса которых составляла ≥10% от общей. Уровень сходства доминирующих и субдоминирующих (≥5%, но <10%) видов оценивали на основе индекса биоценотического сходства Шорыгина, основанном на удельном обилии (Вайнштейн, 1976): $K = \sum Q_i \min$, где Q_i – удельное обилие i-го вида, общего сравниваемым пробам; *min* – означает, что из двух удельных обилий сравниваемых проб, избирается минимальное. Для анализа биологического разнообразия фитопланктона использовали удельное видовое богатство (число видов в пробе) (*УВБ*), ценотическое (видовое) разнообразие, которое оценивалось с помощью индекса Шеннона (Песенко, 1982): $H = -\Sigma Pi \log_2 Pi$, где *Pi* – отношение численности (биомассы) i-ого вида к суммарной численности (биомассе) ФП. Кроме этого, для оценки состояния ФП использовали среднюю индивидуальную массу (*СИМ*), численность и биомассу миксотрофных таксонов.

Таксономическую принадлежность водорослей и цианобактерий идентифицировали с помощью следующих сводок, монографий и определителей: Васильева, 1987; Водоросли…, 2006; Голлербах и др., 1953; Дедусенко-Щеголева и др., 1959; Дедусенко-Щеголева и др., 1962; Забелина и др., 1969; Киселев, 1954; Косинская, 1960; Крахмальный, 2011; Куликовский и др., 2016; Матвиенко, 1954; Паламарь-Мордвинцева, 1982, 1986; Попова, 1955; Коршиков, 1953; Матвієнко, Литвиненко, 1977, Ettl, 1983; Komárek, 2013; Komárek, Anagnostidis, 1999, 2005; Komárek, Fott, 1983; Krammer K., Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991б.

Отделы водорослей в списке видов расположены в соответствии с классификацией, принятой в справочнике "Водоросли" (Вассер и др., 1989), с выделением отдела Streptophyta (Царенко, 2005). Номенклатурно-таксономические понятия и объем зеленых и стрептофито-

вых водорослей представлены согласно Н.П. Царенко (2005), а также классификации, принятой в работе Algae of Ukraine, 2006, диатомовых – Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, б, золотистых – Волошко, 2008, эвгленовых – Ветрова, 1986, динофитовых – J. Popovsky и L.A. Pfiester (1990). При таксономической ревизии цианобактерий использовали систему, принятую в работах J. Komarek и K. Anagnostidis (1999, 2005), J. Komarek (2013), желтозеленых – Algae of Ukraine, 2006. Расположение порядков криптофитовых водорослей, а также уточнение синонимов и таксономического положения отдельных видов приводится в соответствии с данным интернет-портала Algaebase.org.

Трофический статус изученных участков акватории определяли по биомассе ФП (Жукинский и др., 1976; Китаев, 2007), качество воды – по индексу сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека (Sládeček, 1973), используя индикаторную значимость видов по спискам Р. Вегла (Wegl, 1983) и ГОСТ 17.1.3.07-82.

Параллельно с отбором проб ФП измеряли температуру воды и отбирали пробы для гидрохимического анализа, результаты которого предоставлены Е.А. Шашуловской (Саратов-НИРО). Информация по уровню р. Урал и водохранилища, объему притока и сброса воды, а также метеорологическим данным получена из материалов открытого доступа (www.gis.vodinfo.ru; http://ueiv.ru»; http://rp5.ru).

Статистический анализ, выполненный в программе STATISTICA 13, включал проверку нормальности распределения, в ряде случаев стандартизацию данных, определение коэффициентов корреляции Пирсона ($p < 0,05$), оценку статистической значимости различий средних с помощью однофакторного дисперсионного анализа ANOVA ($p < 0,05$) и *Tukey's HSD test*, пошаговый регрессионный анализ.

Глава 3. ВИДОВОЙ СОСТАВ ФИТОПЛАНКТОНА ИРИКЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Всего в составе ФП исследованной акватории в 2016–2019 гг. зарегистрировано 358 таксонов водорослей и цианобактерий рангом ниже рода, представленных 133 родами, 66 семействами, 35 порядками, 15 классами из 9 отделов (табл. 3.1, Приложение). Наибольшим видовым богатством отличались зеленые (34,9%) и диатомовые (33%) водоросли, наименьшим – желтозеленые (1,1%), а также криптофитовые, динофитовые и золотистые (по 3,4%). Максимальной родовой насыщенностью характеризовались отделы Streptophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta и Cryptophyta, минимальной – Xanthophyta (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Таксономический спектр и родовая насыщенность видами фитопланктона исследованной акватории

Отдел	Классов	Порядков	Семейств	Родов	Видов	Родовая насыщенность видами
Bacillariophyta	3	13	21	36	118	3,3
Cyanobacteria	1	3	7	17	32	1,9
Chlorophyta	4	9	21	51	125	2,5
Cryptophyta	1	2	3	4	12	3,0
Dinophyta	1	1	4	5	12	2,4
Euglenophyta	1	1	1	6	24	4,0
Streptophyta	1	2	3	4	19	4,8
Chrysophyta	2	2	4	7	12	1,7
Xanthophyta	1	2	2	3	4	1,3

Преобладание зеленых и диатомовых водорослей было характерно для всех исследованных участков (табл. 3.2). Однако максимальное число видов Bacillariophyta обнаружено в реке, минимальное – в ЧП, а наибольшее количество таксонов Chlorophyta зарегистрировано в реке и ЧП, ниже по течению оно постепенно снижалось. Аналогично распределялось видовое богатство Chrysophyta и Euglenophyta, причем, представители последнего отдела в нижнем плесе не обнаружены, как и представители Xanthophyta. Максимальное число видов Cyanobacteria отмечено в ЧП и СП, минимальное – в реке.

Обнаружены также черты сходства и различий родовой насыщенности ФП на разнотипных участках акватории. Так, на всех участках максимальной родовой насыщенностью отличались Streptophyta при наибольшем значении в ЧП, лишь в ТСП господствовали Bacillariophyta и Cryptophyta (табл. 3.2). Необходимо указать, что Cryptophyta характеризовались высокой родовой насыщенностью на всей акватории, кроме них в реке – Chlorophyta, в ЧП – Euglenophyta и Chlorophyta, в СП – Dinophyta, в ТСП – Euglenophyta, а наибольшая родовая насыщенность Cyanobacteria была характерна для ЧП и СП.

Таблица 3.2. Изменения таксономического спектра и родовой насыщенности фитопланктона на исследованных участках

Отдел	Участок*	Классов	Порядков	Семейств	Родов	Видов	Родовая насыщенность видами
Bacillariophyta	Р	3	12	19	33	95	2,9
	ЧП	3	13	15	22	53	2,4
	СП	3	13	15	23	59	2,6
	ТСП	3	12	15	21	59	2,8
	ПП	3	12	16	23	63	2,7
Cyanobacteria	Р	1	3	6	9	11	1,2
	ЧП	1	3	7	15	27	1,8
	СП	1	3	7	15	25	1,7
	ТСП	1	3	7	13	20	1,5
	ПП	1	3	7	14	20	1,4
Chlorophyta	Р	3	7	17	37	97	2,6
	ЧП	4	9	21	38	97	2,6
	СП	4	7	17	32	74	1,9
	ТСП	4	8	18	31	61	2,0
	ПП	4	8	15	24	51	2,0
Cryptophyta	Р	1	2	3	4	11	2,7
	ЧП	1	2	3	4	10	2,5
	СП	1	2	3	4	10	2,5
	ТСП	1	2	3	3	8	2,7
	ПП	1	2	3	4	10	2,5
Dinophyta	Р	1	1	3	3	7	2,3
	ЧП	1	1	4	5	10	2,0
	СП	1	1	4	5	12	2,4
	ТСП	1	1	4	4	7	1,8
	ПП	1	1	4	5	10	2,0
Euglenophyta	Р	1	1	1	6	14	2,3
	ЧП	1	1	1	6	23	3,8
	СП	1	1	1	4	9	2,3
	ТСП	1	1	1	2	5	2,5
	ПП	0	0	0	0	0	0
Streptophyta	Р	1	1	2	3	9	3,0
	ЧП	1	2	3	3	13	4,3
	СП	1	2	3	4	11	2,8
	ТСП	1	2	3	4	8	2,0
	ПП	1	2	3	3	8	2,7
Chrysophyta	Р	2	2	2	5	7	1,4
	ЧП	2	2	2	4	7	1,7
	СП	2	2	2	2	3	1,5
	ТСП	2	2	3	3	3	1,0
	ПП	2	2	2	2	2	1,0
Xanthophyta	Р	1	1	1	1	2	2,0
	ЧП	1	2	2	3	4	1,3
	СП	1	1	1	1	2	2,0
	ТСП	1	1	1	1	1	1,0
	ПП	0	0	0	0	0	0

*Здесь и далее: Р – р. Урал; ЧП – Чапаевский плес; СП – Софинский плес; ТСП – Таналык-Суундукский плес; ПП – Приплотинный плес.

В целом, наибольшим видовым богатством за весь период изучения характеризовался ФП незарегулированного участка главной реки, чуть меньше оно было в верхнем из исследованных плесов – Чапаевском, а вниз по течению постепенно сокращалось (рис. 3.1).

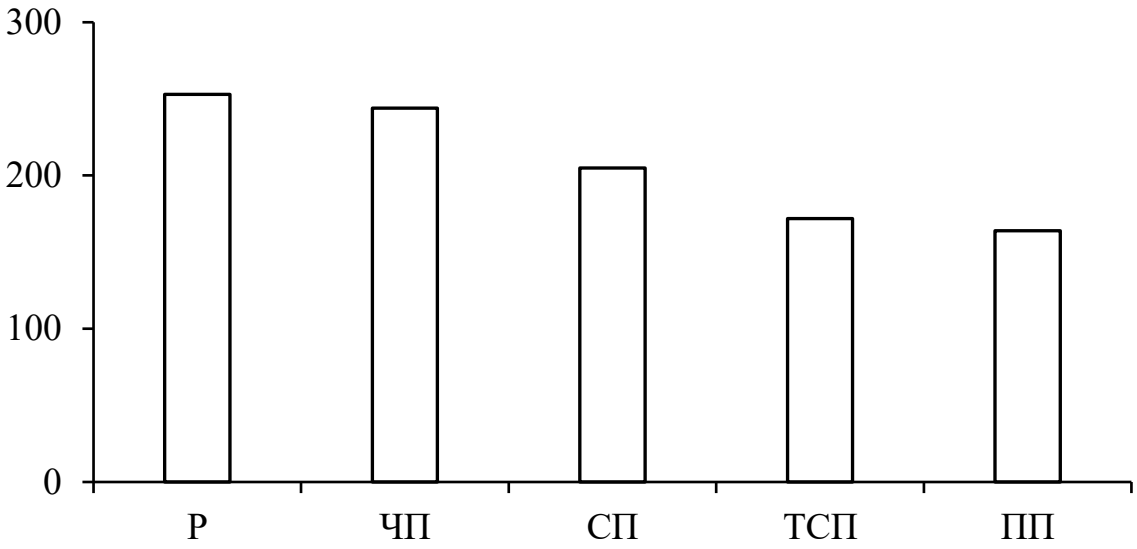

Рис. 3.1. Видовое богатство ФП исследованной акватории.

Фитопланктон и р. Урал, и ЧП характеризовался максимальным видовым богатством во все сезоны вегетационного периода (рис. 3.2). Весной и осенью в ФП реки отмечено наибольшее число видов Bacillariophyta, летом – Chlorophyta, во все сезоны сообщество водотока отличалось минимальным разнообразием Cyanobacteria и их долей в общем количестве видов – в среднем 3,0% (1,2–3,9%), в то время как в плесах водохранилища – 11,2% (4,3–20,0%).

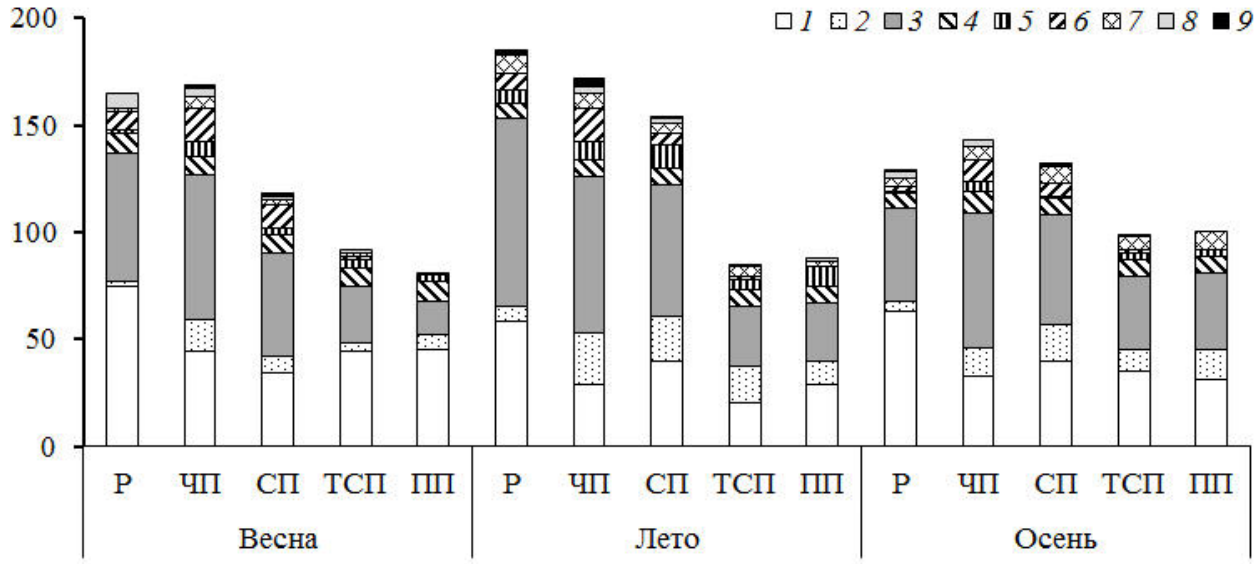

Рис. 3.2. Видовое богатство ФП исследованных участков акватории в разные сезоны вегетационного периода. Здесь и далее: *1* – Bacillariophyta, *2* – Cyanobacteria, *3* – Chlorophyta, *4* – Cryptophyta, *5* – Dinophyta, *6* – Euglenophyta, *7* – Streptophyta, *8* – Chrysophyta, *9* – Xanthophyta.

Во всех плесах водохранилища основу видового состава ФП также составляли Chlorophyta и Bacillariophyta, однако в ЧП во все сезоны, а также в СП весной отмечена минимальная доля видов диатомовых водорослей – 23,7% (16,9–28,8%), в то время как на других

участках – 37,1% (30,3–55,6%) (рис. 3.2). Кроме этого, ФП верхнего плеса весной отличался наибольшим разнообразием Cyanobacteria, Chlorophyta, Dinophyta, Euglenophyta и Streptophyta, летом – Cyanobacteria, Euglenophyta и Xanthophyta, осенью – Chlorophyta, Cryptophyta, Dinophyta и Euglenophyta. В целом, от верхнего плеса к нижнему весной сокращалось видовое богатство Cyanobacteria, Chlorophyta, Dinophyta, Euglenophyta, Streptophyta и Chrysophyta, летом – Cyanobacteria, Chlorophyta, Euglenophyta, Streptophyta и Chrysophyta, осенью – Chlorophyta и Euglenophyta.

Отмечен ряд межгодовых изменений видового богатства ФП акватории. Так, в течение времени изучения наблюдалось сокращение числа обнаруженных видов, максимальное их количество обнаружено в 2016 г., минимальное – в 2018 и 2019 гг. Изменения обуславливались снижением разнообразия Bacillariophyta, а также незначительным уменьшением количества видов Cryptophyta, Dinophyta, Euglenophyta и Streptophyta (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Межгодовые изменения числа видов фитопланктона исследованной акватории

Отдел	Число видов			
	2016	2017	2018	2019
Bacillariophyta	89	72	73	75
Cyanobacteria	23	23	20	22
Chlorophyta	89	93	89	90
Cryptophyta	12	12	10	8
Dinophyta	10	10	10	8
Euglenophyta	19	14	16	16
Streptophyta	13	14	13	9
Chrysophyta	6	6	5	7
Xanthophyta	2	2	3	3
Всего	263	246	239	238

Рассмотрим также межгодовые изменения видового богатства ФП разнотипных участков исследованной акватории в разные сезоны вегетационного периода.

Весной в реке число обнаруженных видов варьировало от 75 до 98, наибольшее их число за счет Bacillariophyta и Chlorophyta было обнаружено в 2017 г., наименьшее – в 2019 г. (рис. 3.3). Среди Bacillariophyta ежегодно обитающих на незарегулированном участке реки весной, отмечены *Amphora pediculus*, *Asterionella formosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Diatoma tenuis*, *Fragilaria crotonensis*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula capitatoradiata*, *Nitzschia acicularis*, *N. vermicularis*, *N. palea*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii*, *Tryblionella hungarica*, *Ulnaria acus*, *U. ulna*, среди Chlorophyta – *Monoraphidium arcuatum*, *M. contortum*, *M. griffithii*, *M. komarkovae*, *Pandorina morum*, *Scenedesmus acutus*, *S. quadricauda*, *Tetrastrum*

staurogeniaeforme, среди Cryptophyta – *Cryptomonas curvata*, *Komma caudata*, среди Euglenophyta – *Euglena viridis* (см. Приложение).

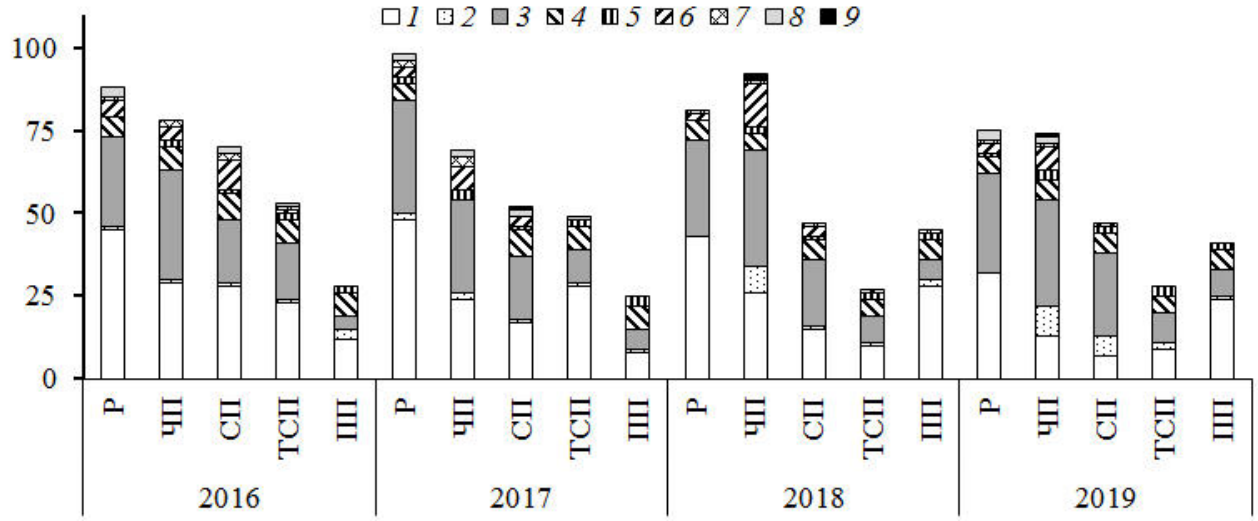

Рис. 3.3. Межгодовые изменения видового состава ФП на участках исследованной акватории весной 2016–2019 гг.

Весной в ЧП в составе ФП в разные годы обнаружено от 69 до 92 видов, наиболее богатое видовое богатство за счет Chlorophyta, Euglenophyta и Cyanobacteria зарегистрировано в 2018 г. (рис. 3.3). Наиболее бедный видовой состав ФП в плесе обнаружен в 2019 г. за счет сокращения числа видов Bacillariophyta, но при максимальном количестве таксонов Cyanobacteria. Ежегодно в плесе среди Bacillariophyta в составе ФП встречались *Cyclotella meneghiniana*, *Diatoma tenuis*, *Nitzschia acicularis*, *N. gracilis*, *N. recta*, *Stephanodiscus hantzschii*, среди Chlorophyta – *Chlamydomonas globosa*, *Micractinium pusillum*, *Monoraphidium arcuatum*, *M. minutum*, *Scenedesmus acuminatus*, *S. intermedius* var. *balatonicus*, *S. opoliensis* var. *mononensis*, *S. quadricauda*, *Tetrastrum staurogeniaeforme*, среди Euglenophyta – *Euglena viridis*, *Trachelomonas planctonica* (см. Приложение).

В СП весной в разные годы в составе ФП насчитывалось 47–70 видов, наибольшее их число за счет Bacillariophyta и Euglenophyta обнаружено в 2016 г., а в 2018 и 2019 гг. наблюдалось обеднение видового состава за счет Bacillariophyta, при этом в условиях 2019 г. до максимума возросло количество таксонов Cyanobacteria и Chlorophyta (рис. 3.3). Ежегодно в составе ФП плеса регистрировали представителей Bacillariophyta – *Cyclotella meneghiniana*, *Diatoma tenuis*, *Nitzschia recta*, Chlorophyta – *Monoraphidium contortum*, *Pteromonas torta*, *Scenedesmus quadricauda*, Cryptophyta – *Cryptomonas curvata*, *C. erosa* и *Komma caudata* (см. Приложение).

В ТСП весной выделяются два периода – наиболее богатый видовой состав зарегистрирован в 2016 и 2017 гг. (53 и 49 видов), бедный – в 2018 и 2019 гг. (рис. 3.3). Изменения числа обнаруженных видов в эти два периода происходили в основном благодаря трансформации разнообразия диатомовых водорослей. Среди видов Bacillariophyta, ежегодно обнаруживаемых в составе ФП плеса, отмечены – *Asterionella formosa*, *Navicula veneta*, *Nitzschia recta*, среди Chlorophyta – *Monoraphidium contortum*, *M. griffithii*, среди Cryptophyta – *Cryptomonas curvata* и *Komma caudata* (см. Приложение).

В ПП весной также выделяются эти два периода, однако здесь, напротив, в 2018 и 2019 гг. видовое богатство ФП возрастало до 45 и 41 видов за счет Bacillariophyta, в то время как в 2016 и 2017 гг. снижалось до 28 и 25 видов соответственно (рис. 3.3). В составе ФП плеса ежегодно отмечены представители Bacillariophyta – *Nitzschia recta*, Chlorophyta – *Monoraphidium contortum*, Cryptophyta – *Cryptomonas curvata*, *Komma caudata*, Dinophyta – *Gymnodinium helveticum* (см. Приложение).

Распределение видового богатства по продольному профилю исследованной акватории весной имело как некоторые закономерности, так и межгодовые различия. Практически ежегодно вниз по течению уменьшалось число видов Bacillariophyta, однако в 2018 и 2019 гг. в ПП их количество было выше, чем в остальных плесах водохранилища (рис. 3.3). Также по продольному профилю сокращалось количество видов Chlorophyta, причем, максимальное их разнообразие было характерно для ЧП. Максимальное число видов Euglenophyta также регистрировалось в ЧП, лишь в 2016 г. – в СП.

В 2016 и 2017 гг. наибольшее видовое богатство ФП отмечено в р. Урал, вниз по течению оно постепенно сокращалось, а в 2018 и 2019 гг. максимальным количеством видов отличался ЧП, минимальным – ТСП. Среди видов, обнаруженных весной на всех участках акватории, отмечены Bacillariophyta – *Asterionella formosa*, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Diatoma tenuis*, *Fragilaria capucina*, *F. crotonensis*, *Gomphonema olivaceum*, *Navicula capitatoradiata*, *N. tripunctata*, *Nitzschia gracilis*, *N. recta*, *Stephanodiscus hantzschii*, *S. neoastraea*, *Surirella angusta*, *S. brebissonii* var. *kuetzingii*, *Ulnaria acus*, *U. delicatissima* var. *angustissima*, *U. ulna*, Chlorophyta – *Chlamydomonas reinhardtii*, *Lagerheimia genevensis*, *Monoraphidium arcuatum*, *M. contortum*, *M. griffithii*, *Scenedesmus quadricauda*, Cryptophyta – *Cryptomonas curvata*, *C. erosa*, *C. marssonii*, *C. ovata*, *Komma caudata* (см. Приложение).

Летом в ФП реки число обнаруженных видов варьировало от 86 до 98, при этом наибольшее богатство за счет Bacillariophyta, Chlorophyta, Cryptophyta и Euglenophyta отмечено в 2016 г., наименьшее – в 2019 г. за счет сокращения числа видов Bacillariophyta, но при увеличении количества видов Cyanobacteria (рис. 3.4). В составе ФП реки к числу ежегодно встречающихся видов среди Bacillariophyta относились *Amphora pediculus*, *Cyclotella meneghiniana*, *Navicula capitatoradiata*, среди Chlorophyta – *Chlamydomonas monadina*, *Coelastrum astroideum*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Monoraphidium contortum*, *M. griffithii*, *Oocystis lacustris*, *O. marssonii*, *Pediastrum boryanum*, *P. duplex*, *Scenedesmus acutus*, *S. intermedius*, *S. opoliensis* var. *mononensis*, *S. ovalternus*, *S. quadricauda*, *Tetrastrum staurogeniaeforme*, среди Cryptophyta – *Cryptomonas erosa*, *Komma caudata*, среди Dinophyta – *Peridiniopsis penardiformis*, среди Euglenophyta – *Euglena viridis* (см. Приложение).

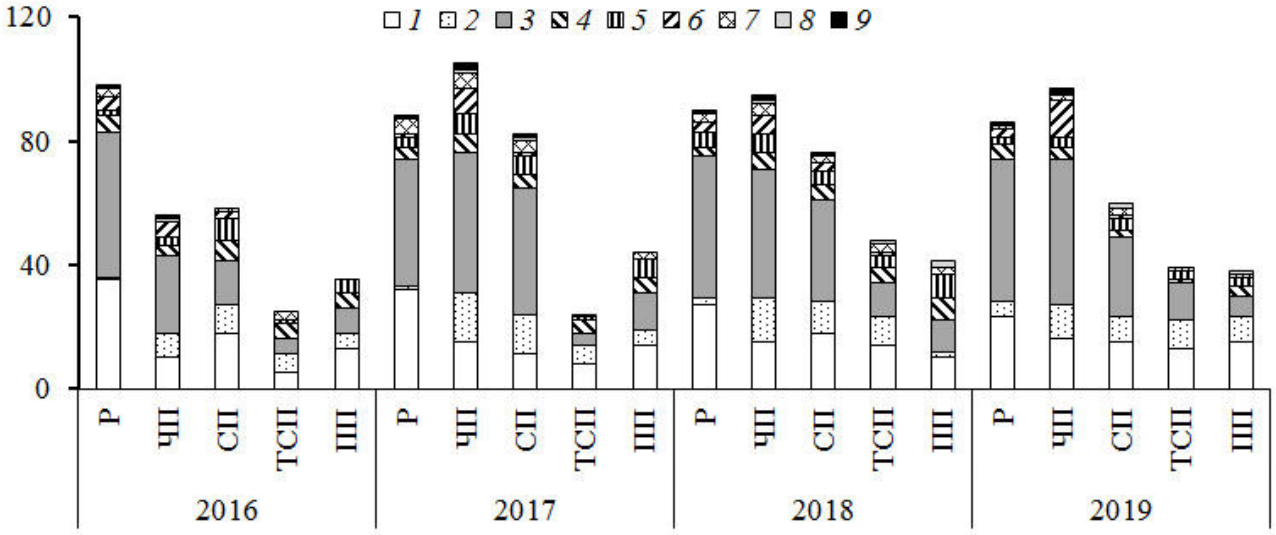

Рис. 3.4. Межгодовые изменения видового состава ФП на участках исследованной акватории летом 2016–2019 гг.

В ЧП видовое богатство ФП варьировало от 56 до 105, наибольшее количество видов зарегистрировано в 2017 г., наименьшее – в 2016 г. за счет сокращения разнообразия Bacillariophyta, Cyanobacteria, Chlorophyta, Cryptophyta и Euglenophyta (рис. 3.4). Постоянно в составе летнего ФП плеса встречались представители Bacillariophyta – *Cyclotella meneghiniana*, *Nitzschia acicularis*, *Stephanodiscus hantzschii*, Cyanobacteria – *Dolichospermum flosaquae*, *Microcystis aeruginosa*, Chlorophyta– *Actinastrum hantzschii*, *Coelastrum astroideum*, *Crucigenia tetrapedia*, *Monoraphidium contortum*, *M. minutum*, *Oocystis lacustris*, *Pediastrum boryanum*, *Pteromonas torta*, *Scenedesmus quadricauda*, *Tetraëdron minimum*, *Tetraselmis cordiformis*,

Cryptophyta – *Cryptomonas erosa*, Dinophyta – *Peridiniopsis penardiformis*, Euglenophyta – *Euglena viridis*, *Trachelomonas planctonica* (см. Приложение).

Видовое богатство летнего ФП в СП варьировало от 58 до 82 таксонов, максимум отмечен в 2017 г., минимум – в 2016 и 2019 гг., причем в 2017 г. значительно возросло разнообразие Chlorophyta и Cyanobacteria, сократилось число видов Bacillariophyta, а в 2016 г. – Chlorophyta (рис. 3.4). Среди Bacillariophyta к числу ежегодно встречающихся в плесе видов относились *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria crotonensis*, *Stephanodiscus hantzschii*, среди Cyanobacteria – *Aphanizomenon flosaquae*, *Aphanocapsa incerta*, *Dolichospermum flosaquae*, среди Chlorophyta – *Oocystis marssonii*, среди Cryptophyta – *Cryptomonas erosa* и *Komma caudata* (см. Приложение).

В ТСП видовое богатство ФП летом варьировало от 24 до 48 таксонов, наибольшее количество зарегистрировано в 2018 г., минимальное – в 2016 и 2017 гг., а различия определялись изменениями разнообразия Bacillariophyta, Cyanobacteria, Chlorophyta и Dinophyta (рис. 3.4). К числу видов, которые ежегодно встречались в плесе, относились Bacillariophyta – *Asterionella formosa*, *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria crotonensis*, Cyanobacteria – *Aphanizomenon flosaquae*, Cryptophyta – *Komma caudata*, Dinophyta – *Ceratium hirundinella* (см. Приложение).

В ПП летний ФП насчитывал от 35 до 44 видов, максимальное их количество обнаружено в 2017 г., минимальное – в 2016 г. (рис. 3.4). Различия определялись незначительными изменениями разнообразия Chlorophyta, Dinophyta и Streptophyta. Ежегодно среди Bacillariophyta в составе ФП плеса отмечены *Asterionella formosa*, *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria crotonensis*, Cyanobacteria – *Aphanizomenon flosaquae*, *Aphanocapsa incerta*, Cryptophyta – *Cryptomonas erosa*, *Komma caudata*, Dinophyta – *Ceratium hirundinella* (см. Приложение).

По продольному профилю акватории в 2017–2019 гг. наибольшим видовым богатством ФП отличался ЧП, лишь в 2016 г. – реки, а наименьшее число видов отмечено в ТСП (2016, 2017 и 2019 гг.) и в ПП (2018, 2019 гг.) (рис. 3.4). Ежегодно ФП реки характеризовался максимальным разнообразием Bacillariophyta и минимальным – Cyanobacteria, количество видов которых было наибольшим в ЧП и СП, а к нижним плесам сокращалось. Сообщества реки и ЧП также отличались максимальным количеством видов Chlorophyta, разнообразие которых по продольному профилю водохранилища также снижалось. Кроме этого, в ЧП ежегодно регистриро-

валось наибольшее разнообразие Euglenophyta. К числу видов, встречающихся на всем протяжении исследованной акватории, среди Bacillariophyta зарегистрированы *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria crotonensis*, *Navicula veneta*, *Nitzschia acicularis*, *Nitzschia palea*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Ulnaria acus*, среди Cyanobacteria – *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Microcystis aeruginosa*, *Pseudanabaena limnetica*, *Snowella lacustris*, среди Chlorophyta – *Chlamydomonas globosa*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Golenkinia radiata*, *Monoraphidium contortum*, *M. griffithii*, *Oocystis borgei*, *O. lacustris*, *Pandorina morum*, *Pediastrum boryanum*, *P. duplex*, *Scenedesmus quadricauda*, *Schroederia setigera*, среди Cryptophyta – *Cryptomonas erosa*, *C. marssonii*, *Komma caudata*, среди Dinophyta – *Ceratium hirundinella* и *Peridiniopsis quadridens* (см. Приложение).

Осенью в ФП реки было идентифицировано от 46 видов в 2017 г. до 73 видов в 2016 г., что определялось различиями в разнообразии Bacillariophyta и Chlorophyta (рис. 3.5).

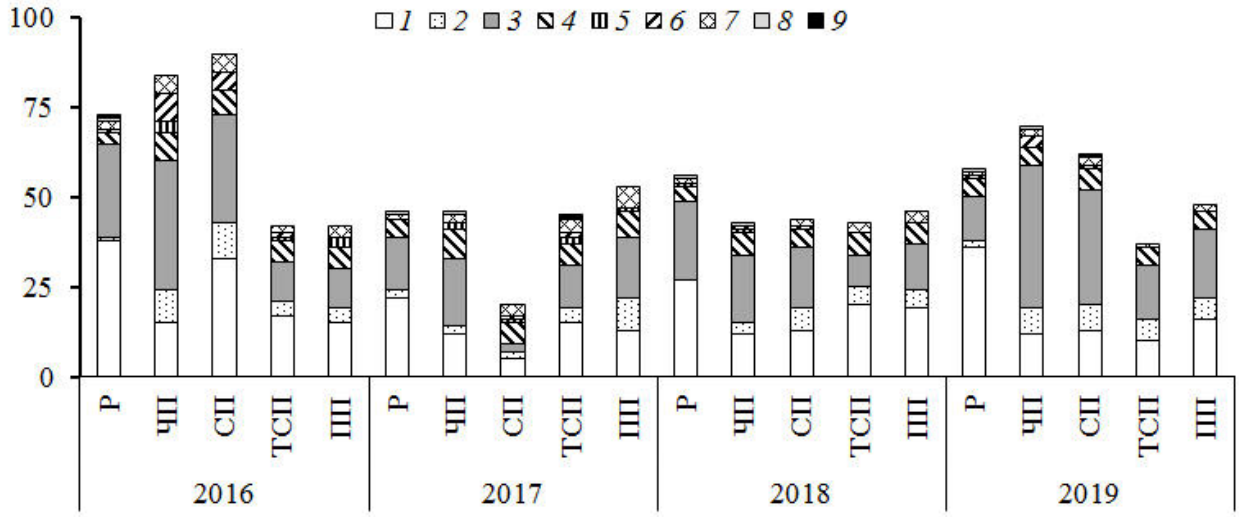

Рис. 3.5. Межгодовые изменения видового состава ФП на участках исследованной акватории осенью 2016–2019 гг.

Среди видов, которые ежегодно отмечались в составе осеннего ФП реки, зарегистрированы представители Bacillariophyta – *Amphora pediculus*, *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Navicula veneta*, *Nitzschia acicularis*, *Stephanodiscus hantzschii*, Chlorophyta – *Coelastrum astroideum*, *Monoraphidium contortum*, *Pediastrum boryanum*, *Scenedesmus quadricauda*, Cryptophyta – *Komma caudata* (см. Приложение).

В ЧП видовое богатство ФП варьировало от 43 в 2018 г. до 84 видов в 2016 г., изменения разнообразия были связаны с представленностью Chlorophyta, Euglenophyta и Streptophyta

(рис. 3.5). В течение всего времени изучения в осеннем ФП плеса обитали представители Bacillariophyta – *Stephanodiscus hantzschii*, Chlorophyta – *Dictyosphaerium pulchellum*, *Monoraphidium contortum*, *Oocystis marssonii*, *Scenedesmus quadricauda*, *Tetraëdron minimum*, Cryptophyta – *Cryptomonas curvata*, *C. marssonii*, *Komma caudata* (см. Приложение).

В СП количество зарегистрированных осенью видов колебалось в широких пределах – от 20 в 2017 г. до 90 в 2016 г. за счет изменений разнообразия Bacillariophyta, Chlorophyta и Cyanobacteria (рис. 3.5). В составе ФП плеса ежегодно встречались представители Bacillariophyta – *Aulacoseira granulata*, Chlorophyta – *Monoraphidium griffithii*, Cryptophyta – *Cryptomonas curvata*, *C. ovata*, *Komma caudata*, *Rhodomonas lens*, Streptophyta – *Closterium acutum* var. *variabile* (см. Приложение).

В ТСП видовое богатство ФП осенью варьировало незначительно – от 37 в 2019 г. до 45 в 2017 г., при этом в 2019 г. сокращалось количество видов Bacillariophyta, но возрастало – Chlorophyta и Cyanobacteria (рис. 3.5). Среди Bacillariophyta в составе ФП плеса ежегодно отмечались *Aulacoseira granulata*, *Lindavia comta*, *Stephanodiscus neoastraea*, среди Cyanobacteria – *Aphanizomenon flosaquae*, *Aphanocapsa incerta*, среди Chlorophyta – *Monoraphidium contortum*, среди Cryptophyta – *Cryptomonas erosa*, *Komma caudata*, *Rhodomonas lens*, среди Streptophyta – *Closterium acutum* var. *variabile* (см. Приложение).

В ПП число видов, обнаруженных осенью, составляло от 42 в 2016 г. до 53 в 2017 г., вариации видового богатства определялись изменениями количества таксонов Cyanobacteria, а также Chlorophyta (рис. 3.5). Ежегодно в составе ФП плеса обнаруживались Bacillariophyta – *Aulacoseira granulata*, *Navicula tripunctata*, *Stephanodiscus hantzschii*, *S. neoastraea*, Cyanobacteria – *Aphanocapsa incerta*, Chlorophyta – *Monoraphidium contortum*, *Pediastrum duplex*, Cryptophyta – *Cryptomonas curvata*, *C. erosa*, *Komma caudata*, *Rhodomonas lens*, Streptophyta – *Closterium peracerosum* (см. Приложение).

Распределение видового богатства осеннего ФП по продольному профилю исследованной акватории в отдельные годы значительно различалось. Так, в 2016 и 2019 гг. наиболее богатый видовой состав регистрировался на участке река–СП, максимальное число видов отмечено в СП и ЧП, а минимальное – в ТСП и ПП (рис. 3.5). В 2017 г. значительно обедненный видовой состав ФП отмечен в СП, а максимально богатое видами сообщество формировалось

в ПП. В 2018 г. наибольшим видовым богатством отличался ФП реки, в пределах водохранилища вариация числа видов была невысокой, а максимальное количество также отмечено в нижнем плесе. Среди видов, которые за период изучения были отмечены на всем протяжении исследованного участка, среди Bacillariophyta зарегистрированы *Aulacoseira granulata*, *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria crotonensis*, *Navicula cryptotenella*, *N. tripunctata*, *Stephanodiscus hantzschii*, среди Cyanobacteria – *Aphanocapsa incerta*, среди Chlorophyta – *Coelastrum astroideum*, *Monoraphidium contortum*, *M. minutum*, *Scenedesmus bicaudatus*, *S. quadrispina*, *Tetraselmis cordiformis*, *Tetrastrum staurogeniaeforme*, *Cryptomonas erosa*, *C. marssonii*, *Komma caudata*, *Rhodomonas lens* (см. Приложение).

Полученные данные показали, что в видовом составе ФП р. Урал и Ириклинского водохранилища преобладали зеленые и диатомовые водоросли, что характерно для большинства крупных зарегулированных рек – Волги, Днепра, Ангары, Енисея, кроме рек-притоков Северного Ледовитого океана – Оби и Лены (Кузьмина, 1988; Васильева, 1989; Науменко, 1994, 1995; Воробьева, 1995; Габышев, 1998, 2015; Щербак, 2000; Корнева, 2015). Нужно отметить, что лидирующая позиция Chlorophyta и Bacillariophyta в составе ФП наблюдается и в целом для водоемов Оренбургской области (Яценко-Степанова, 2011).

На незарегулированном участке р. Урал отмечено максимальное число видов Bacillariophyta, что характерно для сообществ лотических экосистем. Однако ФП реки среди всех изученных участков отличался не только наибольшим богатством диатомовых, но и общего количества видов, хотя известно, что в водотоках развитие ФП лимитировано скоростью течения. Одновременно также показано, что эвтрофно-гетеротрофные водотоки характеризуются высоким видовым богатством водорослей за счет диатомовых и зеленых (Охапкин, 1997). Следовательно, избыточное поступление биогенных и органических веществ способствует обогащению качественного состава водорослей за счет диатомовых и зеленых водорослей, что наиболее ярко проявляется либо в олиготрофных экосистемах, либо в условиях влияния течения (Охапкин, 1997; Баринова, 2006). На высокий трофический статус исследованного участка р. Урал также указывает видовой состав диатомовых и зеленых водорослей, и состав ежегодно встречающихся видов, в частности, представители родов *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, хлорококковых водорослей и др. (Охапкин, 1997). Таким образом, высокое содержание био-

генных и органических веществ в р. Урал (Шашуловская и др., 2017) способствует формированию наиболее богатого видового состава ФП за счет диатомовых и зеленых водорослей, в той или иной степени превышающего видовое богатство водорослей плесов водохранилища.

В верхнем из исследованных плесов Ириклинского водохранилища как в целом за период изучения, так и в отдельные годы и сезоны практически отсутствовали значительные различия видового богатства ФП с таковым в реке, при этом здесь отмечено наибольшее разнообразие Chlorophyta, Chrysophyta, Euglenophyta и Cyanobacteria. Это свидетельствует о высоком трофическом статусе верхнего участка водохранилища, формируемого в условиях отсутствия и/или значительного снижения течения, а также поступления и аккумуляции биогенных и органических веществ, приносимых водами главной реки (Шашуловская и др., 2017).

По продольному профилю водохранилища видовое богатство ФП сокращалось на 16–33%, в первую очередь за счет Chlorophyta, Cyanobacteria, Euglenophyta, а также Streptophyta, Chrysophyta и Xanthophyta. Связано это со снижением количества биогенных и органических веществ, о чем свидетельствует уменьшение среди постоянно встречающихся доминирующих видов числа индикаторов высокотрофных и α-мезосапробных вод: в р. Урал их насчитывалось 6, в ЧП – 5, в СП – 3, в ТСП и ПП – по 2. Следовательно, наблюдаемые по продольному профилю изменения свидетельствуют о снижении трофического статуса среднего и в большей степени нижних плесов.

Определенную роль играли метеорологические и гидрологические условия, которые определяли межгодовые изменения видового богатства ФП исследованной акватории в целом, а также на отдельных участках. Так, наибольшее видовое богатство ФП в целом за вегетационный период зарегистрировано при максимальных температуре воздуха и объеме притока в 2016 г., а наименьшее – в прямо противоположных условиях 2019 г. Увеличение видового богатства в многоводную фазу характерно и для водохранилищ Верхней и Средней Волги (Корнева, 2008, 2015).

Однако то, что было характерно в целом для вегетационного периода и исследованной акватории, не всегда проявлялось на отдельных ее участках и в разные сезоны. Весной в реке, СП и ТСП увеличение видового богатства также наблюдалось в условиях максимальной суммы атмосферных осадков, объемов притока и сброса, уровня воды, а также высокой тем-

пературы воздуха (2016 и 2017 гг.). В верхнем и нижнем плесах водохранилища наиболее богатый видовой состав формировался в других условиях. Так, в ЧП это происходило при средних показателях уровня воды, объема притока, температуры воздуха и минимальном объеме сброса, что, по всей видимости, обеспечивало оптимальные условия для аккумуляции питательных веществ и ФП в верхнем плесе. В нижнем плесе особую роль могло играть снижение объема сброса, что обеспечивало аккумуляцию приносимых с верхних участков веществ и ФП. Это также подтверждает наиболее бедный видовой состав ФП в ПП при максимальных объемах сброса в 2016 и 2017 гг. На остальных участках минимальное количество видов отмечено в 2019 г., который отличался наименьшими количеством атмосферных осадков, уровнем воды водохранилища, объемами притока и сброса. Необходимо указать, что в 2019 г. на фоне сокращения видового богатства ФП наблюдалось увеличение разнообразия цианобактерий и зеленых водорослей в верхнем и среднем плесах. Увеличение количества цианобактерий при неблагоприятных условиях – жаркое лето с малым количеством атмосферных осадков, маловодностью и, как следствие, низком уровне водохранилища в весенне-летний период – зарегистрировано на ряде водохранилищ Волги, Новосибирском водохранилище (Куксн, 1973; Гидрометеорологический режим …, 1979; Двуреченская, 2006; Многолетняя динамика …, 2014; Корнева, 2015).

Летом наиболее богатый видовой состав ФП во всех плесах водохранилища, кроме ТСП, формировался в 2017 г. в условиях максимальной суммы атмосферных осадков и объема сброса (в среднем с апреля по июль), а также наибольшей температуры воздуха в июле. Бедный видовой состав ФП в этих плесах зарегистрирован в 2016 г., который, напротив, характеризовался максимальной средней с апреля по июль температурой воздуха, объемом притока, но минимальной температурой воздуха и суммой атмосферных осадков в июле. В реке, мы полагаем, ведущую роль в формировании ФП, отличающегося в 2016 г. максимальным видовым богатством, могла играть наибольшая температура воздуха и водность, о чем свидетельствует объем притока в водохранилище. В 2019 г. в реке ФП характеризовался минимальным видовым богатством, что может быть связано с минимальной температурой воздуха и объемом притока.

Осенью в реке, верхнем и среднем плесах наиболее богатый видовой состав ФП формировался в 2016 г. в условиях максимального объема притока, благодаря которому в водоток

и в воды плеса поступали биогенные и органические вещества. В двух нижних плесах наибольшее количество видов отмечено в 2017 г., который отличался максимальной суммой атмосферных осадков, что обеспечивало поступление питательных веществ с водосбора, а также характеризовался максимальным объемом сброса, благодаря чему в нижние плесы возрастал транспорт питательных веществ и ФП с верхних участков.

Таким образом, межгодовые изменения ФП исследованной акватории и ее отдельных участков определялись рядом метеорологических и гидрологических условий. В реке, верхнем и средних плесах водохранилища повышение видового богатства наблюдалось при увеличении суммы атмосферных осадков, объемов притока, температуры воздуха, в двух нижних плесах значительную роль играли изменения объемов сброса, причем, весной и летом – их снижение, осенью – повышение.

ГЛАВА 4. СТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

4.1. ВЕСЕННИЙ СЕЗОН

Фитопланктонное сообщество реки Урал

В течение времени изучения наблюдались межгодовые различия по ряду физико-химических параметров воды. Так, в 2016 г. зарегистрирована ее наименьшая температура, которая статистически значимо различалась со значениями 2017, 2018, 2019 гг. (табл. 4.1.1). В 2018 г. воды реки отличались максимальной температурой, $БПК_5$, содержанием $N\text{-}NH_4$, $P\text{-}PO_4$, в 2017 г. – цветностью воды, ПО, $N\text{-}NO_3$, а в 2019 г. – O_2 и ХПК.

Таблица 4.1.1. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища весной

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	13,1[*b-d]	0,03	14,8[*d]	0,1	15,1[*d]	0,1	13,8	0,6	**29,7**	**0,000**
Прозрачность, м	0,4	0,1	0,5	0,1	0,6	0,1	0,6	0,2	1,0	0,414
Скорость течения, м/сек	1,1	0,2	1,0	0,5	1,3	0,4	0,9	0,5	0,2	0,873
Цветность, град	25,8	–	29,6	–	23,0	–	22,0	–	–	–
O_2, мг/л	8,65	–	10	–	10,6	–	11,5	–	–	–
ПО, мгO_2/л	7,8	–	8,2	–	5,9	–	5,3	–	–	–
ХПК, мгO_2/л	38	–	37	–	39	–	47,0	–	–	–
$БПК_5$, мгO_2/л	–	–	2,3	–	3,2	–	1,6	–	–	–
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,260	–	0,120	–	0,300	–	0,100	–	–	–
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,017	–	0,010	–	0,015	–	0,010	–	–	–
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,820	–	1,450	–	1,310	–	0,660	–	–	–
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,035	–	0,110	–	0,127	–	0,100	–	–	–
Si, мг/л	3,700	–	3,600	–	1,400	–	2,600	–	–	–
Fe, мг/л	0,260	–	0,150	–	0,170	–	0,240	–	–	–

Примечание. Здесь и далее: *F* – критерий Фишера; *p* – уровень значимости; статистически значимые различия между исследованными годами по ANOVA ($p < 0,05$) выделены жирным шрифтом; * – статистически значимые различия по Tukey's HSD test ($p < 0,05$).

Корреляционный анализ показал наличие сильных положительных связей между суммой атмосферных осадков с цветностью воды ($r = 0,99$), ПО ($r = 0,99$), $N\text{-}NO_3$ ($r = 0,74$) и Si ($r = 0,75$), а также отрицательной с концентрацией Fe ($r = -0,77$).

Удельное видовое богатство ФП в 2017 г. было статистически значимо больше, чем в 2016 г. ($p = 0,005$), 2018 ($p = 0,011$) и 2019 ($p = 0,001$) гг. (рис. 4.1.1) за счет диатомовых, зеленых и динофитовых водорослей (табл. 4.1.2). В 2016 г. отмечено максимальное число видов золотистых водорослей, но минимальное зеленых и криптофитовых, а в 2019 г. – диатомовых. Также необходимо отметить, что в 2018 и 2019 гг. в составе ФП отсутствовали цианобактерии.

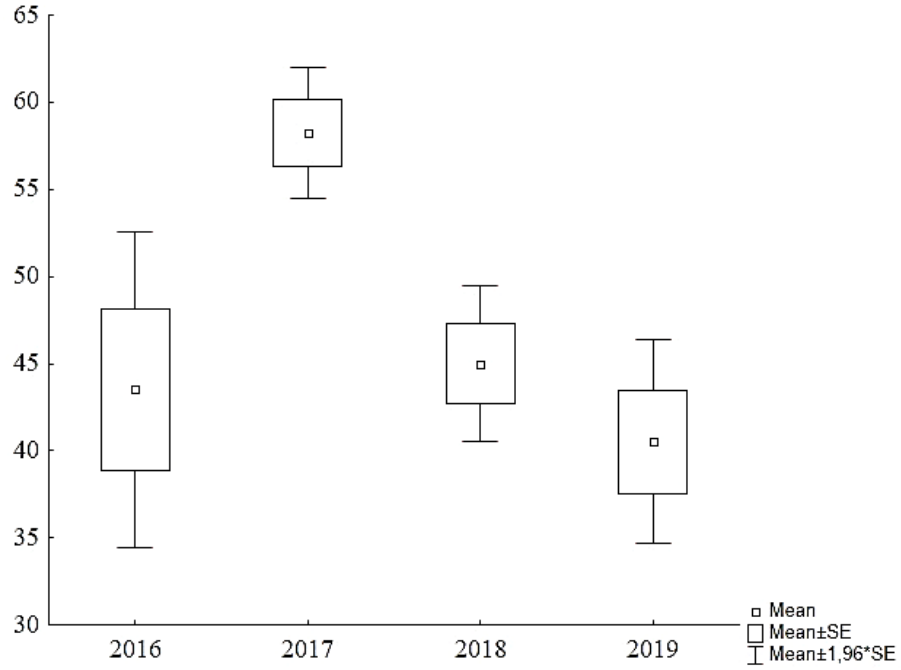

Рис. 4.1.1. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища весной.

Таблица 4.1.2. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища весной

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	23,5*b,d	2,5	29,8*c,d	1,8	23,3*d	1,7	16,0	3,9	**8,0**	**0,003**
	Cyanobacteria	0,5	0,3	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,168
	Chlorophyta	12,5*b-d	1,0	19,3*c	0,5	15,8	0,5	18,3	2,9	**10,1**	**0,001**
	Cryptophyta	2,5*b-d	0,6	4,3	0,5	4,5	0,3	4,0	0,0	**4,4**	**0,026**
	Dinophyta	0,0*b	–	1,3*c,d	0,3	0,0	–	0,3	0,5	**11,3**	**0,001**
	Euglenophyta	2,3	0,9	2,0	–	1,3	0,3	0,8	1,5	1,4	0,291
	Streptophyta	0,3	0,3	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	1,0	0,426
	Chrysophyta	2,0*b,c	0,4	0,5	0,3	0,0	–	1,0	1,4	**3,9**	**0,037**
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Численность, млн кл./л	Bacillariophyta	1,3*b-d	0,4	4,4	1,2	4,1	0,1	5,5	2,2	**4,5**	**0,024**
	Cyanobacteria	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	–	0,0	0,0	1,1	0,399
	Chlorophyta	2,2*b	0,6	37,8*c,d	6,5	7,2	0,8	4,3	2,0	**25,4**	**0,000**
	Cryptophyta	0,3*c	0,1	0,8	0,1	1,1	0,4	0,5	0,2	3,1	0,067
	Dinophyta	0,0*b	–	0,1*c,d	0,0	0,0	–	0,0	0,0	**5,2**	**0,016**
	Euglenophyta	0,0*b	0,0	0,3*c,d	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	**9,2**	**0,002**
	Streptophyta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,556
	Chrysophyta	0,2*b,c	0,0	0,0	0,0	0,0	–	0,1	0,1	**5,8**	**0,011**
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	–	–	–
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	29,3*b,d	3,3	9,5*c,d	1,3	33,3*d	1,7	52,2	4,1	**62,3**	**0,000**
	Cyanobacteria	4,5	3,8	0,3	0,2	0,0	–	0,0	0,0	1,3	0,327
	Chlorophyta	53,1*b,d	4,5	87,3*c,d	1,2	57,2*d	3,0	40,7	5,1	**42,7**	**0,000**
	Cryptophyta	7,6	3,5	2,0	0,2	9,2	3,1	5,5	1,5	1,7	0,220
	Dinophyta	0,0*b-d	–	0,1	0,03	0,0	–	0,0	0,0	**6,4**	**0,008**
	Euglenophyta	0,5	0,2	0,6*c	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	3,4	0,053
	Streptophyta	0,0	0,0	0,02	0,01	0,0	0,01	0,0	0,0	0,1	0,938
	Chrysophyta	5,1*b-d	1,0	0,02	0,01	0,0	–	1,4	1,6	**13,2**	**0,000**
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	1,06*b,c	0,29	6,13*c,d	1,42	11,96*d	0,55	2,46	1,55	**31,7**	**0,000**
	Cyanobacteria	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	–	0,00	0,00	1,1	0,396
	Chlorophyta	0,20*b-d	0,03	1,31	0,28	1,26	0,74	1,16	0,74	1,4	0,281
	Cryptophyta	0,04*b,c	0,02	0,50	0,09	0,34	0,09	0,22	0,09	**7,8**	**0,004**
	Dinophyta	0,00*b-d	–	0,13*c,d	0,04	0,00	–	0,01	0,02	**10,9**	**0,001**
	Euglenophyta	0,07*b-d	0,03	1,78*c,d	0,49	0,27	0,11	0,03	0,06	**10,9**	**0,001**

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Доля в общей биомассе, %	Streptophyta	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,8	0,507
	Chrysophyta	0,03[*b-d]	0,01	0,00	0,00	0,00	–	0,01	0,02	**6,4**	**0,008**
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	–	–	–
	Bacillariophyta	74,2[*b-d]	1,4	60,8[*c]	3,4	86,7[*d]	4,6	62,2	6,4	**12,9**	**0,000**
	Cyanobacteria	0,3	0,2	0,1	0,03	0,0	–	0,0	0,0	1,6	0,235
	Chlorophyta	15,6[*d]	2,0	13,3[*d]	0,2	8,8[*d]	5,0	29,7	4,2	**9,6**	**0,002**
	Cryptophyta	2,6[*d]	0,8	5,6[*c]	1,1	2,5[*d]	0,7	6,3	2,6	**3,9**	**0,038**
	Dinophyta	0,0[*b]	–	1,4[*c,d]	0,4	0,0	–	0,1	0,2	**13,1**	**0,000**
	Euglenophyta	4,4[*b]	1,5	18,4[*c,d]	2,7	1,9	0,8	0,8	1,7	**25,1**	**0,000**
	Streptophyta	0,4	0,4	0,4	0,2	0,05	0,05	0,3	0,5	0,4	0,783
	Chrysophyta	2,6[*b-d]	0,5	0,03	0,03	0,0	–	0,6	0,9	**13,6**	**0,000**
	Xanthophyta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	–	–
Индекс Шеннона, бит/кл.		3,92[*b]	0,05	1,78[*c]	0,14	3,69	0,12	3,96	0,26	**80,9**	**0,000**
Индекс Шеннона, бит/мг		4,09[*c]	0,21	4,21[*c]	0,10	2,36[*d]	0,07	4,00	0,15	**47,0**	**0,000**
Индекс сапробности		2,09[*b]	0,05	2,34[*c]	0,04	2,13	0,03	2,16	0,23	2,6	0,099
СИМ, 10^{-9} г		0,33[*c]	0,02	0,22[*c]	0,02	1,13[*d]	0,10	0,35	0,07	**60,2**	**0,000**

В 2017 г. средняя численность ФП значительно превышала значения 2016, 2018 и 2019 гг. (p = 0,000) (рис. 4.1.2) за счет зеленых, криптофитовых, динофитовых и эвгленовых водорослей (табл. 4.1.2).

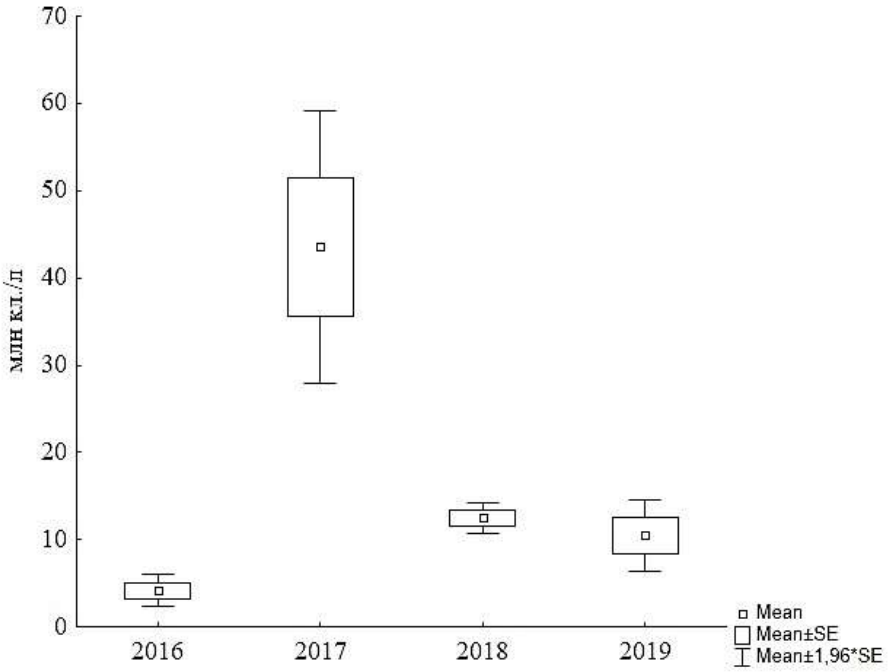

Рис. 4.1.2. Средняя численность (млн кл./л) фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища весной.

В 2016 г. была максимальной численность золотистых, а в 2018 г. – криптофитовых, также в 2016 г. обнаружена минимальная плотность зеленых и криптофитовых водорослей, в 2019 г. – эвгленовых и стрептофитовых. Основа численности в 2016–2018 гг. была представлена зелеными водорослями, в 2019 г. – диатомовыми (табл. 4.1.2). В 2017 г. отмечена минимальная доля диатомовых водорослей, в 2016 г. – максимальная доля золотистых. В 2016 г. по численности доминировали *Tetrastrum staurogeniaeforme* (25,5%), *Monoraphidium contor-*

tum (10,4%), в 2017 г. – *Tetrastrum staurogeniaeforme* (77,4%), в 2018 г. – *T. staurogeniaeforme* (29,4%), *Monoraphidium minutum* (11,8%), в 2019 г. – *Cyclotella* sp. (21,8%) и *Stephanodiscus hantzschii* (13,2%)

Наименьшая величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности, зарегистрирована в 2017 г. (табл. 4.1.2), а численность миксотрофных организмов в составе ФП – в 2016 г. (табл. 4.1.3).

Таблица 4.1.3. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора водохранилища весной

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,49[*b,c]	0,08	1,19	0,18	1,19	0,38	0,68	0,16	2,7	0,096
Доля в общей численности, %	13,1[*b]	3,2	2,8	0,1	9,5	3,0	7,0	2,5	**3,7**	**0,042**
Биомасса, мг/л	0,144[*b]	0,048	2,414[*c,d]	0,581	0,608	0,132	0,268	0,085	**12,4**	**0,001**
Доля в общей биомассе, %	9,6[*b]	1,5	25,5[*c,d]	3,5	4,4	1,0	7,8	2,9	**19,5**	**0,000**

Биомасса ФП в 2018 г. больше, чем в 2016, 2017 и 2019 гг. (p = 0,000, 0,048 и 0,000 соответственно), в 2016 г. она была меньше, чем в 2019 г. (p = 0,000), а в 2019 г. – меньше, чем в 2017 г. (p = 0,005) (рис. 4.1.3). При этом в 2018 и 2017 гг. обнаружена максимальная биомасса диатомовых водорослей, в 2017 г. – криптофитовых, динофитовых и эвгленовых, в 2016 г. – золотистых, но минимальная – диатомовых и криптофитовых водорослей (табл. 4.1.2). Основу биомассы составляли диатомовые водоросли, однако их максимальная доля обнаружена в 2018 г., минимальная – в 2017 г. (табл. 4.1.2). В 2019 г. до наибольших значений возрастала доля зеленых водорослей, в 2017 г. – эвгленовых, в 2019 и 2017 гг. – криптофитовых, в 2016 г. – золотистых. В состав доминирующих видов входили в 2016 г. *Ulnaria ulna* (21,3%), в 2017 г. – *Euglena viridis* (16,9%), *Ulnaria ulna* (10,8%), *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii* (10%), в 2018 г. – *Stephanodiscus hantzschii* (15,1%), *Ulnaria ulna* (60,8%), в 2019 г. – *Stephanodiscus hantzschii* (24,1%) и *Chlamydomonas reinhardtii* (10,9%).

Величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, в 2018 г. была статистически значимо меньше, а СИМ, напротив, больше, чем в остальные годы (табл. 4.1.2). Наибольшая биомасса миксотрофных таксонов и их доля в общей биомассе ФП отмечены в 2017 г. (табл. 4.1.3).

По значениям индекса сапробности воды реки во все годы характеризовались β-мезосапробными условиями, однако в 2017 г. обнаружена его максимальная величина (табл. 4.1.2). Необходимо отметить, что по ряду физико-химических параметров вода реки ха-

рактеризовалась более сапробными условиями: по величине $БПК_5$ в 2018 г. – полисапробными, в 2017 г. – α-мезосапробными, по концентрациям $P\text{-}PO_4$ и $N\text{-}NO_2$ – α-мезосапробными (ГОСТ 17.1.2.04–77). Однако величины ПО характеризовали воды как олигосапробные, а $N\text{-}NO_3$ – ксеносапробные.

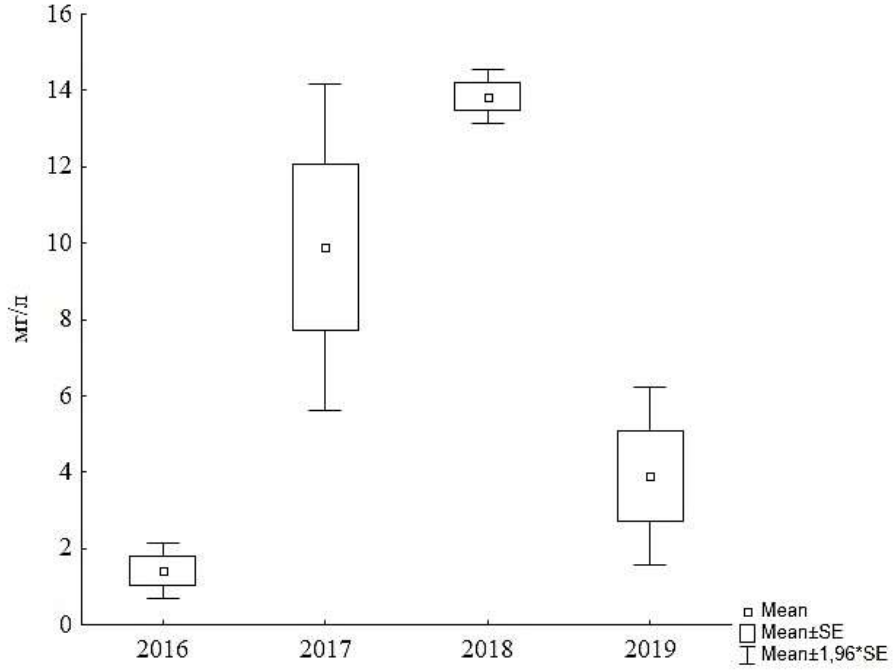

Рис. 4.1.3. Средняя биомасса (мг/л) фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища весной.

Трофический статус исследуемого участка реки по шкале Жукинского с соавт. (1976) по биомассе ФП в 2016 и 2019 гг. характеризовался как β-мезотрофный, в 2017 г. – α-эвтрофный, 2018 г. – β-эвтрофный, по шкале Китаева (2007) – в 2016 г. – α-мезотрофный, 2017 и 2018 гг. – β-эвтрофный, 2019 г. – β-мезотрофный.

Корреляционный анализ показал, что значительную роль в изменении ряда показателей ФП играло количество атмосферных осадков и связанные с ним цветность воды и концентрация $N\text{-}NO_3$. Так, с суммой осадков положительно коррелировали УВБ ФП (r = 0,87), число видов диатомовых (r = 0,80) и динофитовых водорослей (r = 0,79), цианобактерий (r = 0,63), общая численность ФП (r = 0,87), численность зеленых (r = 0,91), динофитовых (r = 0,71) и эвгленовых (r = 0,82), биомасса криптофитовых (r = 0,61), динофитовых (r = 0,82) и эвгленовых (r = 0,84), миксотрофных организмов (r = 0,84), отрицательно – индекс Шеннона, рассчитанный по численности (r = -0,97). С концентрацией $N\text{-}NO_3$ и $P\text{-}PO_4$ обнаружены положительные коэффициенты корреляции биомассы ФП (r = 0,72 и 0,82), биомассы диатомо-

вых (r = 0,62 и 0,92), кроме этого, с концентрацией $P\text{-}PO_4$ положительно коррелировала *СИМ* (r = 0,84), отрицательно – индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе (r = -0,87).

Резюме

Полученные в р. Урал данные показали значительные межгодовые изменения ФП, причем отсутствие статистически значимых межгодовых различий скорости течения на исследованных участках позволяет говорить о том, что ведущую роль играли иные факторы среды. При максимальном количестве атмосферных осадков в 2017 г., способствующих смыву в реку биогенных и органических веществ, ФП отличался наибольшими удельным видовым богатством и численностью за счет зеленых, криптофитовых, динофитовых и эвгленовых водорослей. Биомасса ФП также отличалась высоким значением, хотя максимальная ее величина обнаружена в 2018 г., характеризующимся наибольшей температурой воздуха и воды. О значительной роли температуры воды также свидетельствуют данные, полученные в 2016 г., когда были обнаружены наименьшие величины численности и биомассы ФП при минимальной представленности диатомовых и зеленых.

Повышенные численность и биомасса ФП в 2017 г. свидетельствуют о более высоком трофическом статусе вод реки (Трифонова, 1990; Охапкин, 1997; Сиренко, Гавриленко, 1978; Россолимо, 1971), что также подтверждает максимальные показатели численности и биомассы цианобактерий, которые отсутствовали в составе ФП при минимальном количестве атмосферных осадков в 2019 и 2018 гг. Об этом также говорят максимальная биомасса эвгленовых в 2017 г. (Трифонова, 1990), максимальное значение индекса сапробности за счет доминирования *Euglena viridis*, минимальная величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности. Одновременно повышение трофического статуса вод реки зарегистрировано в 2018 г. при максимальной температуре воды, что подтверждают высокая биомасса ФП, минимальная величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, а также максимальная численность (33,7 млн кл./л) и доля в общей численности (77,4%) представителя хлорококковых – *Tetrastrum staurogeniaeform*, что характерно для высокотрофных вод (Трифонова, 1990; Шаров, 2020).

Фитопланктонное сообщество Чапаевского плеса

В исследованный период отмечены межгодовые изменения ряда абиотических параметров воды Чапаевского плеса. В 2017 г. зарегистрирована максимальная температура и цветность воды, ПО, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$ и Si, в 2016 г. – минимальная температура и концентрация O_2, но максимальное ХПК (табл. 4.1.4). Однако наиболее специфичные условия сложились в 2019 г., когда вода отличалась наименьшими значениями ПО, ХПК, $БПК_5$, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, $P\text{-}PO_4$, Si и Fe.

Таблица 4.1.4. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Чапаевского плеса весной

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °C	13,1*[b,d]	0,1	16,3*[c,d]	0,2	13,5*[d]	0,3	14,6	0,3	**63,1**	**0,000**
Прозрачность, м	1,1	0,1	1,3	0,1	1,1	0,1	1,1	0,2	1,5	0,278
Цветность, град	27,0*[b,d]	0,5	41,6*[c,d]	3,5	33,0*[d]	2,2	19,0	1,0	**21,0**	**0,000**
O_2, мг/л	9,3*[b-d]	0,3	11,9*[d]	0,5	11,4	0,1	10,7	0,5	**13,0**	**0,002**
O_2, %	88,3*[b-d]	2,8	118,0*[c,d]	2,0	109,7	0,3	104,3	5,1	**34,5**	**0,000**
ПО, мгO_2/л	7,4*[b,d]	0,2	8,4*[c,d]	0,1	7,6*[d]	0,3	5,2	0,2	**51,1**	**0,000**
ХПК, мгO_2/л	38,0*[b-d]	–	30,3*[d]	1,2	30,0*[d]	–	27,0	0,0	**60,9**	**0,000**
$БПК_5$, мгO_2/л	3,7*[d]	0,7	3,6*[d]	–	3,6*[d]	–	2,1	0,0	**4,5**	**0,040**
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,223*[d]	0,044	0,190*[d]	0,006	0,193*[d]	0,018	0,100	0,000	**5,0**	**0,030**
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,014*[b,d]	0,003	0,023*[c,d]	0,002	0,012	0,000	0,003	0,000	**26,9**	**0,000**
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,343	0,038	0,443*[c,d]	0,050	0,280*[d]	0,032	0,100	0,000	**16,5**	**0,001**
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,036*[b-d]	0,000	0,064*[d]	0,007	0,073*[d]	0,006	0,019	0,000	**32,4**	**0,000**
Si, мг/л	2,900*[d]	0,153	3,267*[d]	0,145	2,733*[d]	0,285	1,100	0,000	**29,3**	**0,000**
Fe, мг/л	0,267*[d]	0,020	0,260*[d]	0,029	0,230*[d]	0,017	0,130	0,000	**10,3**	**0,004**

Корреляционный анализ показал, что подавляющая часть исследованных показателей воды, кроме величины pH, прямо коррелировала со связанными между собой количеством атмосферных осадков, уровнем водохранилища, объемами притока и сброса (табл. 4.1.5). Температура воздуха оказывала отрицательное воздействие на концентрацию растворенного кислорода, положительное – на ХПК.

Максимальное УВБ в плесе зафиксировано в 2018 г., хотя статистически подтвержденных межгодовых различий не обнаружено (рис. 4.1.4), однако отмечено статистически значимое увеличение УВБ эвгленовых (табл. 4.1.6). Кроме этого, в 2018 и 2019 гг. по сравнению с данными в 2016 и 2017 гг. возрастало число видов Cyanobacteria, в составе планктона появились Xanthophyta, а в 2019 г. статистически значимо сокращалось число видов Bacillariophyta.

В 2018 г. средняя численность ФП статистически значимо превышала значения 2016 и 2017 гг. (p = 0,030 и 0,009 соответственно) (рис. 4.1.5) за счет значительного увеличения количества Bacillariophyta (табл. 4.1.6).

Таблица 4.2.2. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Чапаевского плеса весной

Показатель		Температура воды	Прозрачность	Цветность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	0,32	0,43	**0,64**	**0,77**	0,22	-0,50	-0,13	-0,24	0,43	0,25	0,15	0,08
Прозрачность		0,32	–	**0,62**	0,15	0,22	0,43	0,15	0,04	0,04	0,51	**0,61**	0,31	0,43
Уровень воды	Средний апрель–май	0,30	0,52	**0,87**	0,28	**0,96**	0,44	**0,71**	**0,66**	**0,94**	**0,92**	**0,71**	**0,94**	**0,83**
Объем притока	Средний апрель–май	-0,11	0,36	0,55	-0,23	**0,80**	**0,84**	**0,72**	**0,77**	**0,75**	**0,82**	0,39	**0,86**	**0,86**
Объем сброса	Средний апрель–май	**0,74**	**0,59**	**0,69**	0,31	**0,62**	0,16	0,33	0,28	**0,82**	**0,74**	0,28	**0,60**	0,50
Сумма атмосферных осадков	Сумма апрель–май	0,55	**0,59**	**0,75**	0,20	**0,77**	0,39	0,50	0,47	**0,90**	**0,86**	0,39	**0,76**	**0,68**
Температура воздуха	Средняя апрель–май	**-0,72**	-0,10	-0,18	**-0,78**	0,17	**0,93**	0,39	0,54	0,06	0,21	-0,16	0,31	0,46

Примечание. Здесь и далее: жирным выделены статистически значимые ($p < 0,05$) коэффициенты.

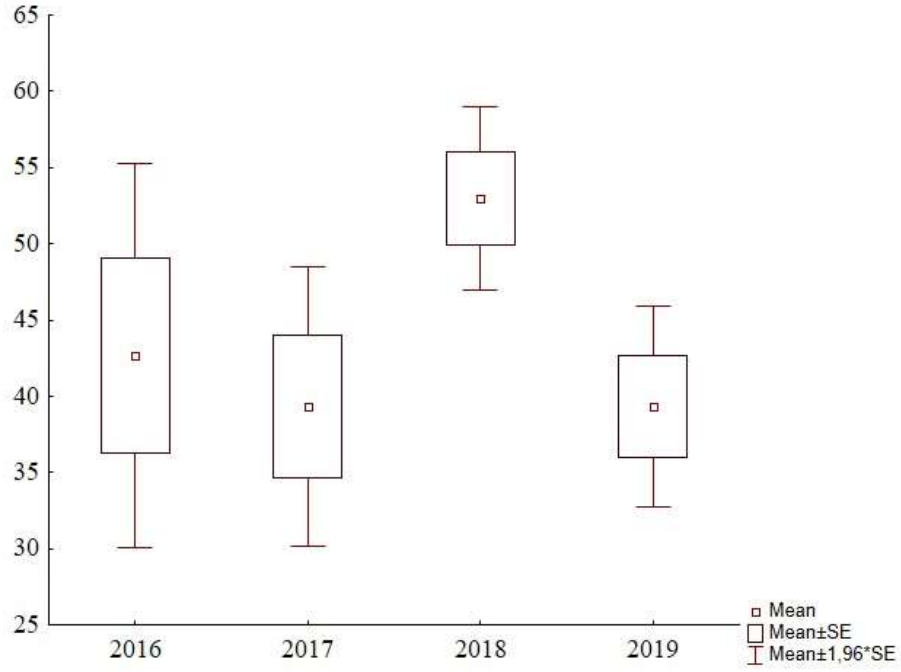

Рис. 4.1.4. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона Чапаевского плеса весной.

Таблица 4.1.6. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Чапаевского плеса весной

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	17,3*[d]	1,8	16,3*[d]	1,5	16,0*[d]	1,5	8,3	1,5	**8,3**	**0,008**
	Cyanobacteria	0,7*[c,d]	0,3	1,3*[c,d]	0,3	3,3	0,3	4,3	1,5	**10,5**	**0,004**
	Chlorophyta	16,0	3,5	13,7	1,8	18,7	2,2	16,0	4,0	0,7	0,603
	Cryptophyta	5,0*[b]	0,6	0,0*[c,d]	–	4,0	1,0	3,3	0,6	**13,0**	**0,002**
	Dinophyta	0,7	0,7	1,3	0,3	1,0	0,6	1,3	0,6	0,4	0,752
	Euglenophyta	2,3*[c]	0,3	4,7*[c]	1,2	8,3*[d]	1,2	4,0	1,7	**6,4**	**0,016**
	Streptophyta	0,7	0,3	1,0	0,6	1,0	–	0,3	0,6	0,7	0,561
	Chrysophyta	0,0	–	1,0	0,6	0,0	–	0,7	0,6	2,3	0,160
	Xanthophyta	0,0*[c,d]	–	0,0*[c,d]	–	0,7	0,3	1,0	0,0	**9,0**	**0,006**
Численность, млн кл./л	Bacillariophyta	4,50*[c]	1,77	2,24*[c]	0,31	14,25*[d]	4,66	2,45	0,92	**5,1**	**0,029**
	Cyanobacteria	0,06*[d]	0,03	0,95	0,38	1,44	0,30	3,93	3,95	2,0	0,188
	Chlorophyta	2,03	0,63	0,92	0,22	2,44	0,30	2,51	2,74	0,7	0,571
	Cryptophyta	0,83	0,16	0,00	–	0,32	0,17	1,16	0,95	3,0	0,092
	Dinophyta	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,7	0,558
	Euglenophyta	0,02*[c]	0,00	0,08*[c]	0,01	0,23	0,04	0,16	0,23	1,8	0,232
	Streptophyta	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	2,0	0,186
	Chrysophyta	0,00	–	0,01	0,00	0,00	–	0,03	0,04	1,1	0,392
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,01	0,00	0,01	0,00	**6,3**	**0,017**
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	58,4*[d]	2,9	55,5*[d]	5,7	73,8*[d]	6,0	27,2	13,2	**11,1**	**0,003**
	Cyanobacteria	1,2*[d]	0,6	19,9	6,1	8,5	2,5	37,5	29,3	3,0	0,092
	Chlorophyta	27,8	0,8	21,4	0,9	14,8	3,8	22,1	16,9	1,0	0,434
	Cryptophyta	12,2*[b,c]	1,6	0,0	–	1,5*[d]	0,4	11,4	5,8	**11,8**	**0,003**
	Dinophyta	0,0*[b]	0,0	0,5*[c,d]	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	4,0	0,052
	Euglenophyta	0,3	0,1	2,3	0,9	1,3	0,2	1,3	1,5	1,7	0,245
	Streptophyta	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	1,7	0,247
	Chrysophyta	0,0	–	0,2	0,1	0,0	–	0,2	0,3	1,6	0,269
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	0,1	0,1	2,9	0,099
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	3,756*[c,d]	0,379	2,873*[c]	0,695	10,53*[d]	1,57	0,459	0,468	**23,4**	**0,000**
	Cyanobacteria	0,001	0,001	0,035	0,015	0,024	0,004	0,042	0,040	1,6	0,269
	Chlorophyta	0,402	0,293	0,246	0,062	0,399	0,086	0,180	0,156	0,5	0,709
	Cryptophyta	0,187	0,012	0,000	–	0,232	0,053	0,136	0,142	**4,2**	**0,047**
	Dinophyta	0,070	0,070	0,168	0,054	0,079	0,044	0,052	0,036	1,1	0,415
	Euglenophyta	0,092*[c]	0,024	0,359	0,130	1,117	0,235	0,613	0,894	2,2	0,160
	Streptophyta	0,018	0,012	0,031	0,017	0,056	0,012*[d]	0,003	0,006	3,4	0,073

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Доля в общей биомассе, %	Chrysophyta	0,000	–	0,004	0,002	0,000	–	0,004	0,006	1,2	0,371
	Xanthophyta	0,000	–	0,000	–	0,004	0,003	0,006	0,002	**4,5**	**0,039**
	Bacillariophyta	84,3*[d]	5,5	76,3*[d]	2,6	84,7*[d]	1,4	32,2	2,2	**61,6**	**0,000**
	Cyanobacteria	0,04*[d]	0,02	1,1	0,6	0,2*[d]	0,03	7,0	6,7	2,8	0,106
	Chlorophyta	7,6	4,7	7,0	2,0	3,3*[d]	0,8	14,2	3,2	2,7	0,115
	Cryptophyta	4,2*[b,d]	0,4	0,0*[d]	–	1,9*[d]	0,4	9,7	4,1	**11,8**	**0,003**
	Dinophyta	1,2	1,2	4,4	0,5	0,6	0,4	6,8	7,1	1,8	0,230
	Euglenophyta	2,2*[d]	0,7	10,4	3,8	8,8*[d]	0,8	28,2	19,0	3,6	0,064
	Streptophyta	0,5	0,3	0,7	0,4	0,4	0,1	0,5	0,9	0,1	0,956
	Chrysophyta	0,0	–	0,1	0,0	0,0	–	0,7	1,0	1,3	0,349
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	0,8	0,7	**4,1**	**0,050**
Индекс Шеннона, бит/кл.		3,74	0,26	3,62	0,18	3,04	0,33	3,35	0,67	1,1	0,411
Индекс Шеннона, бит/мг		3,10*[d]	0,38	3,42*[c]	0,13	2,54*[d]	0,05	3,90	0,27	**7,1**	**0,012**
Индекс сапробности		2,32*[d]	0,11	2,38*[d]	0,06	2,54*[d]	0,01	2,13	0,14	**5,5**	**0,024**
СИМ, 10^{-9} г		0,678*[d]	0,11	0,983*[d]	0,29	0,695*[d]	0,06	0,133	0,099	**5,0**	**0,031**

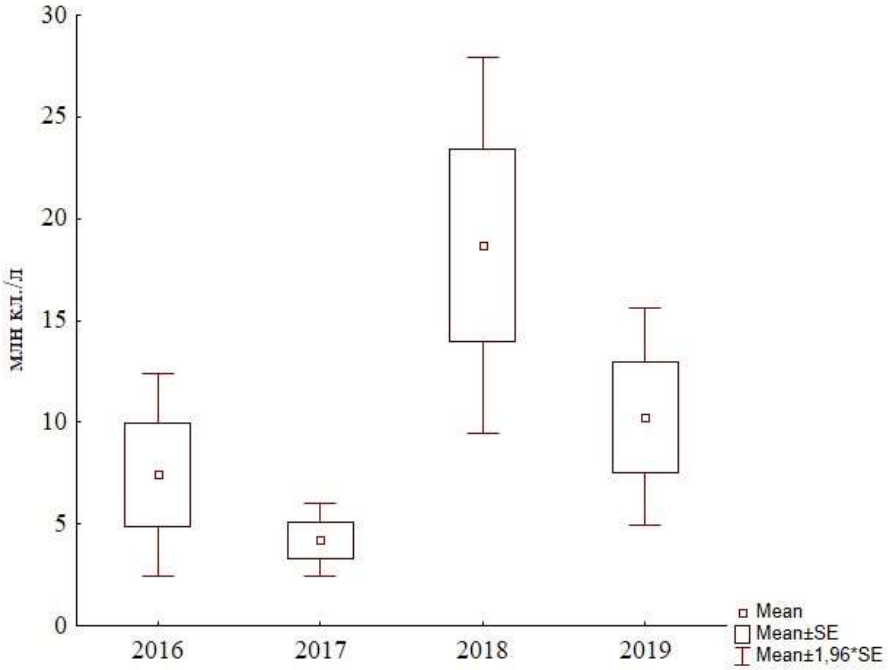

Рис. 4.1.5. Средняя численность фитопланктона Чапаевского плеса весной.

В 2019 г. обнаружена максимальная численность Cyanobacteria, а в 2017 г. отсутствовали Cryptophyta. Основу численности ФП в 2016–2018 гг. составляли диатомовые водоросли, в 2019 г. их доля статистически значимо снижалась, но возрастала доля цианобактерий (табл. 4.1.6). В 2017 г. зарегистрированы максимальные доли Dinophyta и Euglenophyta. В состав доминирующих видов в 2016 г. входили *Cyclotella meneghiniana* (24,8%), *Cyclotella* sp. (15,6%), *Komma caudata* (10,1%), в 2017 г. – *Stephanodiscus hantzschii* (31,6%), *Aphanizomenon flosaquae* (19,5%), в 2018 г. – *Cyclotella* sp. (44,6%), *Stephanodiscus hantzschii* (25,1%), в 2019 г. – *Cyclotella* sp. (18,0%), *Coelosphaerium kuetzingianum* (18,5%), *Komma caudata* (10,7%).

Индекс Шеннона, рассчитанный по численности, характеризовался относительно высокими значениями, минимальная величина зарегистрирована в 2018 г., максимальная – в 2016 г., однако различия не были статистически значимыми (табл. 4.1.6).

В течение исследованного периода обнаружены изменения численности миксотрофных организмов в составе ФП: их минимальное количество зарегистрировано в 2017 г., максимальное – в 2019 г. (табл. 4.1.7). При этом наименьшая доля миксотрофов в общей численности ФП отмечена в 2017 и 2018 гг.

Таблица 4.1.7. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Чапаевского плеса весной

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,86	0,16	0,11*[d]	0,01	0,56	0,20	1,36	1,16	2,2	0,172
Доля в общей численности, %	12,5*[b,c]	1,6	3,0*[d]	1,1	2,9*[d]	0,3	13,0	6,9	**6,6**	**0,015**
Биомасса, мг/л	0,350	0,088	0,531	0,123	1,428	0,283	0,805	1,022	2,0	0,197
Доля в общей биомассе, %	7,6*[d]	1,1	14,9*[d]	3,3	11,3*[d]	0,8	45,3	12,7	**17,9**	**0,001**

Биомасса ФП в 2018 г. статистически значимо превышала значения в 2016, 2017 и 2019 гг. (p = 0,001, 0,000 и 0,000 соответственно), минимальная биомасса зарегистрирована в 2019 г. (рис. 4.1.6).

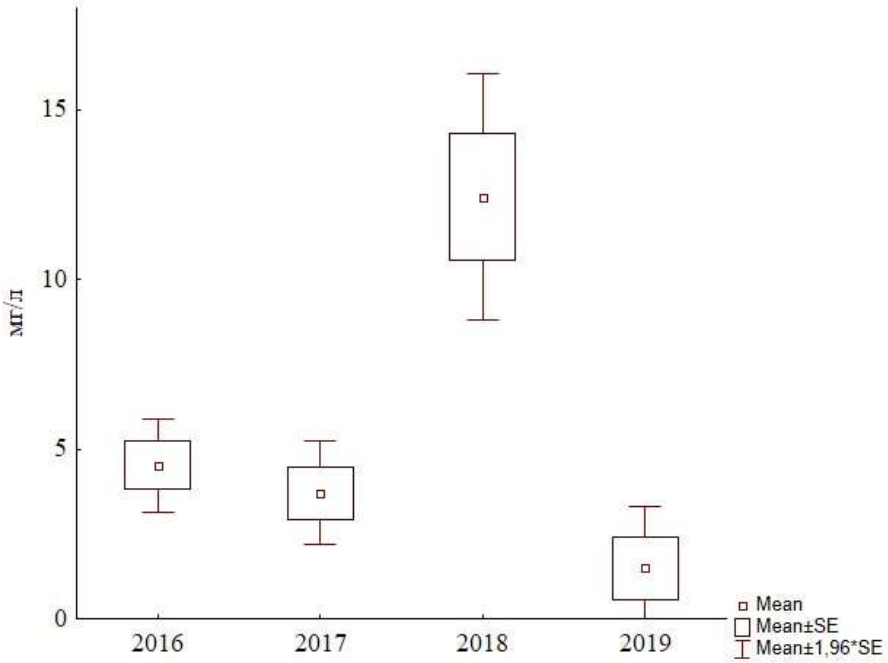

Рис. 4.1.6. Средняя биомасса фитопланктона Чапаевского плеса весной.

Увеличение биомассы в 2018 г. происходило за счет Bacillariophyta, минимальная биомасса которых зарегистрирована в 2019 г. (табл. 4.1.6). Основу биомассы во все годы составляли диатомовые водоросли, однако в 2019 г. их доля была статистически значимо ниже, но

возрастала доля Cyanobacteria, Chlorophyta, Cryptophyta, Dinophyta, Euglenophyta, Chrysophyta и Xanthophyta (табл. 4.1.6). Доминировали по биомассе в 2016 г. *Cyclotella meneghiniana* (34,1%), *Ulnaria ulna* (21,8%), в 2017 и 2018 гг. – *Stephanodiscus hantzschii* (46 и 62% соответственно), в 2019 г. – *Trachelomonas* sp. 1 (31%).

Максимальное значение индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, отмечено в 2019 г., и оно статистически значимо превышало данные в 2016 и 2018 гг. (табл. 4.1.6). Средняя индивидуальная масса организмов ФП в 2019 г. отличалась минимальной величиной и была статистически значимо меньше, чем в другие годы (табл. 4.1.6). Статистически значимых различий биомассы миксотрофных таксонов в составе ФП не выявлено, однако наибольшая величина зарегистрирована в 2018 г., наименьшая – в 2016 г. (табл. 4.1.7). Необходимо отметить, что в 2019 г. обнаружено значительное увеличение доли миксотрофов в общей биомассе сообщества, которая была статистически значимо больше, чем в 2016–2018 гг.

По значениям индекса сапробности воды плеса в 2016, 2017 и 2019 гг. характеризовались *β*-мезосапробными условиями, в 2018 г. величина индекса характеризовала переходный статус от *β*-мезо- к *α*-мезосапробным водам (табл. 4.1.6). Необходимо отметить, что по ряду гидрохимических показателей вода характеризовалась более высоким качеством: по величине ПО в 2016–2018 гг. она имела статус олигосапробных, в 2019 г. – ксеносапробных; по величине $N\text{-}NO_2$ во все годы – олигосапробных вод, а по величине $N\text{-}NO_3$ – ксеносапробных (табл. 4.1.4). Одновременно концентрация $P\text{-}PO_4$ в 2017 и 2018 гг. свидетельствовала о *β*-мезосапробных водах, в 2016 г. – о переходных условиях от олиго- к *β*-мезосапробным, а в 2019 г. – об олигосапробных. По величине $БПК_5$ в 2016–2018 гг. вода имела статус полисапробных, в 2019 г. – *α*-мезосапробных.

Трофический статус ЧП по шкале Жукинского с соавт. (1976) по биомассе ФП в 2016, 2017 и 2019 гг. характеризовался как *β*-мезотрофный, в 2018 г. – *β*-эвтрофный, по шкале Китаева (2007) – в 2016 г. – *α*-эвтрофный, 2017 г. – *β*-мезотрофный, 2018 г. – *β*-эвтрофный, 2019 г. – *α*-мезотрофный.

Коэффициенты корреляции показателей ФП с рядом факторов среды указывают на значительную роль гидрологического режима и связанных с ним гидрохимических характеристик. Так, с уровнем воды положительно коррелировали УВБ диатомовых водорослей (*r* =

0,77), а также их доля общей в численности и биомассе ФП (r = 0,62 и r = 0,81 соответственно) и СИМ (r = 0,80); отрицательно – УВБ цианобактерий (r = -0,71), их доля в общей биомассе (r = -0,60), численность криптофитовых (r = -0,64), их доля в общей численности и биомассе (r = -0,58 и r = -0,86), доля эвгленовых в общей биомассе (r = -0,60), численность миксотрофов (r = -0,63). Выше мы отмечали, что при повышении уровня воды, объема притока и количества атмосферных осадков увеличивалась концентрация $P\text{-}PO_4$, с которой были положительно связаны УВБ (r = 0,65), численность (r = 0,58) и биомасса (r = 0,77) диатомовых водорослей, их доля в общей численности и биомассе (r = 0,76 и 0,72), общая биомасса ФП (r = 0,75), индекс сапробности (r = 0,76), СИМ (r = 0,61), отрицательно – индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе (r = -0,64), доля миксотрофов в общей численности (r = -0,78) и биомассе (r = -0,64) ФП.

Резюме

Полученные данные свидетельствуют о значительных межгодовых изменениях ФП. При минимальном количестве атмосферных осадков, уровне воды и объеме притока в 2019 г., а также минимальных концентрациях органических веществ, соединений азота и фосфора, цветности воды, сообщество отличалось наименьшими общей биомассой, удельным видовым богатством, биомассой, долей в общей численности и биомассе диатомовых водорослей, величиной индекса сапробности и СИМ. Одновременно в 2019 г. отмечено наибольшее УВБ, численность, биомасса, доля в общей численности и биомассе Cyanophyta, численность Cryptophyta и миксотрофных организмов, а также их доля в общей биомассе. При максимальном количестве атмосферных осадков, уровне воды и объеме сброса, температуре и цветности воды, ПО, высоком содержании $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, Si, Fe и $P\text{-}PO_4$ в 2017 г. ФП отличался самой низкой численностью, максимальным индексом Шеннона, рассчитанным по биомассе, в его составе не обнаружено Cryptophyta, отмечена наименьшая численность миксотрофов, а также наибольшая СИМ. В условиях максимального объема притока и наибольшей температуры воздуха, при относительно высоком уровне воды, количестве атмосферных осадков и ХПК в 2016 г. ФП характеризовался наибольшим индексом Шеннона, рассчитанным по численности, удельным видовым богатством диатомовых водорослей, численностью, биомассой, долей в общей численности и биомассе цианобактерий и динофито-

вых водорослей, минимальными показателями эвгленовых. В 2018 г. ФП отличался максимальным удельным видовым богатством, численностью и биомассой, числом видов зеленых и эвгленовых водорослей, численностью диатомовых и эвгленовых, биомассой диатомовых, криптофитовых, эвгленовых и стрептофитовых, долей диатомовых в общей численности, индексом сапробности, а также минимальными индексами Шеннона, рассчитанными по численности и биомассе. По численности в 2018 г. доминировала мелкоклеточная *Cyclotella* sp., по численности и биомассе – *Stephanodiscus hantzschii* – показатель высокотрофных вод (Трифонова, 1990; Hutchinson, 1967), который, считается облигатным гетеротрофом, предпочитающим органическую среду (Cholnoky, 1968). Важно отметить, что в этот год большинство гидрологических параметров водохранилища, а также гидрохимических параметров имели средние значения, однако pH воды и концентрация $P\text{-}PO_4$ отличались максимальными величинами. Это могло определяться снижением уровня воды, обеспечивающим наибольшую аккумуляцию веществ, приносимых главной рекой, а также минимальным объемом стока, который способствовал наименьшему транспорту веществ вниз по течению.

В целом, комплекс полученных данных свидетельствует о том, что наиболее трофные условия в ЧП формировались в 2018 г., что подтверждают максимальные численность и биомасса ФП, биомасса миксотрофных таксонов, минимальный индекс Шеннона, а также наличие в составе сообщества видов-индикаторов высокотрофных вод. Весьма примечательно то, что ряд показателей ФП в 2019 г. – высокие количественные показатели цианобактерий, наибольшая численность миксотрофных организмов и их относительно высокая биомасса – также свидетельствуют о повышении трофического статуса вод плеса.

Фитопланктонное сообщество Софинского плеса

По температуре воды статистически значимых межгодовых различий не обнаружено, хотя в 2019 г. ее значения были минимальными (табл. 4.1.8). Прозрачность воды в 2018 и 2019 гг. была больше, чем в 2016 и 2017 гг., максимальная цветность отмечена в 2017 г., а в 2019 – минимальная. Кроме этого, в 2019 г. обнаружены наименьшие ПО, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, $P\text{-}PO_4$, Si и Fe, а в 2016 г. – максимальные значения ХПК, $БПК_5$, $N\text{-}NH_4$, Fe, в 2017 г. – ПО, $N\text{-}NO_3$, а в 2018 г. – $P\text{-}PO_4$.

Таблица 4.1.8. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Софинского плеса весной

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	12,6	0,1	12,5	0,2	12,6	1,1	11,4	0,6	1,0	0,428
Прозрачность, м	1,4*[d]	0,1	1,3*[d]	0,1	1,6	0,0	1,7	0,2	**5,9**	**0,020**
Цветность, град	27,9*[b,d]	0,4	43,4*[c,d]	0,6	26,8*[d]	0,5	13,3	1,2	**463,7**	**0,000**
O_2, мг/л	8,1*[b-d]	0,2	12,2*[d]	0,5	11,5	0,3	10,9	0,5	**27,2**	**0,000**
O_2, %	77,0*[b-d]	2,0	114,3*[d]	5,5	109,3	1,5	99,3	4,9	**24,9**	**0,000**
ПО, мгO_2/л	7,2*[b-d]	–	8,2*[c,d]	–	5,9*[d]	0,2	5,3	0,0	**226,2**	**0,000**
ХПК, мгO_2/л	30,0*[b-d]	–	26,7	1,2	25,0	–	25,0	0,0	**15,4**	**0,001**
$БПК_5$, мгO_2/л	5,2*[c,d]	1,6	3,3	–	0,9	–	2,3	0,0	**5,0**	**0,031**
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,287*[b-d]	0,012	0,187*[c,d]	0,007	0,143*[c,d]	0,009	0,080	0,000	**113,2**	**0,000**
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,018*[c,d]	0,003	0,023*[c,d]	–	0,009*[d]	0,001	0,003	0,000	**28,8**	**0,000**
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,393*[b,d]	0,026	0,753*[c,d]	0,015	0,460*[d]	0,086	0,040	0,000	**41,3**	**0,000**
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,034*[b-d]	0,003	0,077*[c,d]	0,002	0,101*[d]	0,009	0,010	0,000	**71,3**	**0,000**
Si, мг/л	3,467*[c,d]	0,088	3,600*[c,d]	0,100	2,800*[d]	0,058	1,200	0,000	**229,9**	**0,000**
Fe, мг/л	0,253*[d]	0,020	0,207	0,013	0,233	0,035	0,170	0,000	2,8	0,106

С большинством гидрологических параметров водохранилища отрицательно связана прозрачность воды, при увеличении которой снижались изученные гидрохимические параметры. Кроме этого, гидрохимические параметры имели положительные связи с объемом притока, уровнем воды и суммой атмосферных осадков (табл. 4.1.9). С температурой воздуха отрицательно коррелировало содержание растворенного кислорода.

Удельное видовое богатство ФП в 2016 г. статистически значимо превышало показатели в 2018 и 2019 гг. (p = 0,033 и 0,011 соответственно) (рис. 4.1.7). В 2016 г. отмечено наибольшее УВБ диатомовых водорослей, а в 2019 г. – цианобактерий (табл. 4.1.10).

Несмотря на то, что средняя численность ФП не имела статистически значимых различий, максимальное ее значение обнаружено в 2016 г., минимальное – в 2018 г. (рис. 4.1.8). В 2019 г. наблюдалась максимальная численность криптофитовых водорослей, по сравнению с данными 2016 и 2018 гг. статистически значимо возрастала плотность цианобактерий, но снижалось количество эвгленовых (табл. 4.1.10).

Таблица 4.1.9. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Софинского плеса весной

Показатель		Температура воды	Прозрачность	Цветность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	-0,13	0,40	-0,11	0,29	0,25	0,14	0,44	0,41	0,55	0,36	0,45	-0,22
Прозрачность		-0,13	–	**-0,79**	-0,22	**-0,83**	-0,36	-0,34	**-0,61**	**-0,85**	**-0,69**	-0,35	**-0,75**	-0,22
Уровень воды	Средний апрель–май	0,44	**-0,79**	**0,97**	0,22	**0,90**	0,39	0,25	**0,69**	**0,90**	**0,95**	**0,69**	**0,96**	0,44
Объем притока	Средний апрель–май	0,46	**-0,73**	**0,77**	-0,26	**0,82**	**0,71**	**0,60**	**0,95**	**0,89**	**0,73**	0,45	**0,97**	0,53
Объем сброса	Средний апрель–май	0,17	**-0,76**	**0,87**	0,29	**0,93**	0,34	0,38	0,46	**0,84**	**0,75**	0,19	**0,66**	0,02
Сумма атмосферных осадков	Сумма апрель–май	0,29	**-0,83**	**0,93**	0,17	**0,99**	0,47	0,45	0,65	**0,94**	**0,84**	0,33	**0,83**	0,19
Температура воздуха	Средняя апрель–май	0,26	-0,14	-0,04	**-0,84**	0,13	**0,74**	**0,69**	**0,77**	0,28	-0,05	-0,08	0,42	0,44

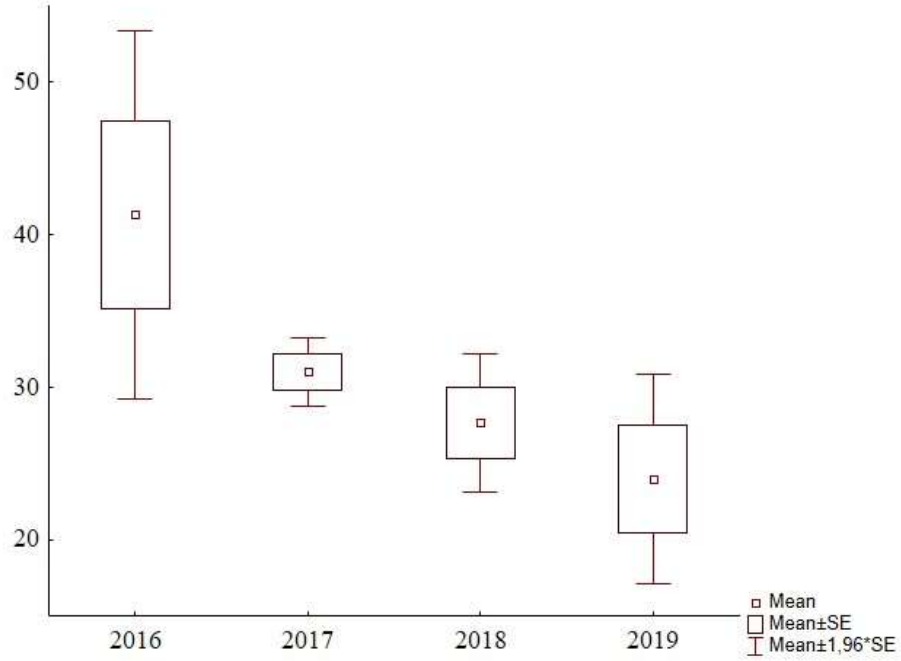

Рис. 4.1.7. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона Софинского плеса весной.

Таблица 4.1.10. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Софинского плеса весной

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	19,7*[b-d]	3,8	10,7*[d]	0,7	8,0	1,5	2,7	2,5	**10,3**	**0,004**
	Cyanobacteria	0,3*[d]	0,3	0,3*[b-d]*[d]	0,3	0,3*[d]	0,3	3,3	0,6	**20,3**	**0,000**
	Chlorophyta	10,7	1,8	10,7	0,7	11,3	1,2	11,3	2,1	0,1	0,962
	Cryptophyta	4,7*[b]	0,7	6,7*[d]	0,3	5,3	0,3	5,0	1,0	3,1	0,091
	Dinophyta	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,3	1,3	0,6	2,0	0,193
	Euglenophyta	3,7*[d]	1,5	1,3	0,3	1,3	0,7	0,3	0,6	2,9	0,103
	Streptophyta	1,0	0,6	0,0	–	0,7	0,3	0,0	0,0	2,3	0,160
	Chrysophyta	1,0	0,6	0,7	0,3	0,0	–	0,0	0,0	2,3	0,160
	Xanthophyta	0,0	–	0,3	0,3	0,0	–	0,0	0,0	0,8	0,510
Численность, млн кл./л	Bacillariophyta	2,23	1,33	0,86	0,16	0,41	0,15	0,14	0,21	1,9	0,211
	Cyanobacteria	0,04*[d]	0,04	0,25	0,25	0,04*[d]	0,04	0,63	0,14	**4,3**	**0,045**
	Chlorophyta	1,25	0,12	1,37	0,24	0,69	0,05	1,37	0,79	1,5	0,291
	Cryptophyta	0,49*[d]	0,23	0,60*[d]	0,21	0,35*[d]	0,09	1,95	0,73	**7,8**	**0,009**
	Dinophyta	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,002	0,02	0,01	1,8	0,221
	Euglenophyta	0,029*[d]	0,011	0,014	0,003	0,014	0,009	0,003	0,01	2,1	0,180
	Streptophyta	0,006	0,003	0,000		0,005	0,003	0,00	0,00	2,6	0,123
	Chrysophyta	0,009	0,005	0,007	0,004	0,000	–	0,00	0,00	2,5	0,130
	Xanthophyta	0,000	–	0,015	0,015	0,000	–	0,00	0,00	1,0	0,441
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	46,3*[d]	14,4	27,9	2,7	25,8	8,2	5,2	8,2	3,7	0,060
	Cyanobacteria	1,3*[d]	1,3	6,8	6,8	3,3	3,3	15,9	2,5	2,8	0,111
	Chlorophyta	34,6	6,6	45,7	7,8	46,1	4,0	31,5	8,2	1,6	0,265
	Cryptophyta	16,6*[d]	9,1	18,2*[d]	4,1	23,2*[d]	6,8	46,9	6,0	**5,0**	**0,030**
	Dinophyta	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,4	0,2	1,9	0,206
	Euglenophyta	0,7	0,2	0,5	0,2	0,9	0,6	0,1	0,2	0,9	0,467
	Streptophyta	0,1	0,1	0,0	–	0,4	0,2	0,0	0,0	3,0	0,096
	Chrysophyta	0,3	0,2	0,3	0,1	0,0	–	0,0	0,0	2,4	0,147
	Xanthophyta	0,0	–	0,4	0,4	0,0	–	0,0	0,0	1,0	0,441
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	4,595	3,237	1,073	0,200	0,500	0,254	0,028	0,024	1,6	0,258
	Cyanobacteria	0,000	0,000	0,007	0,007	0,001	0,001	0,005	0,003	0,7	0,555
	Chlorophyta	0,128	0,014	0,145	0,010	0,146	0,045	0,090	0,060	0,8	0,551
	Cryptophyta	0,874*[c,d]	0,271	0,789*[c,d]	0,191	0,208	0,065	0,226	0,119	**4,3**	**0,045**
	Dinophyta	0,005*[d]	0,005	0,014*[d]	0,014	0,011*[d]	0,007	0,175	0,103	**7,2**	**0,011**
	Euglenophyta	0,467*[b-d]	0,208	0,039	0,017	0,046	0,029	0,009	0,015	**4,3**	**0,044**
	Streptophyta	0,028	0,015	0,000	–	0,034	0,017	0,000	0,000	2,6	0,127

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Доля в общей биомассе, %	Chrysophyta	0,007	0,004	0,005	0,002	0,000	–	0,000	0,000	2,4	0,140
	Xanthophyta	0,000	–	0,004	0,004	0,000	–	0,000	0,000	1,0	0,441
	Bacillariophyta	65,1*[d]	9,7	51,7*[d]	4,6	44,7*[d]	16,4	4,3	3,7	**7,0**	**0,012**
	Cyanobacteria	0,0	0,0	0,3*[d]	0,3	0,2*[d]	0,2	1,0	0,3	3,9	0,056
	Chlorophyta	3,7*[c,d]	1,6	7,3*[c,d]	0,9	18,7	6,9	16,5	6,2	**4,5**	**0,043**
	Cryptophyta	20,9	8,3	37,5	5,3	25,1	10,5	43,4	15,5	1,5	0,280
	Dinophyta	0,0*[d]	0,0	0,6*[d]	0,6	1,7*[d]	1,3	33,4	12,3	**20,3**	**0,000**
	Euglenophyta	9,5*[b,d]	2,0	2,3	1,4	4,5	3,2	1,4	2,4	2,9	0,102
	Streptophyta	0,5	0,3	0,0*[c]	–	5,0*[d]	2,8	0,0	0,0	2,9	0,099
	Chrysophyta	0,3	0,1	0,2	0,1	0,0	–	0,0	0,0	2,6	0,123
	Xanthophyta	0,0	–	0,2	0,2	0,0	–	0,0	0,0	1,0	0,441
Индекс Шеннона, бит/кл.		4,16*[c,d]	0,22	3,73*[d]	0,08	3,60*[d]	0,04	2,92	0,38	**10,2**	**0,004**
Индекс Шеннона, бит/мг		3,86*[d]	0,05	3,48*[d]	0,11	3,19	0,38	2,87	0,38	3,5	0,071
Индекс сапробности		2,14	0,03	2,01	0,04	2,08	0,13	2,13	0,16	0,6	0,660
СИМ, 10^{-9} г		1,27*[d]	0,40	0,67	0,02	0,61	0,11	0,14	0,08	**4,9**	**0,032**

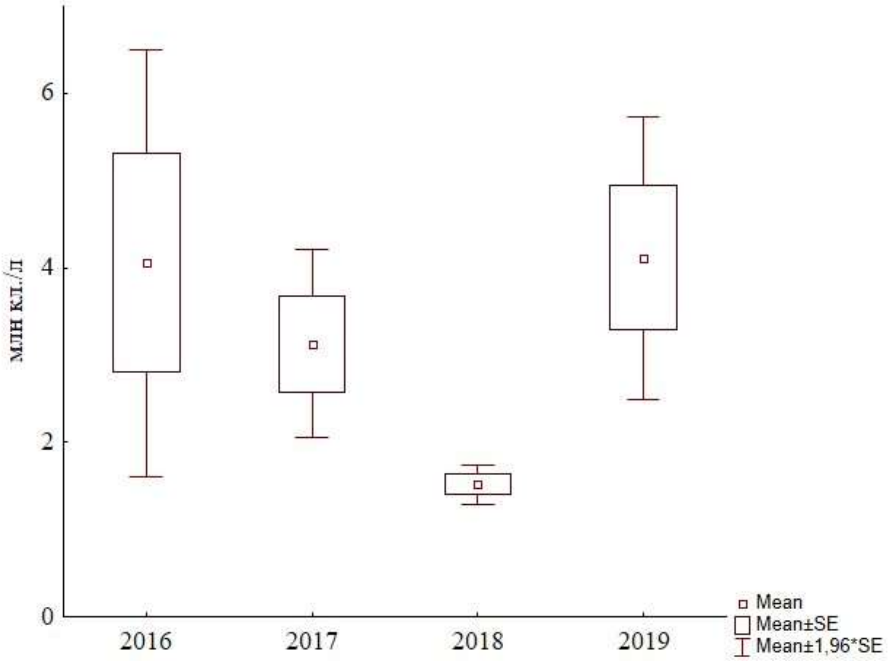

Рис. 4.1.8. Средняя численность фитопланктона Софинского плеса весной.

Основу численности ФП в 2016–2018 гг. формировали зеленые и диатомовые водоросли, однако в 2016 г. максимальную долю составляли диатомовые, в 2017 и 2018 гг. – зеленые, а в 2019 г. –криптофитовые и зеленые (табл. 4.1.10). В состав доминирующих видов в 2016 г. входили *Tetrastrum staurogeniaeforme* (17,6%), в 2017 г. – *T. staurogeniaeforme* (23,8%), *Stephanodiscus hantzschii* (10,8%), *Komma caudata* (10,2%), в 2018 г. – *Cyclotella* sp. (14,3%), *Coelastrum microporum* (12,3%), *Rhodomonas sp.* (10,6%), в 2019 г. – *Komma caudata* (43,3%) и *Monoraphidium contortum* (18,1%).

Наибольший индекс Шеннона, рассчитанный по численности, зарегистрирован в 2016 г., он статистически значимо превышал значения в 2018 и 2019 гг., а минимальная ве-

личина отмечена в 2019 г. (табл. 4.1.10). В 2019 г. также обнаружена наибольшая численность миксотрофных таксонов и их доля в общей численности ФП (табл. 4.1.11).

Таблица 4.1.11. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Софинского плеса весной

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,53*[d]	0,23	0,63*[d]	0,20	0,37*[d]	0,08	1,97	0,73	**7,8**	**0,009**
Доля в общей численности, %	17,7*[d]	9,3	19,1*[d]	3,8	24,4*[d]	6,3	47,4	5,8	**5,0**	**0,031**
Биомасса, мг/л	1,353*[c,d]	0,427	0,846	0,172	0,266	0,049	0,410	0,145	**4,3**	**0,043**
Доля в общей биомассе, %	30,7*[d]	8,7	40,6*[d]	4,3	31,4*[d]	8,9	78,2	7,4	**10,5**	**0,004**

Максимальная биомасса ФП отмечена в 2016 г., минимальная – в 2019 г. (рис. 4.1.9). В 2016 г. наблюдалась наибольшая биомасса Euglenophyta, в 2019 г. – динофитовых, а в 2018 и 2019 гг. по сравнению с ситуацией в 2016 и 2017 гг. снижалась биомасса криптофитовых (табл. 4.1.10).

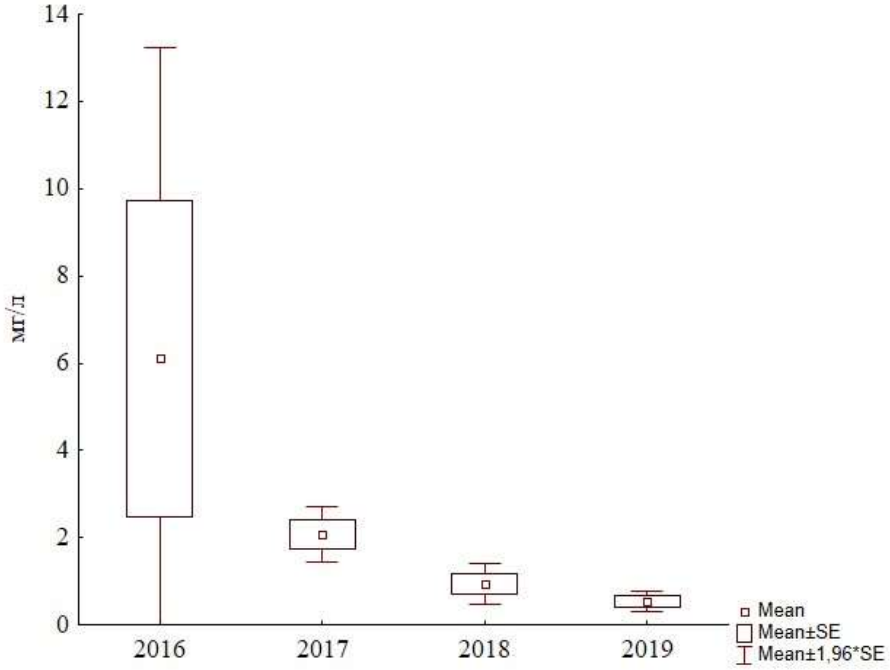

Рис. 4.1.9. Средняя биомасса фитопланктона Софинского плеса весной.

Основу биомассы в 2016–2018 гг. составляли диатомовые водоросли, в 2019 г. – криптофитовые и динофитовые (табл. 4.1.10). В 2018 и 2019 гг. значительно больше была доля зеленых водорослей, в 2016 г. – эвгленовых. Среди доминирующих по биомассе видов в 2016 г. отмечены *Ulnaria ulna* (30,1%), в 2017 и 2018 гг. – *Cryptomonas curvata* (29,4 и 17,5% соответственно), *Stephanodiscus hantzschii* (10 и 26%), *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii* (13,2 и 15,7%), в 2019 г. – *Gymnodinium helveticum* (31,4%), *Cryptomonas ovata* (16,3%) и *Komma caudata* (15,4%).

Наибольшие величины индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, зарегистрированы в 2016 и 2017 гг., наименьшее – в 2019 г. (табл. 4.1.10). Аналогично изменялась СИМ (табл. 4.1.10). Максимальная биомасса миксотрофных таксонов обнаружена в 2016 г., однако их наибольшая доля в общей биомассе ФП наблюдалась в 2019 г. (табл. 4.1.11).

По индексу сапробности воды плеса во все годы характеризовались *β*-мезосапробными условиями (табл. 4.1.10). В то же время концентрация $P\text{-}PO_4$ в 2016 г. характеризовала переходный межу олигосапробным и *β*-мезосапробным статус вод, в 2017 г. – *β*-мезосапробный, в 2018 г. – переходный от *β*-мезосапробного к *α*-мезосапробному, в 2019 г. – олигосапробный. В 2016–2018 гг. величина $N\text{-}NH_4$ соответствовала *β*-мезосапробным водам, но показатели $БПК_5$ в 2016 и 2017 гг. – полисапробным, в 2018 г. – олигосапробным, в 2019 – *α*-мезосапробным. Значения ПО в 2016 и 2017 гг. характеризовали олигосапробные воды, в 2018 и 2019 гг. – ксеносапробные, а $N\text{-}NH_4$ в 2019 г. и $N\text{-}NO_2$ в 2016–2019 гг. – олигосапробные, $N\text{-}NO_3$ – во все годы – ксеносапробные (ГОСТ 17.1.2.04–77).

По шкале Жукинского с соавт. (1976) трофический статус вод плеса по биомассе ФП характеризовался в 2016 г. как – *α*-эвтрофный, 2017 г. – *β*-мезотрофный, 2018 и 2019 гг. – *α*-мезотрофный, по шкале Китаева (2007) – 2016 г. как – *α*-эвтрофный, 2017 г. – *β*-мезотрофный, а 2018 и 2019 гг. – олиготрофный.

Корреляционный анализ показал, что с объемом притока и уровнем воды были положительно связаны УВБ (r = 0,76) и число видов диатомовых (r = 0,84), биомасса криптофитовых (r = 0,78), величины индексов Шеннона по численности (r = 0,89) и биомассе (r = 0,70), отрицательно – УВБ (r = -0,88) и численность (r = -0,64) цианобактерий, численность криптофитовых (r = -0,71), биомасса динофитовых (r = -0,76), численность (r = -0,70) и биомасса (r = -0,76) миксотрофных организмов. Общая численность и биомасса ФП возрастали при увеличении $БПК_5$ (r = 0,68 и 0,87 соответственно).

Резюме

В СП наиболее специфичные условия и показатели ФП формировались в 2019 и 2016 гг. Так, при минимальном количестве атмосферных осадков, уровне воды, объеме притока, концентрациях органических веществ, соединений азота и фосфора, а также цветности воды в 2019 г. ФП отличался наименьшими УВБ и биомассой, индексами Шеннона, но мак-

симальной численностью за счет криптофитовых водорослей и цианобактерий, численностью миксотрофных организмов. В условиях максимального объема притока и наибольшей температуры воздуха, при относительно высоком уровне воды и количестве атмосферных осадков в 2016 г. ФП характеризовался наибольшими УВБ и биомассой за счет диатомовых водорослей, индексами Шеннона, СИМ и биомассой миксотрофов.

Фитопланктонное сообщество Таналык-Суундукского плеса

В 2018 и 2019 гг. зарегистрирована наибольшая температура воды (табл. 4.1.12). Прозрачность воды статистически значимых различий не имела, но наибольшая величина отмечена в 2016 г., наименьшая – в 2019 г. В 2017 г. воды плеса отличались наиболее высокими цветностью, концентрациями O_2, $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$. В 2018 г. обнаружены максимальные величины Si, но минимальные Fe, а в 2019 г. – цветность воды, $N\text{-}NH_4$ и $P\text{-}PO_4$.

Таблица 4.1.12. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Таналык-Суундукского плеса весной

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	9,7*[d]	0,5	8,4*[c,d]	0,4	11,4	0,4	12,4	2,1	**5,9**	**0,020**
Прозрачность, м	2,5	0,5	2,1	0,4	2,2	0,3	1,8	0,8	0,4	0,728
Цветность, град	14,4*[b]	0,9	22,9*[c,d]	3,3	15,7	0,2	12,3	0,6	**7,3**	**0,011**
O_2, мг/л	9,4*[b-d]	0,4	13,1*[c,d]	0,4	11,3	0,3	11,5	1,0	**13,0**	**0,002**
O_2, %	83,0*[b-d]	4,4	111,3	4,3	103,0	1,5	106,7	6,7	**11,5**	**0,003**
ПО, мгO_2/л	5,9	–	6,1	1,1	4,4	0,3	5,2	0,2	1,8	0,225
ХПК, мгO_2/л	31,0*[c]	–	28,0	2,1	25,0	–	28,0	0,0	**5,5**	**0,024**
$БПК_5$, мгO_2/л	3,7	0,7	3,2	–	2,8	–	3,4	0,0	1,1	0,406
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,25	0,12	0,11	0,02	0,19	0,05	0,090	0,000	1,3	0,352
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,00*[c]	0,00	0,01*[c,d]	0,00	0,00	0,00	0,002	0,000	**4,3**	**0,043**
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,10	0,01	0,16	0,09	0,06	0,02	0,050	0,000	1,1	0,420
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,04*[c,d]	0,00	0,04*[d]	0,00	0,05*[d]	0,01	0,013	0,000	**21,5**	**0,000**
Si, мг/л	1,63*[c]	0,09	1,77*[c]	0,12	2,10*[d]	–	1,800	0,000	**7,0**	**0,013**
Fe, мг/л	0,21*[b-d]	0,02	0,15*[c]	0,01	0,07	0,01	0,120	0,000	**14,0**	**0,002**

Коэффициенты корреляции свидетельствуют, что при увеличении количества атмосферных осадков, уровня воды, объемов притока и сброса снижалась температура воды, но возрастали цветность воды, $N\text{-}NO_2$, $P\text{-}PO_4$, Fe, а при увеличении температуры воздуха наблюдалось уменьшение содержания кислорода (табл. 4.1.13).

Статистически значимых межгодовых различий УВБ ФП не обнаружено, однако наибольшие значения отмечены в 2016 и 2017 гг., наименьшие – в 2019 и 2018 гг. (рис. 4.1.10). В 2019 г. статистически значимо выше число видов цианобактерий (табл. 4.1.14).

В 2018 г. средняя численность ФП была меньше, чем в 2016, 2017 и 2019 гг. в 5.1, 6.0 и 4.4 раз соответственно (рис. 4.1.11). В 2019 г. обнаружено статистически значимое повышение численности цианобактерий и зеленых водорослей, но снижение численности Bacillariophyta, а в 2018 г. сокращалась численность Cryptophyta и Chlorophyta (табл. 4.1.14). Наибольшую долю в общей численности ФП составляли Chlorophyta, однако в 2019 г. она статистически значимо превышала данные в 2016 и 2017 гг., а доля Bacillariophyta сокращалась (табл. 4.1.14). Кроме этого, нужно отметить, что в 2017 г. наибольшую долю в общей численности ФП составляли Cryptophyta.

Таблица 4.1.13. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Таналык-Суундукского плеса весной

Показатель		Температура воды	Прозрачность	Цветность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	-0,36	-0,51	-0,02	-0,36	-0,17	-0,25	-0,16	-0,56	-0,35	-0,35	0,42	-0,37
Прозрачность		-0,36	–	-0,29	-0,31	-0,24	-0,10	0,51	0,36	-0,01	-0,11	0,08	-0,37	-0,06
Уровень воды	Средний апрель–май	**-0,76**	0,22	**0,73**	0,23	0,29	0,05	-0,10	0,16	**0,58**	0,45	**0,73**	-0,07	0,28
Объем притока	Сумма апрель–май	**-0,69**	0,34	0,42	-0,26	0,35	0,39	0,13	0,38	**0,60**	0,37	**0,64**	-0,33	**0,60**
Объем сброса	Средний апрель–май	**-0,76**	0,06	**0,77**	0,49	0,51	0,26	0,09	-0,13	**0,71**	0,52	0,18	-0,40	0,45
Сумма атмосферных осадков	Сумма апрель–май	**-0,82**	0,16	**0,75**	0,32	0,50	0,30	0,09	0,02	**0,74**	0,53	0,37	-0,39	0,52
Температура воздуха	Средняя апрель–май	-0,16	0,34	-0,28	**-0,82**	0,15	0,53	0,29	0,53	0,22	0,01	0,28	-0,37	**0,60**

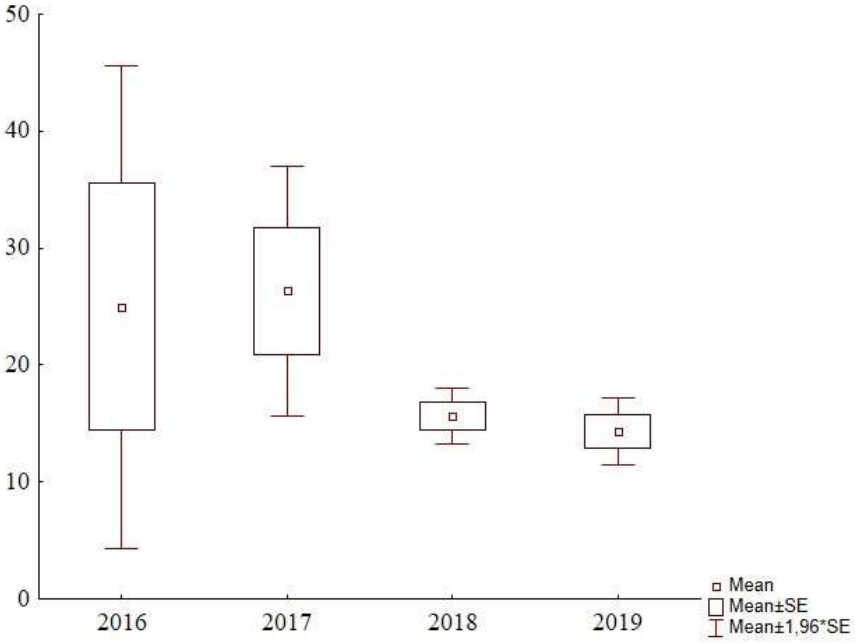

Рис. 4.4.10. Среднее удельное число видов фитопланктона Таналык-Суундукского плеса весной.

Таблица 4.1.14. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Таналык-Суундукского плеса весной

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	10,3	4,9	13,3	6,1	4,7	0,3	3,3	1,2	1,4	0,299
	Cyanobacteria	0,3*[d]	0,3	0,3*[d]	0,3	0,7	0,3	1,7	0,6	3,6	0,066
	Chlorophyta	8,0	3,5	6,0	1,0	5,3	0,3	4,0	1,0	0,8	0,525
	Cryptophyta	4,0	2,1	4,7	1,2	3,7	0,7	3,7	0,6	0,1	0,933
	Dinophyta	1,0	1,0	1,7	0,3	1,0	0,6	1,7	0,6	0,4	0,770
	Euglenophyta	0,3	0,3	0,0	–	0,3	0,3	0,0	0,0	0,7	0,596
	Streptophyta	0,3	0,3	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	1,0	0,441
	Chrysophyta	0,7	0,3	0,3	0,3	0,0	–	0,0	0,0	1,8	0,219
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Численность, млн кл./л	Bacillariophyta	0,65	0,33	0,82	0,39	0,14	0,00	0,05	0,02	2,2	0,170
	Cyanobacteria	0,02*[d]	0,02	0,04*[d]	0,04	0,09	0,05	0,22	0,10	3,9	0,054
	Chlorophyta	1,71	0,98	1,46	0,52	0,38	0,03	2,01	0,51	1,5	0,284
	Cryptophyta	1,32	0,66	2,03	1,00	0,12	0,03	1,00	0,59	1,6	0,260
	Dinophyta	0,00	0,00	0,08	0,06	0,01	0,00	0,01	0,01	1,5	0,296
	Euglenophyta	0,00	0,00	0,00	–	0,00	0,00	0,00	0,00	0,8	0,517
	Streptophyta	0,00	0,00	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	1,0	0,441
	Chrysophyta	0,10*[b-d]	0,06	0,00	0,00	0,00	–	0,00	0,00	3,3	0,078
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	15,4	1,8	23,9*[d]	9,9	18,9*[d]	2,3	1,8	1,2	3,3	0,077
	Cyanobacteria	27,0	27,0	3,3	3,3	11,9	6,0	6,6	2,5	0,6	0,652
	Chlorophyta	31,6*[d]	13,1	33,5*[d]	2,2	52,4	2,8	62,3	5,5	**4,5**	**0,039**
	Cryptophyta	23,9	12,4	37,6	14,0	15,7	3,4	28,9	6,6	0,9	0,483
	Dinophyta	0,06	0,06	1,42	0,94	0,70	0,36	0,4	0,1	1,3	0,327
	Euglenophyta	0,01	0,01	0,00	–	0,36	0,36	0,0	0,0	1,0	0,451
	Streptophyta	0,04	0,04	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0	1,0	0,441
	Chrysophyta	1,91	1,14	0,33	0,33	0,00	–	0,0	0,0	2,3	0,150
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0	–	–
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	0,231	0,183	0,473	0,314	0,065	0,012	0,055	0,047	1,1	0,388
	Cyanobacteria	0,000	0,000	0,004	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,6	0,615
	Chlorophyta	0,219	0,197	0,206	0,135	0,133	0,038	0,038	0,006	0,5	0,709
	Cryptophyta	0,265	0,134	0,684	0,359	0,092	0,036	0,094	0,035	2,1	0,180
	Dinophyta	0,021	0,021	0,392	0,281	0,012	0,007	0,138	0,078	1,5	0,280
	Euglenophyta	0,003	0,003	0,000	–	0,009	0,009	0,000	0,000	0,8	0,539

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
	Streptophyta	0,012	0,012	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	1,0	0,441
	Chrysophyta	0,009*[c,d]	0,005	0,001	0,001	0,000	–	0,000	0,000	3,0	0,093
	Xanthophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
Доля	Bacillariophyta	46,6*[d]	21,5	38,8	19,2	23,8	7,9	16,7	11,8	0,8	0,531
в общей	Cyanobacteria	2,0	2,0	0,7	0,7	0,6	0,3	0,4	0,2	0,4	0,730
био-	Chlorophyta	16,5*[c]	9,9	9,2*[c]	4,1	40,8*[d]	4,0	11,7	1,7	**6,4**	**0,016**
массе, %	Cryptophyta	28,9	17,6	29,6	12,4	26,7	7,9	29,1	8,0	0,0	0,998
	Dinophyta	3,6*[b,d]	3,6	21,4*[c]	8,8	3,3*[d]	2,0	42,1	20,7	**5,7**	**0,022**
	Euglenophyta	0,6	0,5	0,00	–	4,8	4,7	0,0	0,0	0,9	0,473
	Streptophyta	0,7	0,7	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0	1,0	0,441
	Chrysophyta	1,2	0,9	0,3	0,2	0,00	–	0,0	0,0	1,5	0,289
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0	–	–
Индекс Шеннона, бит/кл.		2,60	0,90	3,47*[d]	0,11	3,12	0,11	1,91	0,22	2,2	0,170
Индекс Шеннона, бит/мг		2,97	0,94	3,61	0,26	2,83	0,05	2,69	0,36	0,7	0,599
Индекс сапробности		2,06	0,18	1,71	0,08	1,82	0,14	1,86	0,30	1,0	0,446
СИМ, 10^{-9} г		0,15*[b,c]	0,10	0,39*[d]	0,07	0,43*[d]	0,18	0,103	0,024	**7,2**	**0,012**

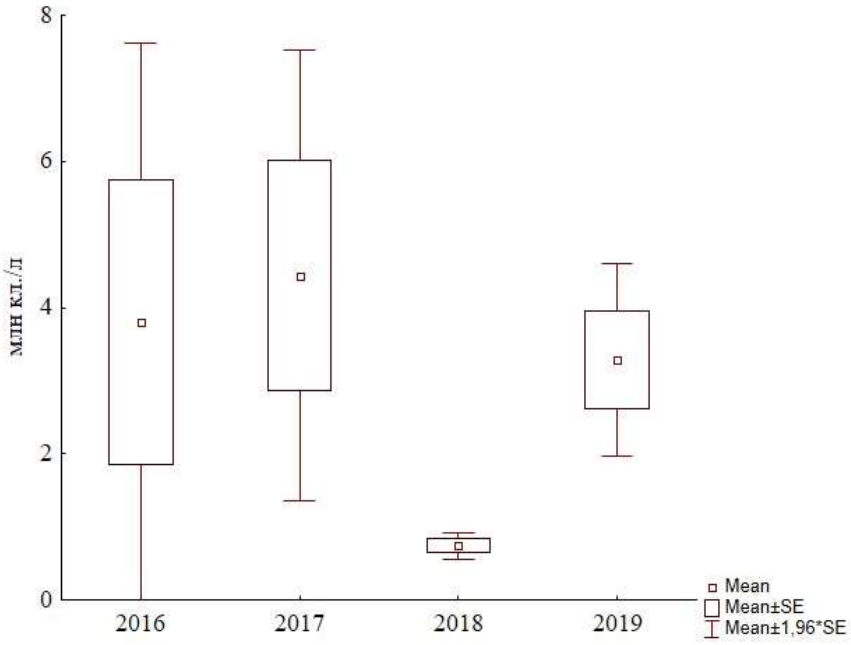

Рис. 4.1.11. Средняя численность фитопланктона Таналык-Суундукского плеса весной.

В 2016 г. по численности доминировали *Monoraphidium contortum* (20,8%), *Rhodomonas lens* (19,4%), *Komma caudata* (10,8%), в 2017 г. – *Rhodomonas lens* (19,7%), *Komma caudata* (17,4%), *Chlamydomonas* sp. 3 (12,9%), *Monoraphidium contortum* (11,3%), 2018 г. – не определенные до вида представители сем. Volvocaceae (28,4%), *Pseudanabaena limnetica* (12,8%), 2019 г. – *Monoraphidium contortum* (55,7%) и *Komma caudata* (23,6%).

Минимальный индекс Шеннона отмечен в 2019 г., максимальный – в 2017 г. (табл. 4.1.14), когда зарегистрирована наибольшая численность миксотрофных таксонов и их доля в общей численности ФП, в то время как наименьшая – в 2018 г. (табл. 4.1.15).

В 2018 и 2019 гг. средняя биомасса ФП была статистически значимо меньше, чем в 2017 г. (p = 0,038 и 0,040 соответственно) (рис. 4.1.12). В 2019 г. наблюдалось значительное снижение биомассы практически всех таксономических групп.

Таблица 4.1.15. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Таналык-Суундукского плеса весной

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	1,43	1,24	2,51*[c]	2,01	0,13	0,06	1,01	0,60	2,0	0,196
Доля в общей численности, %	25,9	23,4	36,9	25,7	16,7	5,9	29,3	6,6	0,7	0,603
Биомасса, мг/л	0,30	0,26	1,12	1,04	0,11	0,06	0,232	0,066	2,2	0,169
Доля в общей биомассе, %	34,2	38,7	45,9	31,2	34,8	10,3	71,2	12,8	1,3	0,337

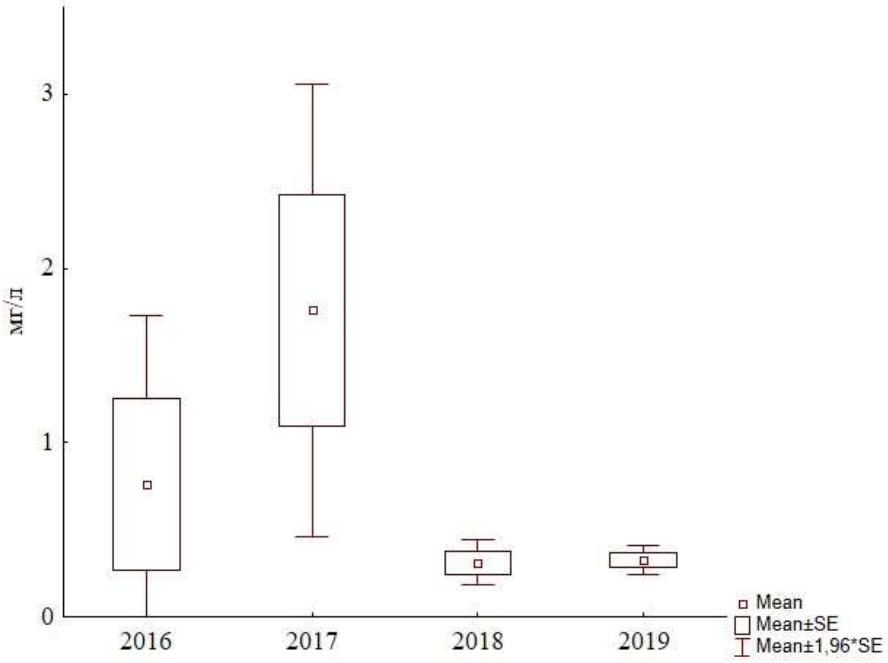

Рис. 4.1.12. Средняя биомасса фитопланктона Таналык-Суундукского плеса весной.

Максимальную долю в общей биомассе в 2016 и 2017 гг. составляли диатомовые водоросли, в 2018 г. – зеленые, в 2019 г. – динофитовые (табл. 4.1.14). В 2016 г. по биомассе доминировали *Rhodomonas lens* (18,6%), *Tetraselmis cordiformis* (14%), в 2017 г. – *Gymnodinium helveticum* (15,9%), *Rhodomonas lens* (12,5%), *Cryptomonas curvata* (10,3%), в 2018 г. – не определенные до вида представители сем. Volvocaceae (28,6%), *Cryptomonas curvata* (25,5%), *Asterionella formosa* (10,6%), в 2019 г. – *Gymnodinium helveticum* (21,8%), *Ceratium hirundinella* (18,3%), *Komma caudata* (11%) и *Monoraphidium contortum* (10,3%).

Статистически значимые различия индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, отсутствовали, однако наибольшая величина зарегистрирована в 2017 г., наименьшая – в 2019 г. (табл. 4.1.14). В 2018 и 2017 гг. отмечены максимальные СИМ, минимальная – в 2019 г. (табл. 4.1.14). Биомасса миксотрофных таксонов ФП также статистически значимо не

различалась, однако наибольшее значение отмечено в 2017 г., наименьшее – в 2018 г., а доля в общей биомассе – в 2019 и 2016 гг. соответственно (табл. 4.1.15).

По значениям индекса сапробности воды плеса ежегодно характеризовались *β*-мезосапробными условиями, однако максимальная его величина отмечена в 2016 г., минимальная – в 2017 г. (табл. 4.1.14). На *β*-мезосапробный статус вод плеса также указывали концентрации $N\text{-}NH_4$ и $P\text{-}PO_4$ в 2016–2018 гг., а в 2019 г. – на олигосапробный (ГОСТ 17.1.2.04–77). Одновременно значение $БПК_5$ соответствовали *α*-мезо- (2018 г.) и полисапробным (2016, 2017 и 2019 гг.) условиям, ПО – ксеносапробным.

По шкале Жукинского с соавт. (1976) трофический статус плеса по биомассе ФП в 2016, 2018 и 2019 гг. характеризовался как *α*-мезотрофный, в 2017 г. – *β*-мезотрофный, по шкале Китаева (2007) в 2016 г. – олиготрофный, 2018 и 2019 гг. – ультраолиготрофный, 2017 г. – *α*-мезотрофный.

Коэффициенты корреляции указывают на положительную связь УВБ (r = 0,59) и численности (r = 0,65) диатомовых водорослей, общей биомассы ФП (r = 0,68), биомассы криптофитовых (r = 0,64) с количеством атмосферных осадков, а также на отрицательную УВБ и численности цианобактерий, которые также обратно коррелировали с уровнем воды (r = -0,71 и -0,69). Численность ФП прямо коррелировала с ХПК (r = 0,64). Индекс сапробности возрастал при снижении содержания O_2 в воде (r = -0,58). При увеличении уровня воды и концентрации $P\text{-}PO_4$ возрастала величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности (r = 0,62), а численность и биомасса миксотрофных организмов в составе ФП – при увеличении цветности (r = 0,71 и 0,55), ПО (r = 0,65 и 0,72) и $N\text{-}NO_2$ (r = 0,63 и 0,62).

Резюме

Показатели ФП в Таналык-Суундукского плеса весной имели минимальное количество статистически значимых различий, однако большинство количественных характеристик – УВБ, численность, биомасса ФП, численность и биомасса миксотрофных организмов, а также индексы Шеннона – были выше в условиях больших суммы атмосферных осадков, уровня воды, объемов притока и сброса в 2017 г. Минимальные показатели ФП отмечены в 2018 и 2019 гг. при снижении уровня воды, количества атмосферных осадков, объемов притока и сброса, однако в 2018 г. ФП отличался максимальной СИМ.

Фитопланктонное сообщество Приплотинного плеса

Максимальная температура воды отмечена в мае 2019 г., прозрачность – в 2016 г. при минимальных значениях в 2017 и 2018 гг. (табл. 4.1.16). Кроме того, в 2016 г. зарегистрированы наибольшие ПО и $N\text{-}NH_4$, в 2017 г. – цветность воды, O_2, $БПК_5$, $N\text{-}NO_3$ и Fe, в 2018 г. – ХПК, $P\text{-}PO_4$ и Si. В 2019 г. вода отличалась минимальными цветностью, ПО, ХПК, $N\text{-}NH_4$ и $P\text{-}PO_4$.

Таблица 4.1.16. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Приплотинного плеса весной

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	10,7*[d]	0,6	10,9*[d]	0,2	10,8*[d]	0,7	12,7	0,5	**4,3**	**0,043**
Прозрачность, м	2,7*[b-d]	0,1	1,6*[d]	0,1	1,8*[d]	0,0	2,1	0,2	**43,1**	**0,000**
Цветность, град	13,2*[b]	0,9	18,7*[d]	2,0	16,0	0,4	13,0	1,0	**5,4**	**0,026**
O_2, мг/л	8,7*[b-d]	0,2	12,9*[c,d]	0,3	11,8*[d]	0,1	11,1	0,4	**68,9**	**0,000**
ПО, мгO_2/л	5,4*[d]	0,1	4,5	0,2	5,0	0,2	4,4	0,8	2,7	0,118
ХПК, мгO_2/л	27,0*[c]	–	28,7*[d]	1,5	31,0*[d]	–	26,0	0,0	**9,1**	**0,006**
$БПК_5$, мгO_2/л	2,0*[b]	0,7	3,8*[c]	0,2	2,9	–	2,2	0,0	**4,9**	**0,032**
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,143*[b-d]	0,017	0,050	0,006	0,053	0,007	0,040	0,000	**26,0**	**0,000**
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,002*[b,c]	0,000	0,001*[d]	0,000	0,001*[d]	0,000	0,002	0,000	**5,7**	**0,022**
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,060*[b]	0,030	0,277*[c,d]	0,068	0,011	0,010	0,050	0,000	**10,2**	**0,004**
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,021*[b,c]	0,005	0,043*[d]	0,007	0,057*[d]	0,004	0,016	0,000	**17,2**	**0,001**
Si, мг/л	1,133*[b-d]	0,033	1,800*[c,d]	0,058	2,500*[d]	0,115	2,100	0,000	**74,7**	**0,000**
Fe, мг/л	0,090*[b]	0,010	0,133*[c,d]	0,009	0,057	0,019	0,090	0,000	**7,6**	**0,010**

Корреляционный анализ показывает, что при увеличении уровня воды, объемов притока и сброса, суммы атмосферных осадков снижались температура воды, концентрация $N\text{-}NO_2$ и Si, но возрастали цветность воды, концентрация $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_3$ и Fe (табл. 4.1.17). При более высокой температуре воздуха увеличивались прозрачность воды, pH, $N\text{-}NH_4$ и ПО, уменьшались O_2 и Si.

В 2018 г. удельное видовое богатство ФП статистически значимо превышало значения в 2016 и 2017 гг. (p = 0,008 и 0,012) (рис. 4.1.13) за счет Bacillariophyta (табл. 4.1.18). Кроме того, в 2019 г. обнаружено максимальное среднее число видов Chlorophyta.

В 2018 г. средняя численность ФП статистически значимо превышала значения 2016 и 2017 гг. (p = 0,002 и 0,019), а в 2019 г. была больше, чем в 2016 г. (p = 0,031) (рис. 4.1.14). Увеличение численности в 2018 г. определяли диатомовые и зеленые водоросли, хотя максимальное количество последних отмечено в 2019 г., а в 2017 г. была выше плотность криптофитовых (табл. 4.1.18).

Таблица 4.1.17. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Приплотинного плеса весной

Показатель		Тем пер-тура воды	Прозрач-ность	Цвет-ность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	-0,07	-0,37	0,08	0,22	-0,30	-0,46	-0,15	-0,33	0,24	-0,15	-0,34	0,17
Прозрачность		-0,07	–	**-0,68**	**-0,96**	**-0,95**	0,57	-0,48	**-0,76**	**0,76**	**0,61**	-0,38	-0,57	**-0,69**
Уровень воды	Средний апрель–май	**-0,69**	-0,26	**0,63**	0,25	0,20	0,46	0,54	0,24	**-0,63**	**0,58**	0,53	-0,29	0,39
Объем притока	Сумма апрель–май	**-0,71**	0,28	0,26	-0,30	0,49	0,20	0,14	**0,70**	-0,31	0,31	0,19	**-0,66**	0,24
Объем сброса	Средний апрель–май	-0,29	-0,33	**0,59**	0,36	-0,15	-0,01	0,56	0,02	-0,34	**0,87**	0,11	-0,41	**0,79**
Сумма атмо-сферных осадков	Сумма апрель–май	-0,47	-0,20	0,57	0,22	0,04	0,09	0,51	0,22	-0,40	**0,78**	0,19	-0,51	**0,69**
Температура воздуха	Средняя апрель–май	-0,41	**0,85**	-0,39	**-0,88**	**0,67**	-0,13	-0,49	**0,93**	0,23	-0,33	-0,26	**-0,71**	-0,23

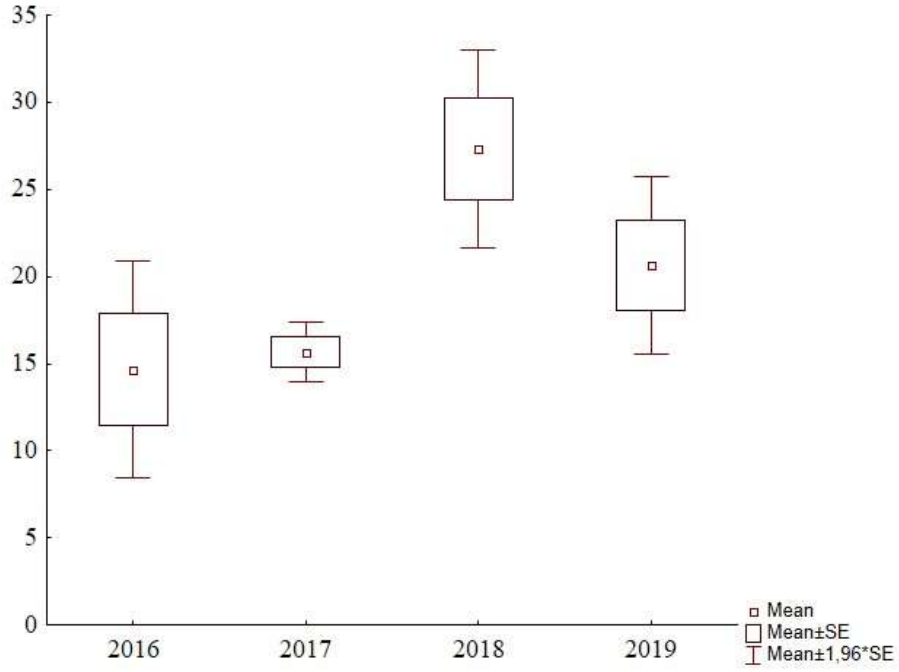

Рис. 4.1.13. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона Приплотинного плеса весной.

Таблица 4.1.18. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Приплотинного плеса весной

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	5,7*[c]	1,7	4,0*[c]	0,6	15,7	3,0	9,7	3,1	**7,2**	**0,012**
	Cyanobacteria	1,3	0,3	0,7	0,3	1,0	0,6	0,3	0,6	1,1	0,400
	Chlorophyta	2,3*[d]	0,7	3,3	0,7	4,3	0,3	5,7	2,1	3,3	0,078
	Cryptophyta	4,7	1,2	5,7	0,3	4,7	0,3	3,7	1,2	1,3	0,350
	Dinophyta	0,7*[b]	0,3	2,0	–	1,3	0,3	1,3	0,6	3,6	0,067
	Euglenophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Streptophyta	0,0	–	0,0	–	0,3	0,3	0,0	0,0	1,0	0,441
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Численность, млн кл/л	Bacillariophyta	0,61*[c]	0,06	0,25*[c]	0,02	2,92*[d]	0,76	0,44	0,37	**10,0**	**0,004**
	Cyanobacteria	0,24	0,15	0,22	0,20	0,13	0,07	0,02	0,03	0,6	0,611
	Chlorophyta	0,14*[c,d]	0,04	0,99*[c,d]	0,04	4,05	0,54	4,17	1,46	**17,1**	**0,001**
	Cryptophyta	0,48*[b]	0,04	1,98*[c,d]	0,65	0,44	0,06	0,48	0,45	**4,7**	**0,036**
	Dinophyta	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	1,8	0,225
	Euglenophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
	Streptophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	0,441
	Chrysophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	42,6*[b,d]	4,8	7,6*[c]	0,6	37,5*[d]	3,2	7,9	3,2	**38,2**	**0,000**
	Cyanobacteria	14,1	6,5	6,8	6,2	1,9	1,2	0,2	0,4	1,9	0,212
	Chlorophyta	9,4*[b-d]	2,0	30,6*[c,d]	5,8	54,5*[d]	2,2	83,7	7,7	**65,3**	**0,000**
	Cryptophyta	33,7*[b-d]	3,1	54,7*[c,d]	8,6	5,9	0,7	8,0	4,6	**23,6**	**0,000**
	Dinophyta	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	1,2	0,368
	Euglenophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Streptophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,441
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	0,058*[b-d]	0,019	0,050*[c,d]	0,012	0,726*[d]	0,124	0,152	0,014	**26,2**	**0,000**
	Cyanobacteria	0,000	0,000	0,015	0,012	0,005	0,003	0,000	0,000	1,3	0,351
	Chlorophyta	0,010*[c]	0,006	0,023*[c]	0,003	2,006*[d]	0,305	0,064	0,026	**41,8**	**0,000**
	Cryptophyta	0,157	0,065	0,252	0,086	0,288*[d]	0,026	0,071	0,074	2,7	0,117
	Dinophyta	0,021	0,019	0,129	0,082	0,121	0,062	0,174	0,054	1,4	0,311
	Euglenophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
	Streptophyta	0,000	–	0,000	–	0,001	0,001	0,000	0,000	1,0	0,441

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
	Chrysophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
	Xanthophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
Доля	Bacillariophyta	28,8*[b]	7,3	11,9*[d]	2,1	22,8	1,5	33,7	7,2	**4,6**	**0,038**
в об-	Cyanobacteria	0,2	0,1	4,2	3,8	0,2	0,1	0,0	0,0	1,1	0,398
щей	Chlorophyta	4,2*[c,d]	1,2	5,8*[c,d]	1,3	63,4*[d]	3,1	13,7	3,7	**177,9**	**0,000**
био-	Cryptophyta	59,1*[c,d]	10,1	55,6*[c,d]	4,9	9,5	1,4	13,9	11,9	**16,0**	**0,001**
массе, %	Dinophyta	7,7*[d]	4,3	22,5	7,2	4,2*[d]	2,0	38,6	13,5	**7,3**	**0,011**
	Euglenophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Streptophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,441
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Индекс Шеннона, бит/кл.		2,68*[d]	0,30	2,48	0,23	2,16	0,15	1,59	0,64	3,1	0,092
Индекс Шеннона, бит/мг		2,95	0,30	3,18*[c]	0,15	2,34	0,22	2,90	0,49	2,1	0,175
Индекс сапробности		1,91	0,11	1,81	0,08	1,73	0,06	1,90	0,11	1,2	0,364
СИМ, 10^{-9} г		0,18*[b-d]	0,08	0,13	0,03	0,42	0,02	0,098	0,033	**10,1**	**0,004**

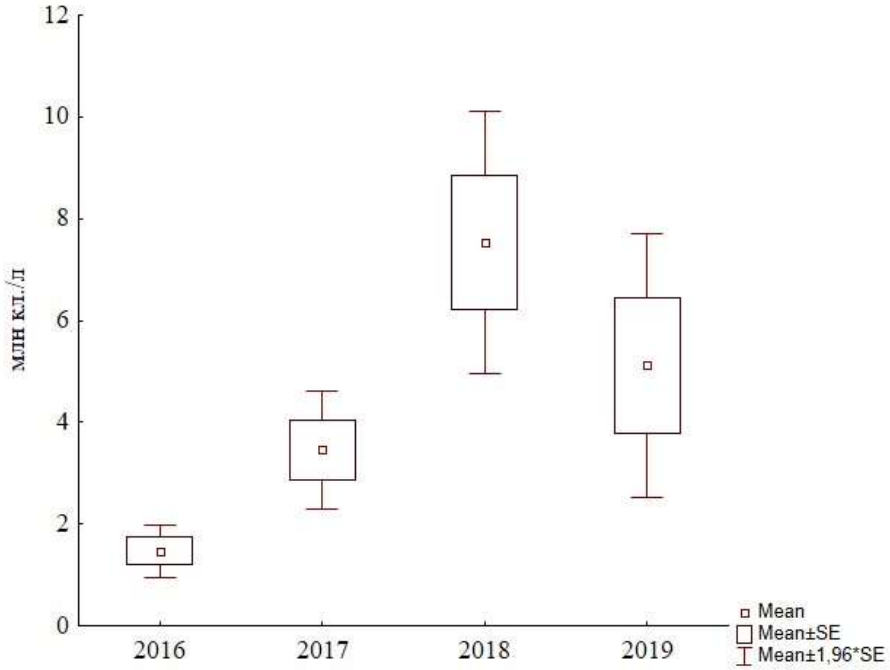

Рис. 4.1.14. Средняя численность фитопланктона Приплотинного плеса весной.

В 2016 г. основу численности формировали диатомовые и криптофитовые водоросли, в 2017 г. – криптофитовые и зеленые, в 2018 г. – зеленые и диатомовые, в 2019 г. – зеленые (табл. 4.1.18). В 2016 г. в состав доминирующих видов входили *Cyclotella* sp. (36,3%), *Komma caudata* (18,3%), *Aphanocapsa incerta* (14,2%), в 2017 г. – *Komma caudata* (37,6%), *Monoraphidium contortum* (22,7%), *Rhodomonas lens* (10,6%), в 2018 г. – не определенные до вида представители сем. Volvocaceae (44,9%), *Cyclotella* sp. (35,2%), в 2019 г. – *Monoraphidium contortum* (68,9%).

В 2019 г. отмечено минимальное значение индекса Шеннона, рассчитанного по численности, в 2016 г. – максимальное, причем различие между ними было статистически значимым (табл. 4.1.18). Наибольшая численность миксотрофных организмов в составе ФП об-

наружена в 2017 г., их минимальная доля в общей численности – в 2018 и 2019 гг., а максимальная – в 2017 г. (табл. 4.1.19).

Таблица 4.1.19. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Приплотинного плеса весной

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,49	0,04	1,99*[c,d]	0,65	0,45	0,06	0,49	0,46	**4,6**	**0,037**
Доля в общей численности, %	33,9*[b-d]	3,2	55,1*[c,d]	8,6	6,1	0,7	8,2	4,6	**23,5**	**0,000**
Биомасса, мг/л	0,178	0,076	0,381	0,168	0,409	0,086	0,246	0,078	1,1	0,398
Доля в общей биомассе, %	66,8*[c]	7,9	78,1*[c]	4,7	13,6*[d]	3,4	52,5	8,6	**26,3**	**0,000**

Биомасса ФП в 2018 г. статистически значимо превышала величины в 2016, 2017 и 2019 гг. (p = 0,000) (рис. 4.1.15) за счет Bacillariophyta и Chlorophyta (табл. 4.1.18). Минимальная биомасса зеленых водорослей отмечена в 2016 г., криптофитовых – 2019 г.

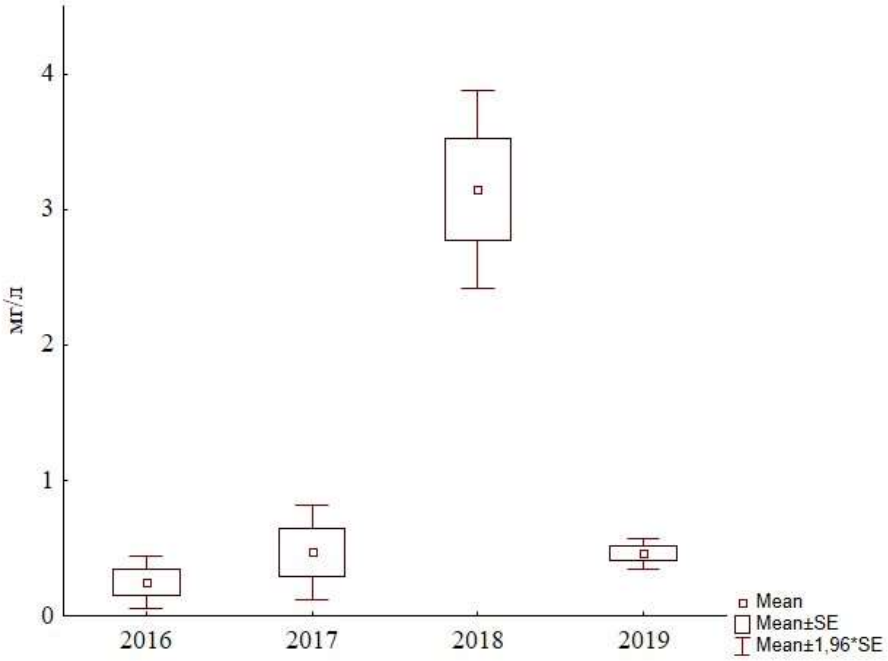

Рис. 4.1.15. Средняя биомасса фитопланктона Приплотинного плеса весной.

Основу биомассы в 2016 г. составляли криптофитовые и диатомовые водоросли, в 2017 г. – криптофитовые и динофитовые, в 2018 г. значительно возрастала доля зеленых на фоне сокращения доли криптофитовых, а в 2019 г. преобладали динофитовые и диатомовые (табл. 4.1.18). Среди доминирующих по биомассе видов в 2016 г. отмечены виды рода *Cryptomonas* (41,5%), 2017 г. – *Komma caudata* (15,2%), *Cryptomonas curvata* (12,4%), *Rhodomonas lens* (12%), *Ceratium hirundinella* (19,5%), 2018 г. – не определенные до вида представители сем. Volvocaceae (61,9%), 2019 г. – *Gymnodinium helveticum* (36,5%) и *Monoraphidium contortum* (10,8%).

Минимальная величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, зарегистрирована в 2018 г., максимальная – в 2017 г. (p = 0,042) (табл. 4.1.18). Средняя индивидуальная масса организмов ФП в 2018 г. статистически значимо превышала значения, отмеченные в 2016, 2017 и 2019 гг. (табл. 4.1.18). В 2018 г. также обнаружена максимальная биомасса миксотрофных таксонов, хотя статистически подтвержденные различия отсутствовали (табл. 4.1.19).

По значениям индекса сапробности воды плеса ежегодно характеризовались β-мезосапробными условиями (табл. 4.1.18). Однако гидрохимические параметры свидетельствовали о том, что β-мезосапробные условия по $БПК_5$ и $N\text{-}NH_4$ отмечены в 2016 г., а также в 2017 и 2018 гг. по концентрации $P\text{-}PO_4$ (ГОСТ 17.1.2.04–77). Одновременно по величине ПО и $N\text{-}NO_3$ воды плеса ежегодно характеризовались ксеносапобными условиями, по $N\text{-}NO_2$ – олигосапробными 2016 и 2019 гг., ксеносапробными 2017 и 2018 гг., по $N\text{-}NH_4$ – ксено- (2017 и 2019 гг.) и олигоспробными (2018 г.).

По шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976) трофический статус плеса по биомассе ФП в 2016, 2017 и 2019 гг. характеризовался как α-мезотрофный, в 2018 г. – β-мезотрофный; по шкале С.П. Китаева в 2016, 2017 и 2019 гг. – ультраолиготрофный, 2018 г. – β-мезотрофный.

Коэффициенты корреляции указывают на отрицательную связь с объемом сброса УВБ (r = -0,62), числа видов диатомовых (r = -0,69), численности и биомассы диатомовых (r = -0,60 и -0,66) и зеленых (r = -0,67 и -0,60) водорослей, а также биомассы ФП (r = -0,58). Кроме этого, общая биомасса ФП положительно коррелировала с $P\text{-}PO_4$ (r = 0,76), как и численность и биомасса диатомовых (r = 0,67), биомасса зеленых (r = 0,74) и криптофитовых (r = 0,69) водорослей. Индекс Шеннона, рассчитанный по численности, был положительно связан с объемом притока (r = 0,73) и уровнем воды (r = 0,63), а с количеством атмосферных осадков – численность (r = 0,68) и биомасса (r = 0,93) миксотрофных организмов в составе ФП.

Резюме

Полученные результаты указывают, что ФП плеса весной характеризовался рядом межгодовых изменений. Максимальные УВБ, численность и биомасса сообщества, численность и биомасса Bacillariophyta, доля Chlorophyta в общей биомассе, СИМ, а также минимальные индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, индекс сапробности, доля миксотро-

фов в общей численности и биомассе зарегистрированы в 2018 г. Большая часть параметров водохранилища в этот год характеризовалась средними значениями, лишь объем сброса был минимальным. Кроме того, в 2018 г. вода плеса характеризовалась наибольшими величинами ХПК, $P\text{-}PO_4$ и Si. При максимальном объеме притока и наибольшей температуре воздуха, а также относительно высоком уровне воды и количестве атмосферных осадков и в условиях наибольших pH и прозрачности воды, значений ПО, $N\text{-}NH_4$, высокой концентрации $N\text{-}NO_2$, низком содержании $P\text{-}PO_4$ и Si в 2016 г. ФП характеризовался минимальными УВБ, суммарными численностью и биомассой, численностью и биомассой Chlorophyta, и их долей в общей численности, биомассой Dinophyta, максимальной долей в общей биомассе Bacillariophyta и Cyanophyta, индексом Шеннона, рассчитанного по численности. Близкие к минимальным УВБ, численность и биомасса ФП, число видов Bacillariophyta и Chlorophyta, биомасса Bacillariophyta, высокая доля Cryptophyta в общей численности и биомассе обнаружены в 2017 г., когда также зарегистрирована максимальная доля Cyanophyta в общей биомассе, индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, численность миксотрофов и их доля в общей биомассе. Как мы указывали ранее, весной 2017 г. отмечены наибольшие количество атмосферных осадков, уровень воды и объем сброса, а воды плеса характеризовались максимальной цветностью, величинами $БПК_5$, $N\text{-}NO_3$, Fe, минимальной pH. При наименьших количестве атмосферных осадков, уровне воды и объеме притока в 2019 г., а также наибольшей температуре воды, высокой концентрации $N\text{-}NO_2$, низкой – $P\text{-}PO_4$, УВБ и численность ФП были выше, чем в 2016 и 2017 гг., сообщество отличалось минимальной численностью Cyanophyta, их долей в общей численности и биомассе, долей Chlorophyta и миксотрофов в общей численности, долей Dinophyta в общей биомассе, минимальным индексом Шеннона, рассчитанным по численности, и СИМ.

В целом необходимо отметить, что большинство показателей ФП свидетельствуют о формировании наиболее высокого трофического статуса вод плеса при наименьшем объеме сброса в 2018 г., а низкий трофический уровень наблюдался в условиях большого объема сброса и высокого уровня воды в 2017 и 2016 гг.

Распределение фитопланктонных сообществ по продольному профилю акватории

По продольному профилю исследованной акватории в среднем за исследованный период наблюдалось постепенное снижение температуры воды (табл. 4.1.20). Прозрачность воды, напротив, по продольному профилю возрастала, максимальные значения отмечены в двух нижних плесах. Максимальным содержанием $N\text{-}NO_3$ и $P\text{-}PO_4$ характеризовался незарегулированный участок реки, а наибольшие значения цветности воды, ПО, ХПК, концентрации $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, Si и Fe наблюдались в р. Урал и двух верхних плесах.

Обозначенные изменения физико-химических параметров воды в основном были характерны для каждого из исследованных весенних сезонов, хотя отмечались и некоторые различия (табл. 4.1.21). Так, в 2017 г. температура воды в ЧП статистически значимо превышала значения в реке и в плесах, расположенных ниже, а в ТСП она была минимальной. Ежегодно наблюдалось снижение ПО воды от реки к ПП, однако в 2018 г. значение ПО в ЧП оказалось выше, чем в реке. В 2016 г. концентрация $N\text{-}NH_4$ не имела статистически значимых различий на всем протяжении исследованного участка, а в 2017 г. она не различалась в реке, ЧП и СП. В 2017 г. в этих плесах обнаружены максимальные величины $N\text{-}NO_2$, а в 2019 г. минимальное значение отмечено в реке. В 2018 г. наибольшая концентрация Si, а в 2017 и 2018 гг. – Fe, зафиксированы в двух верхних из исследованных плесах водохранилища.

В среднем за четыре года наибольшее удельное видовое богатство ФП обнаружено в р. Урал и ЧП водохранилища, а ниже по течению оно было статистически значимо меньше, за исключением разницы между ТСП и ПП (рис. 4.1.16*а*). При этом в реке и ЧП выше было число видов диатомовых, зеленых и эвгленовых водорослей, а ЧП также отличался максимальным удельным видовым богатством цианобактерий и желтозеленых водорослей.

Особенности распределения удельного видового богатства ФП по продольному профилю исследованной акватории в разные годы свидетельствуют о значительном влиянии гидрологического режима и метеорологических условий. Так, при максимальном объеме притока и наибольшей температуре воздуха в 2016 г. речные воды, богатые биогенными и органическими веществами, в том числе азотсодержащими, проникали максимально далеко в водохранилище, благодаря чему статистически значимых различий удельного видового богатства от участка р. Урал до СП не обнаружено (рис. 4.1.16*б*). Лишь в ПП наблюдалось значимое снижение удельного видового богатства ФП относительно других участков за счет диатомовых и зеленых водорослей.

Таблица 4.1.20. Средние (*m*±*SD*) за период изучения физико-химические параметры воды по продольному профилю исследованного участка р. Урал и плесов водохранилища весной

Показатель	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F**	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	14,2*[c-e]	0,9	14,4*[c-e]	1,3	12,3*[d]	1,0	10,5	1,9	11,3	1,1	**23,4**	**0,000**
Прозрачность, м	0,5*[e]	0,2	1,1*[d,e]	0,1	1,5*[d,e]	0,2	2,2	0,7	2,1	0,5	**44,6**	**0,000**
Цветность, град	25,1*[d,e]	3,0	30,2*[d,e]	9,2	27,9*[d,e]	11,2	16,3	4,9	15,2	3,0	**11,8**	**0,000**
ПО, мгO_2/л	6,8*[d,e]	1,3	7,2*[d,e]	1,3	6,7*[d,e]	1,2	5,4	1,1	4,8	0,6	**9,9**	**0,000**
ХПК, мгO_2/л	40,3*[b-e]	4,1	31,3*[c-e]	4,3	26,7	2,3	28,0	2,7	28,2	2,2	**40,4**	**0,000**
БПК$_5$, мгO_2/л	2,4	0,7	3,3	0,9	2,9	2,0	3,3	0,6	2,7	0,9	1,3	0,270
N-NH_4, мг/л	0,195*[e]	0,089	0,177*[e]	0,060	0,174*[e]	0,079	0,160*[e]	0,122	0,072	0,046	**4,2**	**0,004**
N-NO_2, мг/л	0,013*[d,e]	0,003	0,013*[d,e]	0,008	0,013*[d,e]	0,008	0,003	0,002	0,001	0,001	**16,1**	**0,000**
N-NO_3, мг/л	1,060*[b-e]	0,339	0,292*[d,e]	0,141	0,412*[d,e]	0,273	0,093	0,084	0,099	0,122	**45,3**	**0,000**
P-PO_4, мг/л	0,093*[b-e]	0,036	0,048	0,023	0,055	0,038	0,036	0,016	0,034	0,019	**10,2**	**0,000**
Si, мг/л	2,825*[d,e]	0,959	2,500*[d]	0,907	2,767*[d,e]	1,002	1,825	0,209	1,883	0,531	**4,6**	**0,003**
Fe, мг/л	0,205*[d,e]	0,048	0,222*[d,e]	0,064	0,216*[d,e]	0,045	0,138*[e]	0,055	0,093	0,033	**15,8**	**0,000**

Примечание. Здесь и далее: I – р. Урал, II – Чапаевский плес, III – Софинский плес, IV – Таналык-Суундукский плес, V – Приплотинный плес; «–» – отсутствие данных.

Таблица 4.6.21. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды по продольному профилю исследованного участка р. Урал и плесов водохранилища весной в 2016–2019 гг.

Показатель	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	2016	13,1*[d,e]	0,1	13,1*[d,e]	0,1	12,6*[d,e]	0,2	9,7	0,9	10,7	1,0	**20,7**	**0,000**
	2017	14,8*[b-e]	0,3	16,3*[c-e]	0,3	12,5*[d,e]	0,4	8,4*[e]	0,7	10,9	0,3	**179,4**	**0,000**
	2018	15,1*[c-e]	0,2	13,5*[d,e]	0,5	12,6*[d,e]	1,9	11,4*[e]	0,7	10,8	1,1	**9,9**	**0,001**
	2019	13,8*[c]	0,6	14,6*[c-e]	0,3	11,4	0,6	12,4	2,1	12,7	0,5	**4,7**	**0,019**
Прозрачность, м	2016	0,4*[b-e]	0,1	1,1*[d,e]	0,1	1,4*[d,e]	0,1	2,5	0,9	2,7	0,2	**20,2**	**0,000**
	2017	0,5*[b-e]	0,1	1,3*[d]	0,1	1,3*[d]	0,2	2,1	0,7	1,6	0,1	**11,4**	**0,001**
	2018	0,6*[b-e]	0,2	1,1*[c-e]	0,1	1,6*[d]	0,1	2,2	0,5	1,8	0,1	**23,0**	**0,000**
	2019	0,6*[c-e]	0,2	1,1*[d,e]	0,2	1,7	0,2	1,8	0,8	2,1	0,2	**9,0**	**0,002**
Цветность, град	2016	25,8*[c-e]	0,0	27,0*[d,e]	0,8	27,9*[d,e]	0,8	14,4	1,6	13,2	1,5	**146,6**	**0,000**
	2017	29,6*[b-e]	0,0	41,6*[d,e]	6,0	43,4*[d,e]	1,1	22,9	5,7	18,7	3,5	**24,4**	**0,000**
	2018	23,0*[b-e]	0,0	33,0*[c-e]	3,8	26,8*[d,e]	0,9	15,7	0,4	16,0	0,7	**57,2**	**0,000**
	2019	22,0*[b-e]	0,0	19,0*[c-e]	1,0	13,3	1,2	12,3	0,6	13,0	1,0	**96,8**	**0,000**
ПО, мгO_2/л	2016	7,8*[b-e]	0,0	7,4*[d,e]	0,3	7,2*[d,e]	0,0	5,9	0,0	5,4	0,2	**127,1**	**0,000**
	2017	8,2*[d,e]	0,0	8,4*[d,e]	0,2	8,2*[d,e]	0,0	6,1*[e]	1,8	4,5	0,4	**13,9**	**0,000**
	2018	5,9*[b,d,e]	0,0	7,6*[c-e]	0,5	5,9*[d,e]	0,3	4,4	0,5	5,0	0,4	**33,1**	**0,000**
	2019	5,3*[e]	0,0	5,2*[e]	0,2	5,3*[e]	0,0	5,2*[e]	0,2	4,4	0,8	**3,7**	**0,038**

Показатель	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
N-NH_4, мг/л	2016	0,260	0,000	0,223	0,076	0,287	0,021	0,253	0,214	0,143	0,029	1,0	0,463
	2017	0,120*[d,e]	0,000	0,190*[d,e]	0,010	0,187*[d,e]	0,012	0,107*[e]	0,032	0,050	0,010	**41,9**	**0,000**
	2018	0,300*[b-e]	0,000	0,193*[e]	0,031	0,143*[e]	0,015	0,190*[e]	0,092	0,053	0,012	**15,6**	**0,000**
	2019	0,100	0,000	0,100	0,000	0,080	0,000	0,090	0,000	0,040	0,000	–	–
N-NO_2, мг/л	2016	0,017*[b,c,e]	0,000	0,014*[d,e]	0,005	0,018*[d,e]	0,006	0,004	0,001	0,002	0,001	**18,8**	**0,000**
	2017	0,010*[b-e]	0,000	0,023*[d,e]	0,003	0,023*[d,e]	0,000	0,005*[e]	0,003	0,001	0,001	**100,8**	**0,000**
	2018	0,015*[b-e]	0,000	0,012*[c-e]	0,001	0,009*[d,e]	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	**222,1**	**0,000**
	2019	0,010	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	–	–
N-NO_3, мг/л	2016	0,820*[b-e]	0,000	0,343*[d,e]	0,067	0,393*[d,e]	0,045	0,103	0,021	0,060	0,052	**188,4**	**0,000**
	2017	1,450*[b-e]	0,000	0,443*[c,d]	0,087	0,753*[d,e]	0,025	0,159	0,162	0,277	0,118	**109,0**	**0,000**
	2018	1,310*[b-e]	0,000	0,280*[c-e]	0,056	0,460*[d,e]	0,149	0,060*[e]	0,036	0,011	0,017	**207,3**	**0,000**
	2019	0,660	0,000	0,100	0,000	0,040	0,000	0,050	0,000	0,050	0,000	–	–
P-PO_4, мг/л	2016	0,035*[e]	0,000	0,036*[e]	0,001	0,034*[e]	0,005	0,039*[e]	0,005	0,021	0,009	**6,2**	**0,007**
	2017	0,110*[b-e]	0,000	0,064*[d,e]	0,011	0,077*[d,e]	0,004	0,041	0,004	0,043	0,012	**53,5**	**0,000**
	2018	0,127*[b-e]	0,000	0,073*[c,d]	0,010	0,101*[d,e]	0,016	0,052	0,011	0,057	0,006	**38,8**	**0,000**
	2019	0,100	0,000	0,019	0,000	0,010	0,000	0,013	0,000	0,016	0,000	–	–
Si, мг/л	2016	3,700*[b,d,e]	0,000	2,900*[c-e]	0,265	3,467*[d,e]	0,153	1,633*[e]	0,153	1,133	0,058	**190,2**	**0,000**
	2017	3,600*[b,d,e]	0,000	3,267*[c-e]	0,252	3,600*[d,e]	0,173	1,767	0,208	1,800	0,100	**105,8**	**0,000**
	2018	1,400*[b-e]	0,000	2,733*[d]	0,493	2,800*[d]	0,100	2,100	0,000	2,500	0,200	**22,3**	**0,000**
	2019	2,600	0,000	1,100	0,000	1,200	0,000	1,800	0,000	2,100	0,000	–	–
Fe, мг/л	2016	0,260*[d,e]	0,000	0,267*[d,e]	0,035	0,253*[e]	0,035	0,207*[e]	0,038	0,090	0,017	**22,1**	**0,000**
	2017	0,150*[b,c]	0,000	0,260*[c-e]	0,050	0,207*[d,e]	0,023	0,153	0,025	0,133	0,015	**11,8**	**0,001**
	2018	0,170*[b-e]	0,000	0,230*[d,e]	0,030	0,233*[d,e]	0,061	0,073	0,025	0,057	0,032	**18,6**	**0,000**
	2019	0,240	0,000	0,130	0,000	0,170	0,000	0,120	0,000	0,090	0,000	–	–

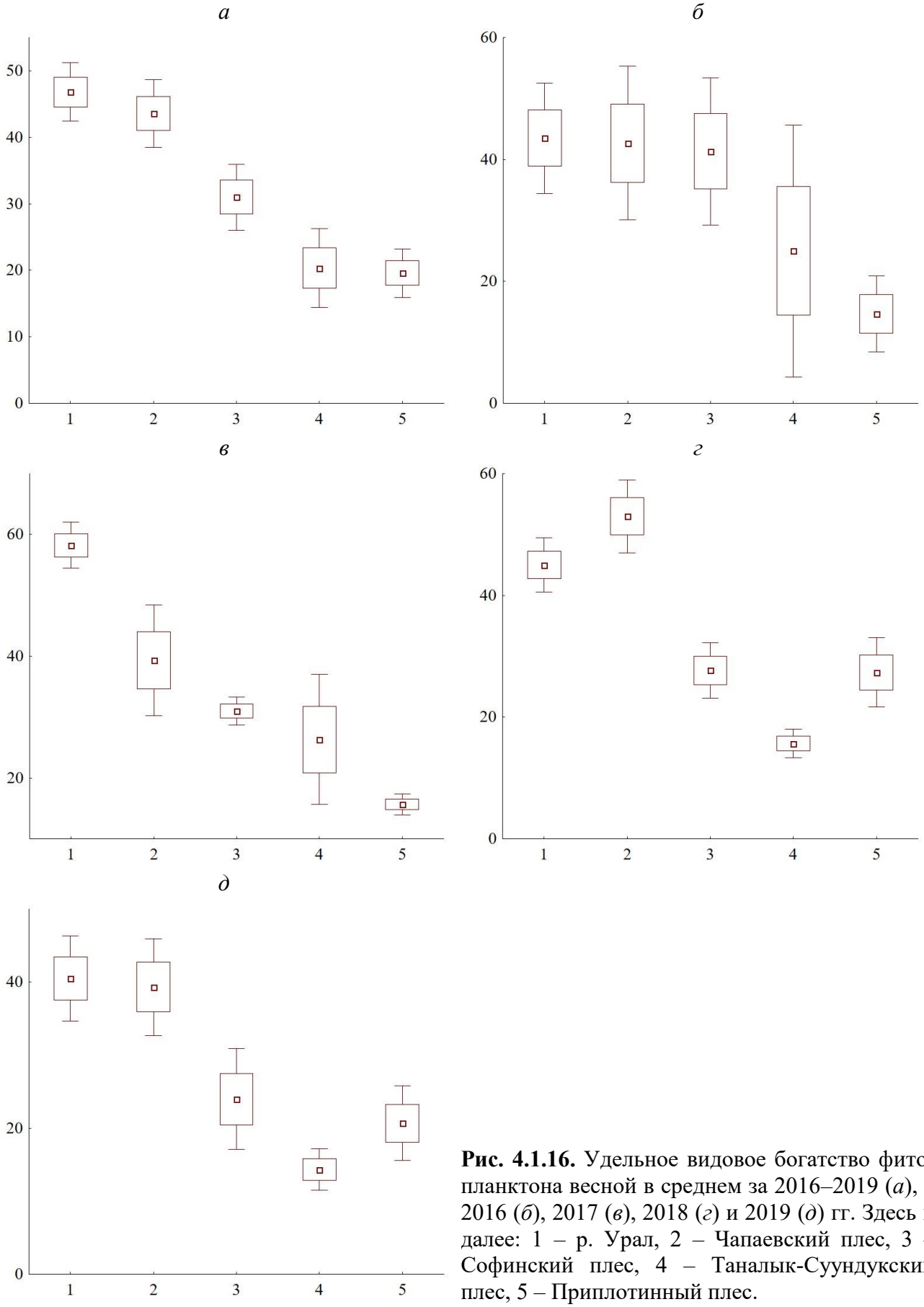

Рис. 4.1.16. Удельное видовое богатство фитопланктона весной в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг. Здесь и далее: 1 – р. Урал, 2 – Чапаевский плес, 3 – Софинский плес, 4 – Таналык-Суундукский плес, 5 – Приплотинный плес.

В условиях максимального количества атмосферных осадков в 2017 г. наибольшее удельное видовое богатство ФП обнаружено на незарегулированном участке р. Урал (рис. 4.1.16*в*), что связано с большим количеством питательных веществ, поступающих с водосбора, а также, по всей видимости, с богатством водорослей, попадающих в реку из притоков и пойменных водоемов. Кроме того, в 2017 г. отмечен наибольший уровень водохранилища, при котором зона выклинивания подпора речных вод располагалась максимально высоко, в результате чего значительная часть питательных веществ и приносимый рекой ФП аккумулировались в верхних участках водохранилища. В результате, среди его исследованных плесов наибольшим удельным видовым богатством отличался ЧП, но следует предположить, что максимальные величины могли наблюдаться на самом верхнем плесе водохранилища, который, к сожалению, не обследовался. Наименьшее удельное видовое богатство ФП отмечено в двух нижних плесах за счет сокращения числа видов диатомовых и зеленых водорослей. Нужно отметить, что в ЧП не отмечено представителей желтозеленых водорослей, но обнаружено максимальное число видов эвгленовых.

В 2018 г. наибольшая аккумуляция питательных веществ и приносимого рекой ФП на фоне более низкого, чем в 2016 и 2017 гг., уровня воды происходила в ЧП, благодаря чему здесь отмечено наибольшее удельное видовое богатство ФП (рис. 4.1.16*д*) за счет зеленых, цианобактерий и эвгленовых. В незарегулированном участке реки зарегистрировано максимальное число видов диатомовых.

При минимальном количестве атмосферных осадков, температуре воздуха, уровне воды, объемах притока и сброса в 2019 г. наибольшее удельное видовое богатство отмечено в р. Урал и ЧП, между ФП остальных плесов статистически значимых различий не отмечено (рис. 4.1.16*д*). В реке зарегистрировано максимальное число видов диатомовых и зеленых, в ЧП и СП – цианобактерий и эвгленовых.

В среднем за время наблюдений наибольшей численностью, статистически значимо превышающей значения в плесах водохранилища, отличался ФП р. Урал (рис. 4.1.17*а*) за счет зеленых и золотистых водорослей (табл. 4.1.22). В водохранилище максимальная численность ФП за счет цианобактерий, диатомовых, эвгленовых и стрептофитовых водорослей обнаружена в ЧП. В реке основу численности ФП составляли зеленые водоросли, в водохра-

нилище возрастала доля цианобактерий, в СП, ТСП и ПП – криптофитовых, в ЧП – диатомовых (рис. 4.1.18*а*).

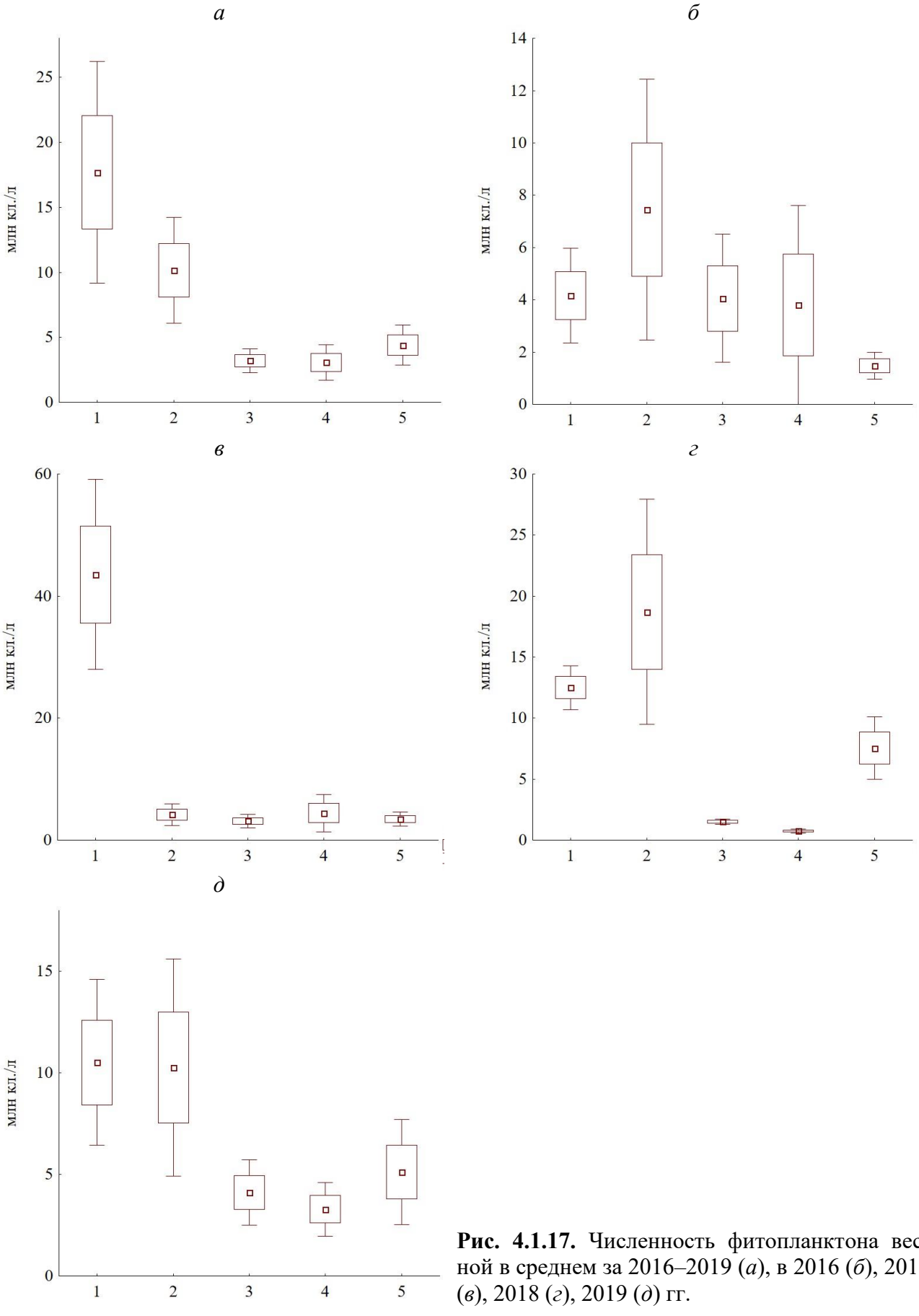

Рис. 4.1.17. Численность фитопланктона весной в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*), 2019 (*д*) гг.

Таблица 4.1.22. Численность таксономических групп ФП по продольному профилю исследованного участка

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Bacillariophyta	Средняя	3,83*[c-e]	2,21	5,86*[c-e]	6,34	0,91	1,31	0,41	0,51	1,06	1,27	**7,2**	**0,000**
	2016	1,29*[d,e]	0,86	4,50*[e]	3,07	2,23*[e]	2,31	0,65	0,56	0,61	0,10	2,7	0,087
	2017	4,43*[c-e]	2,44	2,24	0,54	0,86	0,28	0,82	0,68	0,25	0,04	**5,7**	**0,010**
	2018	4,12*[b]	0,23	14,25*[c-e]	8,08	0,41	0,25	0,14	0,01	2,92	1,31	**8,2**	**0,003**
	2019	5,50*[b-e]	2,17	2,45*[c,d]	0,92	0,14	0,21	0,05	0,02	0,44	0,37	**13,4**	**0,000**
Cyanobacteria	Средняя	0,08*[b]	0,17	1,59*[c-e]	2,28	0,24	0,32	0,09	0,10	0,15	0,21	**5,2**	**0,001**
	2016	0,15*[c-e]	0,25	0,06	0,05	0,04	0,06	0,02	0,03	0,24	0,26	0,9	0,509
	2017	0,16*[b]	0,22	0,95*[c-e]	0,66	0,25	0,44	0,04	0,07	0,22	0,34	2,6	0,093
	2018	0,00*[b]	0,00	1,44*[c-e]	0,51	0,04	0,08	0,09	0,09	0,13	0,12	**22,1**	**0,000**
	2019	0,00*[b]	0,00	3,93*[c-e]	3,95	0,63	0,14	0,22	0,10	0,02	0,03	3,1	0,063
Chlorophyta	Средняя	12,88*[b-e]	16,09	1,98	1,45	1,17	0,49	1,39	1,06	2,34	2,02	**5,6**	**0,001**
	2016	2,23*[e]	1,13	2,03*[d,e]	1,10	1,25*[e]	0,21	1,71	1,70	0,14	0,07	2,0	0,162
	2017	37,77*[b-e]	12,97	0,92	0,38	1,37	0,42	1,46	0,91	0,99	0,06	**21,8**	**0,000**
	2018	7,19*[b-e]	1,63	2,44*[c,d]	0,51	0,69*[e]	0,09	0,38*[e]	0,05	4,05	0,93	**29,4**	**0,000**
	2019	4,33*[c]	2,02	2,51	2,74	1,37	0,79	2,01	0,51	4,17	1,46	1,9	0,184
Cryptophyta	Средняя	0,70	0,51	0,58	0,64	0,85	0,78	1,12	1,17	0,84	0,86	0,8	0,546
	2016	0,27	0,21	0,83	0,27	0,49	0,41	1,32	1,14	0,48	0,07	1,9	0,187
	2017	0,84*[d,e]	0,23	0,00	0,00	0,60	0,36	2,03	1,73	1,98	1,12	2,9	0,070
	2018	1,15*[b-d]	0,78	0,32	0,30	0,35	0,16	0,12	0,06	0,44	0,11	3,0	0,067
	2019	0,55*[c]	0,16	1,16	0,95	1,95	0,73	1,00	0,59	0,48	0,45	3,0	0,067
Dinophyta	Средняя	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,01	0,01	0,7	0,606
	2016	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,4	0,778
	2017	0,05	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,08	0,10	0,01	0,01	1,2	0,348
	2018	0,00*[b]	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	1,5	0,257
	2019	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,2	0,364
Euglenophyta	Средняя	0,09*[c-e]	0,14	0,12*[c-e]	0,13	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	**4,8**	**0,002**
	2016	0,02	0,02	0,02	0,00	0,03*[d,e]	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	3,3	0,052
	2017	0,29*[b-e]	0,17	0,08	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	**7,0**	**0,005**
	2018	0,04*[b]	0,03	0,23*[c-e]	0,07	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	**26,0**	**0,000**
	2019	0,01	0,02	0,16	0,23	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,5	0,257
Streptophyta	Средняя	0,00	0,01	0,01*[c-e]	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**4,1**	**0,005**
	2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,9	0,482
	2017	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,2	0,142
	2018	0,00*[b]	0,00	0,01*[c-e]	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**6,5**	**0,006**

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
	2019	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,6	0,685
Chrysophyta	Средняя	0,08*[b-e]	0,11	0,01	0,02	0,00	0,01	0,03	0,06	0,00	0,00	**4,3**	**0,004**
	2016	0,20*[b,d,e]	0,07	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	0,10	0,00	0,00	**9,3**	**0,002**
	2017	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,5	0,749
	2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	2019	0,12	0,14	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,8	0,208
Xanthophyta	Средняя	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,6	0,192
	2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1	0,397
	2018	0,00*[b]	0,00	0,01*[c-e]	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**4,4**	**0,022**
	2019	0,00*[b]	0,00	0,01*[c-e]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**33,6**	**0,000**

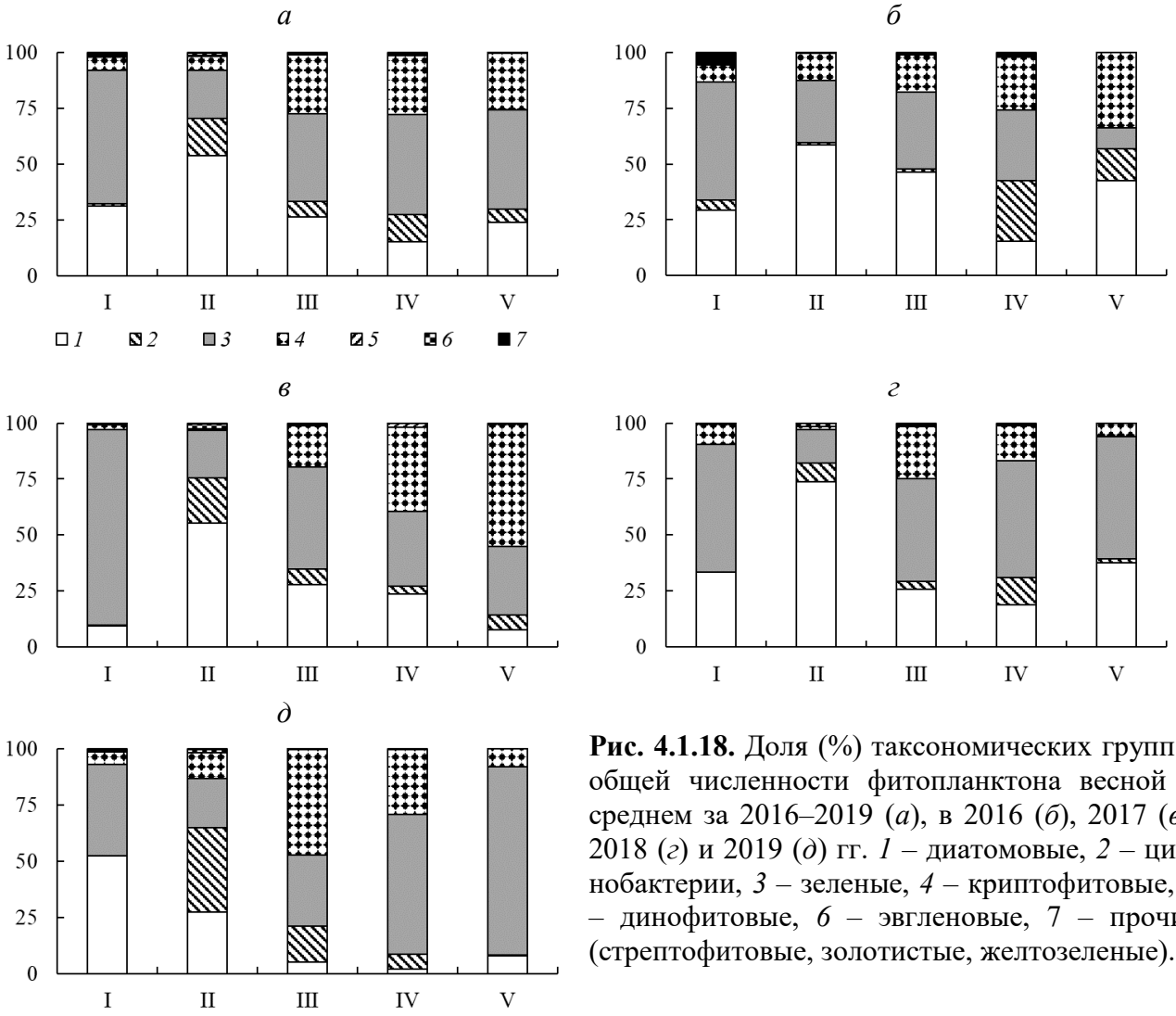

Рис. 4.1.18. Доля (%) таксономических групп в общей численности фитопланктона весной в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг. *1* – диатомовые, *2* – цианобактерии, *3* – зеленые, *4* – криптофитовые, *5* – динофитовые, *6* – эвгленовые, 7 – прочие (стрептофитовые, золотистые, желтозеленые).

В среднем за время изучения в реке по численности доминировал *Tetrastrum staurogeniaeforme*, в ЧП основу доминантов составляли диатомовые водоросли *Cyclotella* sp. и *Stephanodiscus hantzschii*, в СП – криптофитовые *Komma caudata* и зеленые *Tetrastrum staurogeniaeforme*, в ТСП – из зеленых *Monoraphidium contortum*, из криптофитовых *Komma caudata*, *Rhodomonas lens*, а в ПП доминировали представители диатомовых *Cyclotella* sp., зеленых *Monoraphidium contortum*, не определенные до вида представители сем. Volvocaceae и криптофитовых водорослей *Komma caudata*.

В 2016 г. статистически значимые различия численности ФП отмечены лишь между ЧП и ПП (p = 0,021) (рис. 4.1.17*б*). При этом ФП реки, ЧП и СП отличался максимальной плотностью диатомовых и зеленых водорослей, а в р. Урал отмечена наибольшая численность золотистых (табл. 4.1.22). Основу численности в реке составляли зеленые водоросли, доля которых постепенно сокращалась по продольному профилю водохранилища, в ЧП от-

мечена максимальная доля диатомовых, минимальное обилие которых зарегистрировано в ТСП, где обнаружена максимальная доля цианобактерий (рис. 4.1.18*б*). По продольному профилю водохранилища возрастала доля криптофитовых водорослей. В реке доминировали представители зеленых водорослей *Tetrastrum staurogeniaeforme* и *Monoraphidium contortum*, в ЧП – диатомовые и криптофитовые *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella* sp. и *Komma caudata*, в СП – *Tetrastrum staurogeniaeforme*, в ТСП – зеленые *Monoraphidium contortum* и криптофитовые *Komma caudata*, *Rhodomonas lens*, в ПП – диатомовые *Cyclotella* sp., цианобактерии *Aphanocapsa incerta* и криптофитовые *Komma caudata*.

Наибольшее сходство преобладающих по численности видов ФП обнаружено между ТСП и ПП, наименьшее – между СП и ТСП (табл. 4.1.23). Минимальным средним уровнем сходства со всеми участками характеризовалось сообщество СП, максимальным – ТСП.

Таблица 4.1.23. Индексы сходства доминирующих и субдоминирующих по численности видов фитопланктона участков исследованной акватории весной

Участок	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
2016 г.					
ЧП	17,7	–	–	–	–
СП	24,2	15,9	–	–	–
ТСП	27,9	29,0	15,7	–	–
ПП	17,0	25,7	6,6	36,8	–
Среднее	21,7	22,1	15,6	27,4	21,5
2017 г.					
ЧП	9,3	–	–	–	–
СП	23,8	28,2	–	–	–
ТСП	0	8,1	17,1	–	–
ПП	0	6,4	16,6	34,8	–
Среднее	8,3	13,0	21,4	15,0	14,5
2018 г.					
ЧП	16,0	–	–	–	–
СП	18,2	19,6	–	–	–
ТСП	14,8	6,1	26,2	–	–
ПП	6,4	35,2	25,5	40,9	–
Среднее	13,9	19,2	22,4	22,0	27,0
2019 г.					
ЧП	18,5	–	–	–	–
СП	8,2	10,7	–	–	–
ТСП	8,2	10,7	41,7	–	–
ПП	14,5	13,8	25,6	63,2	–
Среднее	12,4	13,4	21,6	31,0	29,3

В 2017 г. статистически значимых различий численности ФП между плесами водохранилища не зарегистрировано, а в реке она была выше (рис. 4.1.17*в*) за счет зеленых, диатомовых и эвгленовых водорослей (табл. 4.1.22). В ЧП обнаружена максимальная численность цианобактерий, а вниз по продольному профилю водохранилища возрастала плотность криптофитовых. Основу численности ФП в реке составляли зеленые водоросли, в ЧП наблю-

далась наибольшая доля диатомовых и цианобактерий, вниз по продольному профилю водохранилища возрастала доля криптофитовых водорослей (рис. 4.1.18*в*). В 2017 г. в реке наибольшего развития достигал *Tetrastrum staurogeniaeforme*, в ЧП и СП – *Stephanodiscus hantzschii*, в ЧП – *Aphanizomenon flosaquae*, в СП – *Tetrastrum staurogeniaeforme* и *Komma caudata*, в ТСП и ПП – *Monoraphidium contortum*, *Komma caudata*, *Rhodomonas lens*, в ТСП – *Chlamydomonas* sp.3. Максимальное сходство доминирующих и субдоминирующих видов обнаружено между сообществами ТСП и ПП, а между сообществами реки и ТСП, реки и ПП общие виды отсутствовали (табл. 4.1.23). Наименьший средний уровень сходства со всеми участками был характерен для ФП реки, наибольший – СП.

В 2018 г. максимальная численность ФП зарегистрирована в ЧП и в р. Урал, минимальная – в СП и ТСП (рис. 4.1.17*г*). В ЧП обнаружена наибольшая численность диатомовых, цианобактерий, эвгленовых, стрептофитовых и желтозеленых водорослей, в р. Урал – зеленых и криптофитовых, плотность которых снижалась вниз по продольному профилю водохранилища, но в ПП незначительно возрастала (табл. 4.1.22). Основу численности ФП в реке, СП, ТСП, ПП составляли зеленые водоросли, в ЧП плесе – диатомовые (рис. 4.1.18*г*). В реке доминировали *Monoraphidium minutum*, *Tetrastrum staurogeniaeforme*, в ЧП – исключительно диатомовые водоросли *Cyclotella* sp., *Stephanodiscus hantzschii*, в СП – диатомовые *Cyclotella* sp., зеленые *Coelastrum microporum* и криптофитовые *Rhodomonas* sp., в ТСП и ПП – не определенные до вида представители сем. Volvocaceae, а также *Pseudanabaena limnetica* (ТСП) и *Cyclotella* sp. (ПП). Максимальный уровень сходства ведущих видов ФП отмечен между ТСП и ПП, минимальный – между рекой и ПП, а также ЧП и ТСП (табл. 4.1.23). Наименьшим средним уровнем сходства со всеми участками характеризовалось сообщество реки, наибольшим – ПП.

В 2019 г. максимальная численность ФП также обнаружена в ЧП и р. Урал, минимальная – в СП и ТСП (рис. 4.1.17*д*). В реке и ЧП отмечена наибольшая численность диатомовых, в ЧП также зарегистрирована наибольшая численность цианобактерий, а в СП – криптофитовых (табл. 4.1.22). По продольному профилю исследованного участка снижалась доля диатомовых при минимальном значении в ТСП, а в водохранилище возрастала доля зеленых водорослей (рис. 4.1.18*д*). В ЧП была наибольшая доля цианобактерий, а в СП – криптофитовых водорослей. В реке доминировали только диатомовые водоросли *Cyclotella* sp. и *Stephanodiscus hantzschi*, в

ЧП – диатомовые *Cyclotella* sp., цианобактерии *Coelosphaerium kuetzingianum* и криптофитовые *Komma caudata*, в СП и ТСП – *K. caudata* и *Monoraphidium contortum*, последний вниз по течению увеличивал долю с 18,1 до 68,9% и в ПП он был единственным доминантом. Наибольшее сходство доминирующих и субдоминирующих видов наблюдалось между сообществами ТСП и ПП, наименьшее – между ФП реки и СП, реки и ТСП (табл. 4.1.23). Минимальный средний уровень сходства со всеми участками был характерен для ФП реки, максимальный – ТСП и ПП.

В среднем за время изучения максимальная величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности, обнаружена в СП, а также в ЧП и в реке, минимальная – в ПП (рис. 4.1.19*а*).

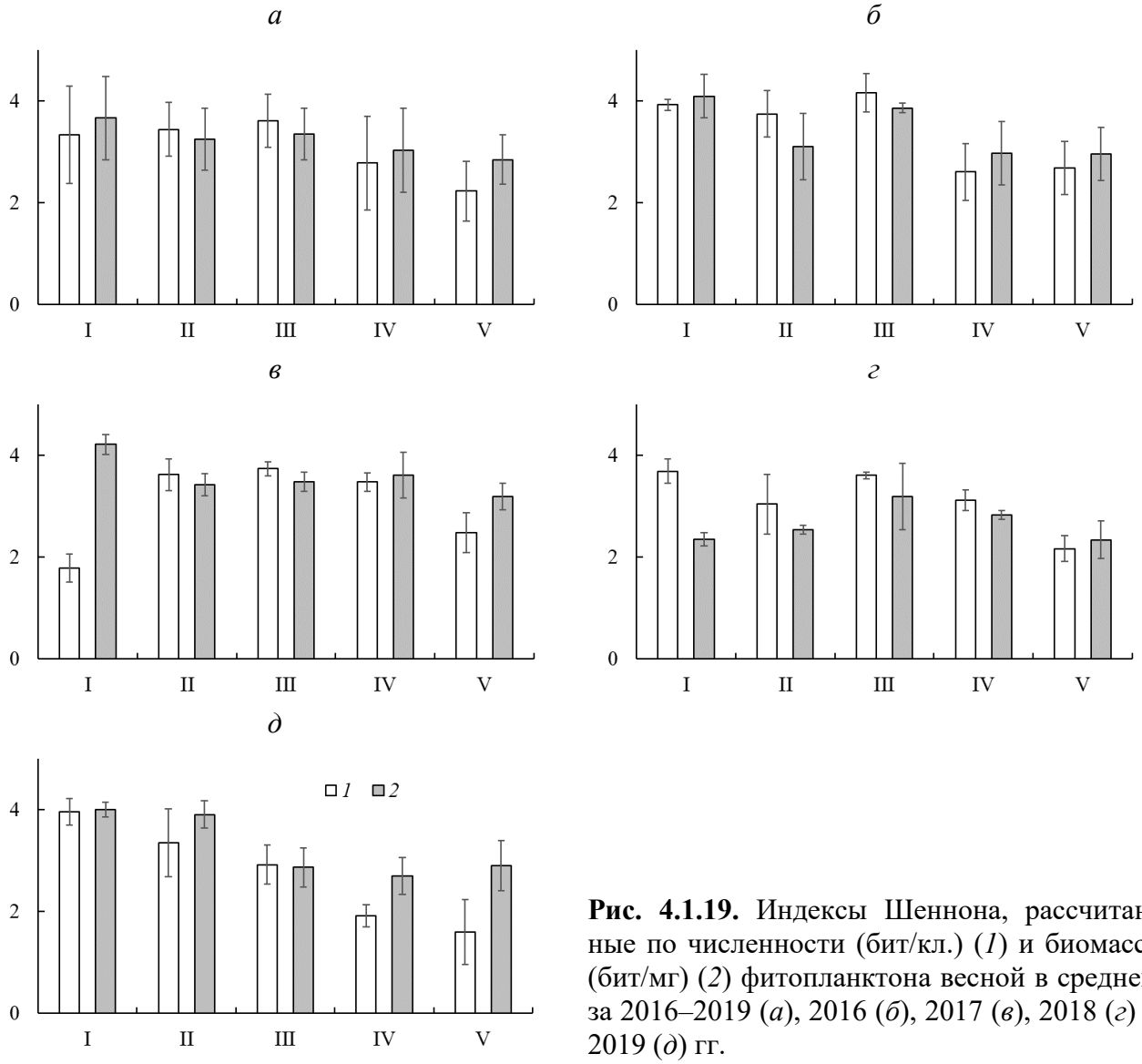

Рис. 4.1.19. Индексы Шеннона, рассчитанные по численности (бит/кл.) (*1*) и биомассе (бит/мг) (*2*) фитопланктона весной в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

Необходимо отметить, что ФП двух нижних плесов ежегодно отличался минимальными индексами Шеннона, рассчитанными по численности, лишь в 2017 г. наименьшее зна-

чение зарегистрировано в реке, а в 2018 г. – в ПП (рис. 4.1.19.*б–д*). Наибольшие значения практически ежегодно отмечались в СП и ЧП, однако в 2018 г. – в реке и СП, а в 2019 г. величины индекса постепенно снижались по продольному профилю исследованного участка.

По продольному профилю также изменялась численность миксотрофных организмов в составе ФП. Однако в среднем за исследованный период достоверные различия численности отсутствовали, хотя наибольшая величина отмечена в ТСП (рис. 4.1.20*а*).

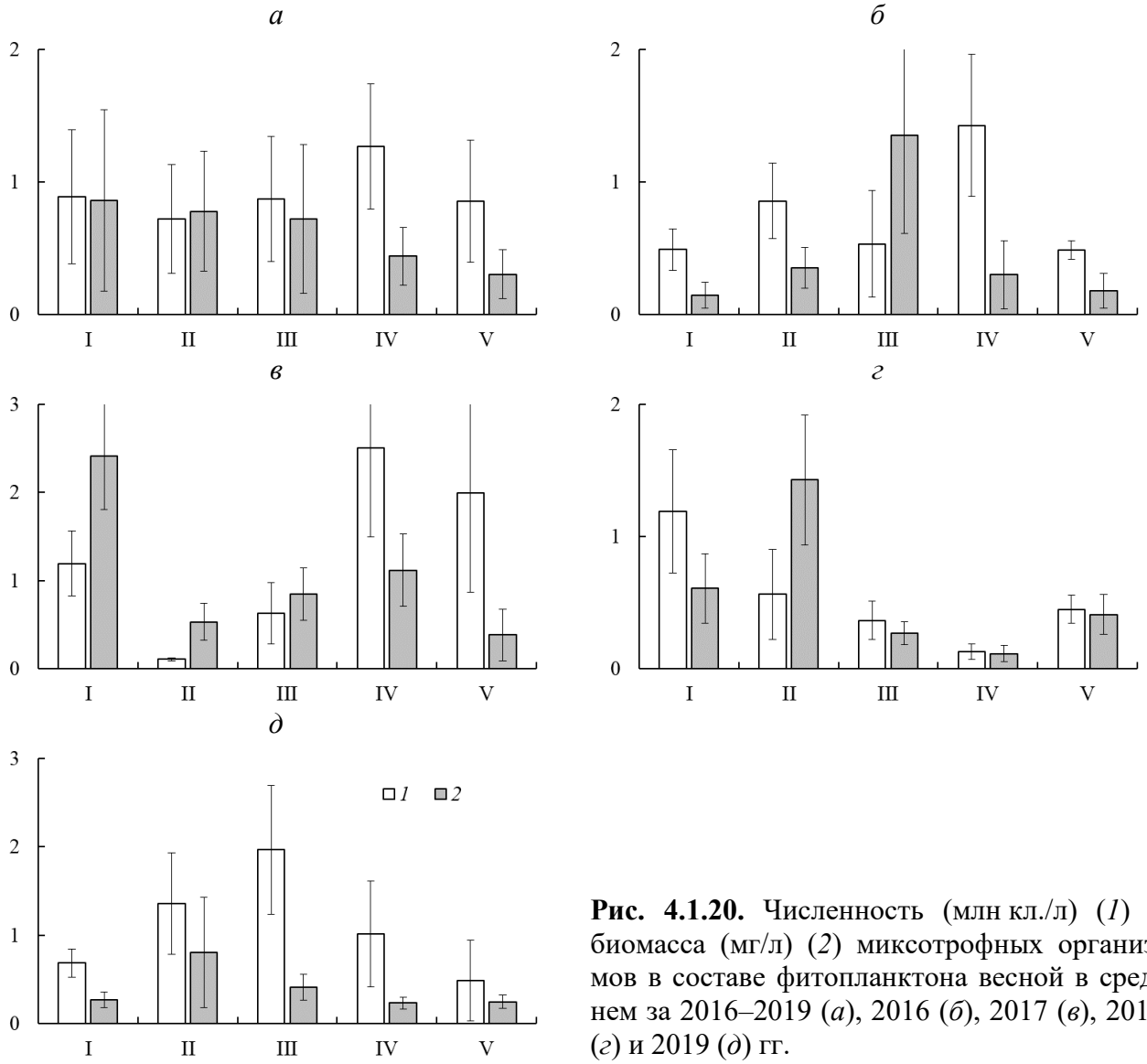

Рис. 4.1.20. Численность (млн кл./л) (*1*) и биомасса (мг/л) (*2*) миксотрофных организмов в составе фитопланктона весной в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

В 2016 г. максимальная численность миксотрофов также обнаружена в ТСП, а минимальные величины зарегистрированы в ПП и в реке, в 2017 г. – в ТСП, ПП и в ЧП соответственно (рис. 4.1.20*б*, *в*). В 2018 г. картина распределения несколько изменилась и в ТСП наблюдалась минимальная плотность миксотрофных организмов, а максимальная – в р. Урал

(рис. 4.1.20*г*). В 2019 г. наибольшей численностью миксотрофов отличался ФП СП, а наименьшие величины зарегистрированы в реке и ПП (рис. 41.20*д*).

В среднем за время изучения максимальная биомасса ФП отмечена в р. Урал и ЧП (рис. 4.1.21*а*) за счет диатомовых и эвгленовых водорослей (табл. 4.1.24). В реке также обнаружена максимальная биомасса зеленых и золотистых водорослей, в ЧП – цианобактерий, в СП – криптофитовых, а в ТСП и ПП в составе ФП от отсутствовали желтозеленые. Основу биомассы в реке и ЧП составляли диатомовые водоросли, доля которых, как и эвгленовых, снижалась по направлению к ПП (рис. 4.1.22*а*). Кроме этого, в ЧП наблюдалась максимальная доля цианобактерий. В среднем за время изучения в реке по биомассе доминировали *Stephanodiscus hantzschii*, *Ulnaria ulna*, в ЧП – *Stephanodiscus hantzschii* и *Cyclotella meneghiniana*, в СП – *Ulnaria ulna*, в ТСП – *Rhodomonas lens*, *Cryptomonas curvata*, в ПП – не определенные до вида представители сем. Volvocaceae.

В 2016 г. область максимальной биомассы сместилась до СП, где она была статистически значимо выше, чем в ТСП и ПП (рис. 4.1.21*б*) за счет диатомовых, зеленых, криптофитовых и эвгленовых водорослей (табл. 4.1.24). В реке обнаружена наибольшая биомасса желтозеленых водорослей. Вниз по продольному профилю исследованной акватории снижалась доля диатомовых, возрастала доля криптофитовых и динофитовых, а максимальная доля зеленых отмечена в реке и ТСП (рис. 4.1.22*б*). В реке, ЧП и СП доминировала *Ulnaria ulna*, в ЧП также *Cyclotella meneghiniana*, в ТСП – *Tetraselmis cordiformis*, *Rhodomonas lens*, в ПП – *Cryptomonas curvata*, *Cryptomonas reflexa*. Максимальный уровень сходства преобладающих по биомассе видов отмечен между сообществами участка река–СП, минимальный – реки и ПП (табл. 4.1.25). В целом, наибольшим средним уровнем сходства со всеми участками акватории отличались сообщества ЧП и СП, наименьшим – ПП и ТСП.

В 2017 г. среди исследованных участков статистически значимо большей биомассой отличался ФП р. Урал, которая плавно снижалась до ПП (рис. 4.1.21*в*) за счет диатомовых, зеленых и эвгленовых водорослей (табл. 4.1.24). В ЧП отмечена наибольшая биомасса цианобактерий. Вниз по продольному профилю водохранилища снижалась доля диатомовых водорослей, эвгленовых, но возрастала доля цианобактерий, и динофитовых (рис. 4.1.22*в*).

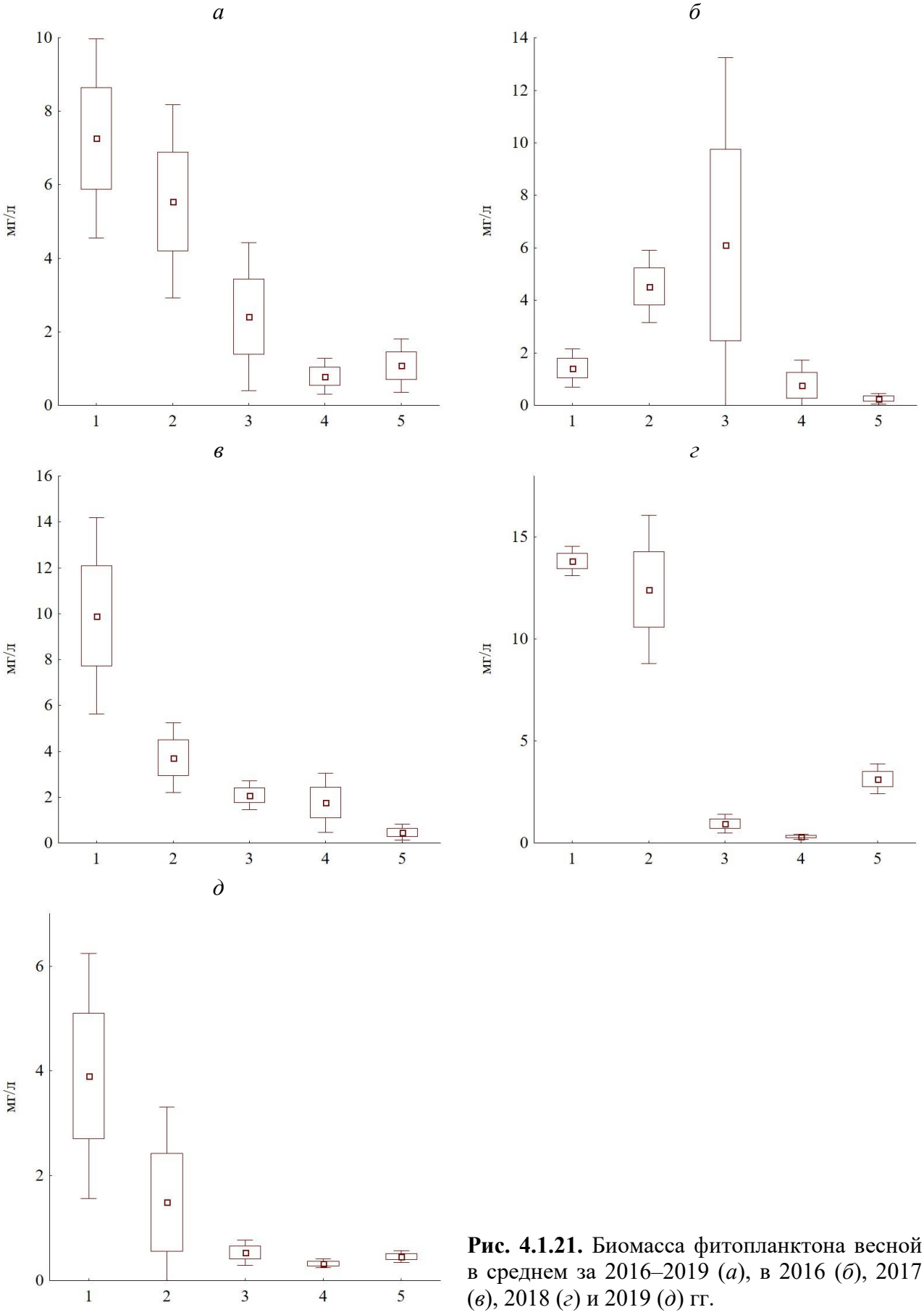

Рис. 4.1.21. Биомасса фитопланктона весной в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

Таблица 4.1.24. Биомасса таксономических групп ФП по продольному профилю исследованного участка

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Bacillariophyta	Средняя	5,401*[c-e]	4,622	4,404*[c-e]	4,118	1,549	3,049	0,206	0,322	0,246	0,307	**7,6**	**0,000**
	2016	1,057	0,577	3,756	0,656	4,595*[e]	5,606	0,231	0,318	0,058	0,034	2,3	0,128
	2017	6,126*[b-e]	2,832	2,873	1,203	1,073	0,347	0,473	0,544	0,050	0,020	**8,8**	**0,002**
	2018	11,964*[c-e]	1,093	10,526*[c-e]	2,727	0,500	0,440	0,065	0,021	0,726	0,215	**68,8**	**0,000**
	2019	2,458*[b-e]	1,551	0,459	0,468	0,028	0,024	0,055	0,047	0,152	0,014	**5,7**	**0,010**
Cyanobacteria	Средняя	0,002*[b]	0,005	0,025*[c-e]	0,026	0,004	0,006	0,002	0,003	0,005	0,011	**7,5**	**0,000**
	2016	0,003	0,005	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,8	0,563
	2017	0,005*[b]	0,009	0,035*[c-d]	0,026	0,007	0,012	0,004	0,006	0,015	0,020	2,0	0,168
	2018	0,000*[b]	0,000	0,024*[c-d]	0,008	0,001	0,002	0,001	0,001	0,005	0,005	**19,8**	**0,000**
	2019	0,000*[b]	0,000	0,042*[c-e]	0,040	0,005	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	**3,4**	**0,050**
Chlorophyta	Средняя	0,984*[b-e]	0,911	0,307	0,260	0,127	0,050	0,149	0,194	0,526	0,921	**4,6**	**0,003**
	2016	0,204	0,062	0,402	0,507	0,128	0,025	0,219	0,342	0,010	0,011	0,9	0,501
	2017	1,312*[b-e]	0,563	0,246	0,107	0,145	0,018	0,206	0,233	0,023	0,005	**10,4**	**0,001**
	2018	1,258	1,480	0,399*[e]	0,149	0,146*[e]	0,079	0,133*[e]	0,066	2,006	0,528	3,2	0,058
	2019	1,160*[b-e]	0,737	0,180	0,156	0,090	0,060	0,038	0,006	0,064	0,026	**5,6**	**0,010**
Cryptophyta	Средняя	0,274*[c]	0,214	0,139*[c]	0,117	0,524*[d,e]	0,411	0,284	0,380	0,192	0,125	**3,5**	**0,013**
	2016	0,039*[c]	0,030	0,187*[c]	0,021	0,874*[d,e]	0,469	0,265	0,232	0,157	0,113	**6,5**	**0,006**
	2017	0,500	0,185	0,000*[c,d]	0,000	0,789	0,331	0,684	0,622	0,252	0,149	3,0	0,067
	2018	0,341*[d]	0,187	0,232	0,092	0,208	0,113	0,092	0,062	0,288	0,044	2,0	0,162
	2019	0,216	0,087	0,136	0,142	0,226	0,119	0,094	0,035	0,071	0,074	1,7	0,229
Dinophyta	Средняя	0,034*[d]	0,065	0,092	0,088	0,051	0,088	0,141	0,265	0,112	0,099	1,4	0,262
	2016	0,000	0,000	0,070	0,121	0,005	0,009	0,021	0,037	0,021	0,033	0,8	0,563
	2017	0,127	0,073	0,168	0,093	0,014	0,024	0,392	0,487	0,129	0,142	1,2	0,378
	2018	0,000*[e]	0,000	0,079	0,075	0,011*[e]	0,012	0,012*[e]	0,013	0,121	0,107	2,8	0,079
	2019	0,008*[c-e]	0,017	0,052*[c,e]	0,036	0,175	0,103	0,138	0,078	0,174	0,054	**5,1**	**0,014**
Euglenophyta	Средняя	0,538*[c-d]	0,875	0,545*[c-d]	0,584	0,140	0,252	0,003	0,008	0,000	0,000	**3,7**	**0,010**
	2016	0,070*[c]	0,061	0,092*[c]	0,041	0,467*[d,e]	0,360	0,003	0,006	0,000	0,000	**4,6**	**0,020**
	2017	1,785*[b-e]	0,984	0,359	0,225	0,039	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	**8,0**	**0,003**
	2018	0,267*[b]	0,226	1,117*[c-e]	0,407	0,046	0,050	0,009	0,015	0,000	0,000	**15,3**	**0,000**
	2019	0,030	0,060	0,613	0,894	0,009	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	1,5	0,265
Streptophyta	Средняя	0,018*[e]	0,031	0,027*[d,e]	0,027	0,016	0,023	0,003	0,010	0,000	0,001	**3,0**	**0,025**
	2016	0,009	0,019	0,018	0,021	0,028	0,026	0,012	0,021	0,000	0,000	0,9	0,498
	2017	0,038	0,044	0,031	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,8	0,208
	2018	0,006*[b,c]	0,012	0,056*[d,e]	0,021	0,034*[d,e]	0,030	0,000	0,000	0,001	0,002	**6,8**	**0,005**
	2019	0,020	0,039	0,003	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,6	0,648
Chrysophyta	Средняя	0,013*[b-e]	0,018	0,002	0,004	0,003	0,005	0,003	0,006	0,000	0,000	**4,0**	**0,007**

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
	2016	0,035	0,016	0,000	0,000	0,007	0,007	0,009	0,009	0,000	0,000	**8,6**	**0,002**
	2017	0,003	0,005	0,004	0,004	0,005	0,004	0,001	0,002	0,000	0,000	0,7	0,585
	2018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
	2019	0,013	0,018	0,004	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,2	0,354
Xanthophyta	Средняя	0,000*[b]	0,000	0,003*[d-e]	0,003	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	**3,4**	**0,015**
	2016	0,000*[b-e]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
	2017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	1,1	0,397
	2018	0,000*[b]	0,000	0,004*[c-e]	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,6	0,098
	2019	0,000*[b]	0,000	0,006*[c-e]	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	**40,2**	**0,000**

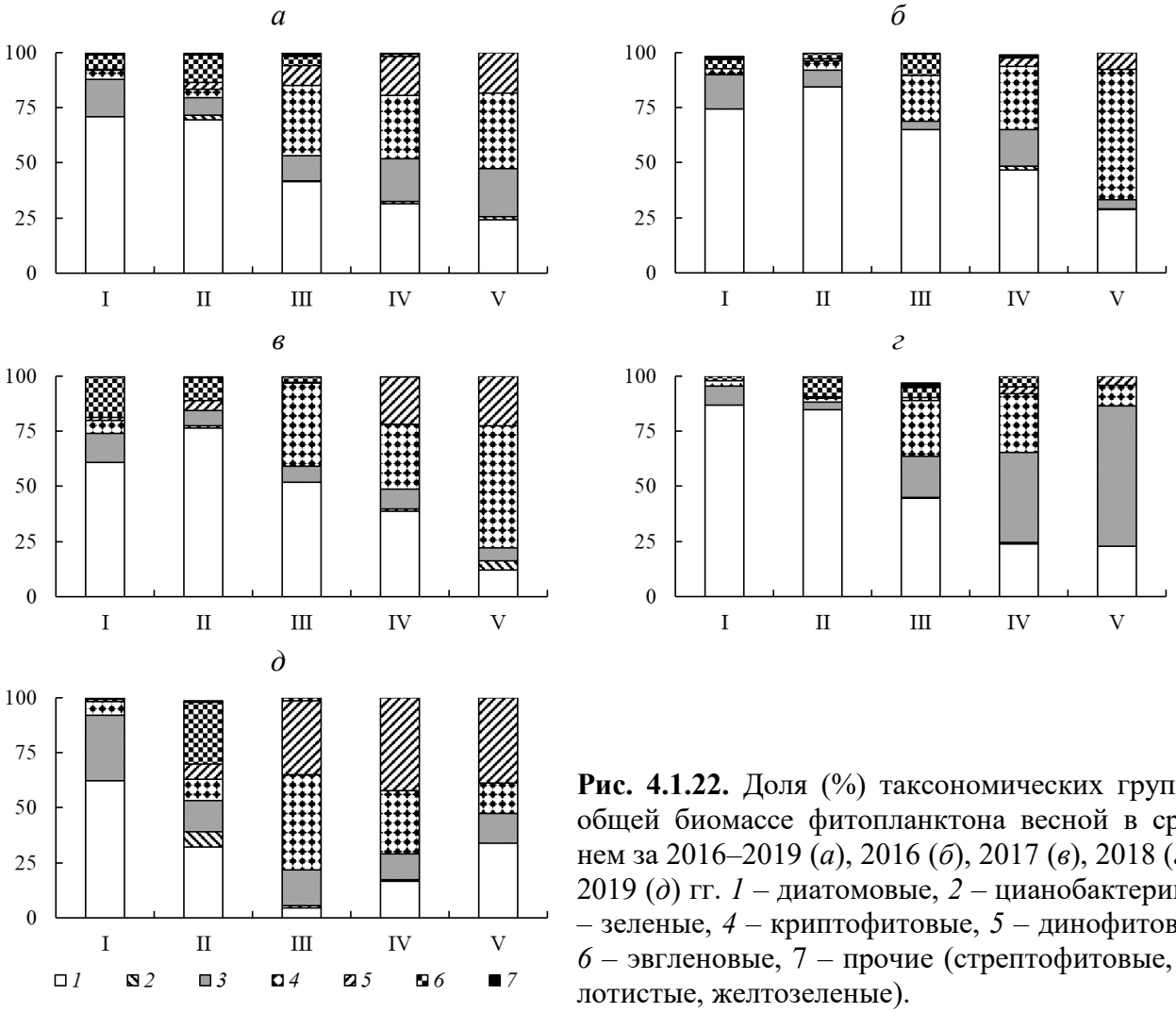

Рис. 4.1.22. Доля (%) таксономических групп в общей биомассе фитопланктона весной в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг. *1* – диатомовые, *2* – цианобактерии, *3* – зеленые, *4* – криптофитовые, *5* – динофитовые, *6* – эвгленовые, 7 – прочие (стрептофитовые, золотистые, желтозеленые).

В реке в число доминантов входили *Surirella brebissonii var. kuetzingii*, *Ulnaria ulna* и *Euglena viridis*, в ЧП – 45% от общей биомассы принадлежало *Stephanodiscus hantzschii*, в СП также доминировал *S. hantzschii*, который составлял уже 10%, а также *Surirella brebissonii var. kuetzingii* и *Cryptomonas curvata*, в ТСП – *Cryptomonas curvata*, *Rhodomonas lens*, *Gymnodinium helveticum*, в ПП – *Ceratium hirundinella*, *Komma caudata*, *Cryptomonas curvata*, *Rhodomonas lens.* Наибольший уровень сходства лидирующих по биомассе видов отмечен между сообществами ТСП и ПП, наименьший – реки и ПП, ЧП и ПП (табл. 4.1.25). Максимальным средним уровнем сходства со всеми участками акватории отличались сообщества ТСП и ПП, минимальным – ЧП.

В 2018 г. наибольшая биомасса ФП зарегистрирована в р. Урал и в ЧП (рис. 4.1.20*г*) за счет диатомовых водорослей (табл. 4.1.24). Фитопланктон ЧП отличался максимальной биомассой цианобактерий, эвгленовых и желтозеленых водорослей, ПП – зеленых и динофито-

вых. По продольному профилю акватории уменьшалась доля диатомовых водорослей, увеличивалась доля зеленых и динофитовых, до ТСП – криптофитовых (рис. 4.1.22*г*).

Таблица 4.1.25. Индексы сходства доминирующих и субдоминирующих по биомассе видов фитопланктона участков исследованной акватории весной

Участок	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
2016 г.					
ЧП	30,7	–	–	–	–
СП	28,0	33,3	–	–	–
ТСП	7,5	7,5	7,5	–	–
ПП	0	5,7	4,8	17,1	–
Среднее	16,6	19,3	18,4	9,9	6,9
2017 г.					
ЧП	12,1	–	–	–	–
СП	16,9	10,0	–	–	–
ТСП	6,3	6,3	10,3	–	–
ПП	0	0	18,5	30,1	–
Среднее	8,8	7,1	9,3	13,2	12,1
2018 г.					
ЧП	20,1	–	–	–	–
СП	20,1	31,6	–	–	–
ТСП	0	0	0	–	–
ПП	0	5,7	5	33,6	–
Среднее	10,1	14,4	14,2	8,4	11,1
2019 г.					
ЧП	15,1	–	–	–	–
СП	10,9	0	–	–	–
ТСП	0	0	21,8	–	–
ПП	0	0	31,4	40,5	–
Среднее	6,5	3,8	16,0	15,6	18,0

В реке доминировали исключительно представители диатомовых водорослей – *Ulnaria ulna*, *Stephanodiscus hantzschii*, последний был единственным доминантом в ЧП, в СП он доминировал наряду с *Surirella brebissonii var. kuetzingii*, *Cryptomonas curvata,* в ТСП преобладали *Asterionella formosa*, не определенные до вида представители сем. Volvocaceae, *Cryptomonas curvata*, в ПП – не определенные до вида представители сем. Volvocaceae. Максимальный уровень сходства доминирующих и субдоминирующих по биомассе видов отмечен между сообществами ПП и ТСП, а также ЧП и СП, минимальный – реки и ТСП, реки и ПП, ЧП и ТСП, СП и ТСП (табл. 4.1.25). В целом, наибольшим средним уровнем сходства со всеми участками акватории отличались сообщества ЧП и СП, наименьшим – ТСП.

В 2019 г. максимальная биомасса ФП обнаружена в р. Урал (рис. 4.1.21*д*), где зарегистрирована наибольшая биомасса диатомовых и зеленых водорослей (табл. 4.1.24). Фитопланктон ЧП отличался максимальной биомассой цианобактерий. Основу биомассы в реке составляли диатомовые и зеленые водоросли, в ЧП – диатомовые и эвгленовые, в СП – криптофитовые и динофитовые, в ТСП и ПП – динофитовые, возрастала доля диатомовых и со-

кращалась доля криптофитовых (рис. 4.1.22*д*). В реке доминировали *Stephanodiscus hantzschii* и *Chlamydomonas reinhardtii*, в ЧП – представитель эвгленовых *Trachelomonas* sp. 1, в СП – динофитовые *Gymnodinium helveticum* и криптофитовые *Cryptomonas ovata, Komma caudata*, в ТСП – динофитовые *Gymnodinium helveticum*, *Ceratium hirundinella*, криптофитовые *Komma caudata* и зеленые *Monoraphidium contortum*, в ПП – *Gymnodinium helveticum* и *Monoraphidium contortum.* Наибольший уровень сходства преобладающих по биомассе видов отмечен между сообществами ТСП и ПП, наименьший – реки и ТСП, реки и ПП, ЧП и ПП (табл. 4.1.25). Максимальным средним уровнем сходства со всеми участками акватории отличались сообщества ПП, СП и ТСП, минимальным – ЧП.

Наибольшие значения индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, в среднем за время изучения, а также в 2016 г. регистрировались в реке и в СП, в 2017 г. – в реке, в 2018 г. – в СП, в 2019 г. – в реке и ЧП (рис. 4.1.19). Наименьшие значения индекса в среднем за 2016–2019 гг. и в 2016 г. отмечены в ТСП и ПП, в 2019 гг. – в СП, ТСП и ПП, в 2017 г. – в ПП, в 2018 г. – в реке и ПП.

Биомасса миксотрофных организмов ФП в среднем за 2016–2019 гг. снижалась по продольному профилю исследованной акватории (рис. 4.1.20*а*). В 2016 г. максимальная их биомасса обнаружена в СП, в 2017 г. – в реке, в 2018 и 2019 гг. – в ЧП. Наибольшей СИМ за период 2016–2019 гг. характеризовались сообщества СП, ЧП и реки, минимальной – ПП и ТСП (рис. 4.1.23*а*). В 2016 г. наибольшая СИМ отмечена в СП, наименьшая – в ТСП и ПП (рис. 4.1.23*б*). В 2017 г. в ЧП зарегистрирована максимальная ее величина, которая постепенно снижалась по продольному профилю водохранилища, достигая минимального значения в ПП, и не имела статистически значимых различий от показателя в реке (рис. 4.1.23*в*). В 2018 и 2019 гг. СИМ ФП постепенно снижалась по направлению от реки до ПП, причем, в 2018 г. в пределах водохранилища наибольшая величина зафиксирована в ЧП (рис. 4.1.23*г*), а в 2019 г. статистически значимые различия между ФП плесов отсутствовали (рис. 4.1.23*д*).

Воды изученных участков р. Урал и русловых плесов Ириклинского водохранилища по величинам индекса сапробности характеризовались β-мезосапробными условиями, лишь в 2018 г. ЧП имел α-мезосапробный статус (табл. 4.1.26). Ежегодно максимальные величины индекса отмечались в ЧП, а вниз по продольному профилю они сокращались, достигая минимума в ТСП и ПП. При этом необходимо отметить, что в 2017 г. различия значений индек-

са между р. Урал и ЧП были минимальными, а в 2019 г. на участке река – СП различия практически отсутствовали.

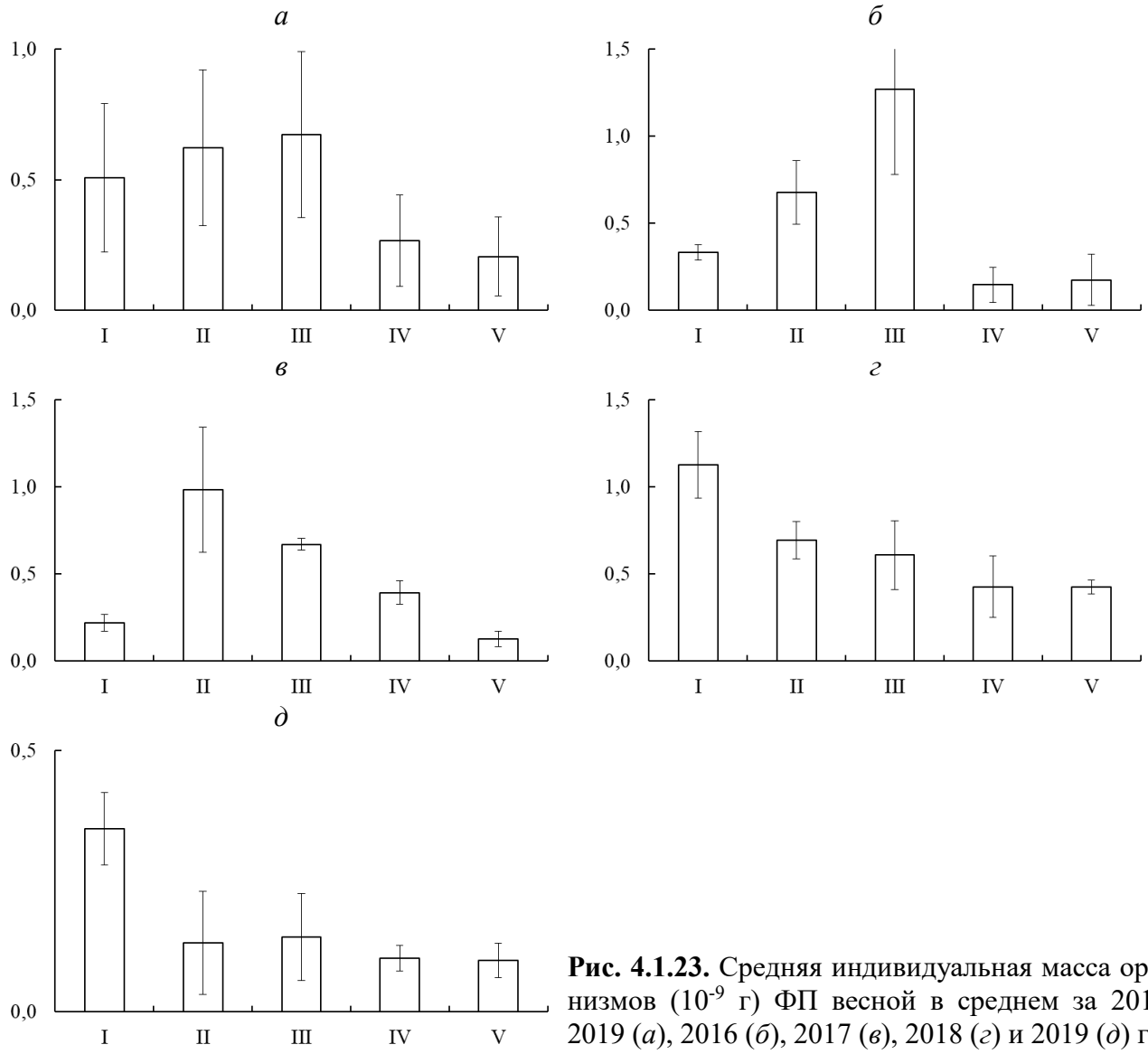

Рис. 4.1.23. Средняя индивидуальная масса организмов (10^{-9} г) ФП весной в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

Таблица 4.1.26. Изменения величин индекса сапробности по продольному профилю исследованной акватории в разные годы

Годы	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
2016–2019	2,18±0,16	2,34±0,19	2,09±0,13	1,86±0,26	1,84±0,14
2016	2,09±0,10	2,32±0,18	2,14±0,05	2,06±0,32	1,91±0,18
2017	2,34±0,09	2,38±0,10	2,01±0,06	1,71±0,14	1,81±0,14
2018	2,13±0,06	2,54±0,03	2,08±0,22	1,82±0,25	1,73±0,10
2019	2,16±0,23	2,13±0,14	2,13±0,16	1,86±0,30	1,90±0,11

По продольному профилю исследованной акватории также изменялся трофический статус участков, определяемый по биомассе ФП. Так, согласно шкалам и В.Н. Жукинского с соавт. (1976), и С.П. Китаева (2007), более высоким трофическим статусом характеризовались воды реки и/или ЧП, лишь в 2016 г. при максимальном объеме притока и наибольшей температуре воздуха наиболее трофные условия формировались в зоне ЧП–СП (табл. 4.1.27). Вниз по про-

дольному профилю исследованного участка трофический статус вод снижался, лишь в 2018 г. в ПП он оказался выше, чем в СП и ТСП.

Таблица 4.1.27. Изменения трофического статуса по продольному профилю исследованной акватории в разные годы

Год	Река	ЧП	СП	ТСП	ПП
по: Жукинский и др., 1976					
2016	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*α*-эвтрофный	*α*-мезо-	*α*-мезо-
2017	*α*-эвтрофный	*β*-мезо	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*α*-мезо-
2018	*β*-эвтрофный	*β*-эвтрофный	*α*-мезо-	*α*-мезо-	*β*-мезо-
2019	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*α*-мезо-	*α*-мезо-	*α*-мезо-
по: Китаев, 2007					
2016	*α*-мезо-	*α*-эвтрофный	*α*-эвтрофный	олиго-	ультраолиго-
2017	*β*-эвтрофный	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*α*-мезо-	ультраолиго-
2018	*β*-эвтрофный	*β*-эвтрофный	олиго-	ультраолиго-	*β*-мезо-
2019	*β*-мезо-	*α*-мезо-	олиго-	ультраолиго-	ультраолиго-

Заключение к разделу 4.1.

Полученные результаты показали, что ежегодные колебания гидрологического режима и метеорологических условий весной вызывали изменения ФП в пределах исследованной акватории. При этом направление изменений и их количество на разных участках различались. Наибольшее количество статистически достоверных изменений показателей ФП обнаружено в р. Урал (34), а в водохранилище – в ЧП –25, в ПП и СП их было меньше – 20 и 16 соответственно, а наименьшее их число зарегистрировано в ТСП – 4. Следовательно, наиболее стабильными условиями формирования ФП отличался самый большой по площади ТСП, наименее стабильными условиями – река, а в пределах водохранилища – верхний и нижний плесы, в большей мере зависимые от объемов поступления и сброса воды, а ЧП – также от ее уровня.

В целом для незарегулированного участка р. Урал характерны высокие значения численности и биомассы ФП, основу которых составляли Bacillariophyta и Chlorophyta (Джаяни, 2020а, б). Такая картина характерна для высокотрофных водотоков, что было показано на примере бассейна Средней Волги (Охапкин, 1997). В условиях максимального поверхностного стока в 2017 г., способствующего повышению концентрации в воде питательных веществ, поступающих с водосбора, зарегистрированы изменения ФП, характерные для реакции при эвтрофировании. Об этом свидетельствуют высокие численность и биомасса ФП, наибольшие количественные характеристики цианобактерий, сокращение числа доминирующих по численности видов до 1 при массовом развитии *Tetrastrum staurogeniaeforme* (77,4% от общей численности), появление среди доминирующих по биомассе вида-индикатора полисапробных вод *Euglena viridis* (16,9%), снижение средней индивидуальной массы организмов, индекса Шеннона, увеличение биомассы миксотрофных таксонов и индекса сапробности.

Одновременно значительную роль в перестройке сообщества играет температура воды, которая также способствовала повышению трофического статуса вод реки, что подтверждают высокая биомасса ФП в 2018 г. при доминировании видов-индикаторов α-мезосапробных вод *Stephanodiscus hantzschii* и *Monoraphidium minutum*, а также минимальная величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе. О роли температуры воды также свидетельствуют данные, полученные при минимальном ее значении в 2016 г., когда были зарегистрированы наименьшие численность и биомасса ФП.

В верхнем из изученных плесов водохранилища – Чапаевском – наиболее трофные условия формировались в 2018 г., что подтверждают максимальные общие численность и биомасса ФП, численность миксотрофных организмов, индекс сапробности, минимальные индексы Шеннона, рассчитанные по численности и биомассе, а также сокращение числа доминирующих видов за счет индикатора *α*-мезосапробных вод *Stephanodiscus hantzschii*, который составлял максимальную долю в общей численности и биомассе. Формирование таких условий мы связываем с изменением соотношений объемов притока и сброса, от которых зависит дальность проникновения речных вод и местоположение зоны наибольшей аккумуляции веществ, приносимых рекой. Сокращение объема сброса до минимальных за исследованный период величин, оптимальный уровень воды, при котором граница зоны переменного подпора располагалась в плесе, способствовали поступлению и аккумуляции наибольшей части приносимых рекой веществ именно в ЧП. Это подтверждают, например, максимальные концентрация фосфатов.

Важно отметить, что при минимальном уровне воды, количестве осадков и объеме притока в 2019 г. ряд показателей ФП также характеризовали повышение трофического статуса, в частности, максимальная численность, биомасса, доля в общей численности и биомассе Cyanophyta, численность Cryptophyta, численность миксотрофных организмов. Эти особенности могут быть связаны с уровнем воды, уменьшение которого способствует более легкому выносу биогенных элементов из придонных слоев к поверхности водоема, что показано для ряда водохранилищ (Гончаров, Даценко, 2002; Гончаров, Абдуллаева, 2014; Даценко и др., 2017; Джаяни, 2020а). Это подтверждают и данные, полученные при наибольшем уровне воды, количестве атмосферных осадков, объемах притока и сброса в 2017 г., когда в ЧП была обнаружена минимальная численность ФП даже на фоне высокой концентрации биогенных и органических веществ, и максимальной температуре воды. Однако поступление веществ с водосбора способствовало появлению в составе доминантов *Aphanizomenon flosaquae*, а также высокой доле в общей численности и биомассе *Stephanodiscus hantzschii*. Такая ситуация не согласуется с результатами изучения Можайского водохранилища, где наибольшее обилие ФП регистрировалось при увеличении объема паводка, который способствовал поступлению с водосбора биогенных веществ (Даценко и др., 2017). Мы полагаем, что направление изменений сообществ зависит от ряда факторов, которые определяют диффузный обмен с придонными слоями, а также внешние

поступления с водосбора и с водами питающей реки. В ходе изучения водоемов Казахстана показано наличие как отрицательной, так и положительной связи между уровнем воды и количественными характеристиками планктонных сообществ. Выявлено, что направление изменений зависит от соотношения накопленных в водоеме биогенных и органических веществ, и поступающих с водосбора: если количество первых меньше, чем вторых, то между уровнем и количественными показателями сообществ гидробионтов имеется положительная связь, если больше количество вторых, то поступление вод с водосбора приводит к проявлению эффекта "разбавления" (Крупа, 2012; Крупа и др., 2013). Следовательно, увеличение уровня воды в ЧП приводит к эффекту "разбавления", что свидетельствует о значительном накоплении биогенных и органических веществ в верхних плесах Ириклинского водохранилища.

Одновременно это могло быть вызвано и изменением местоположения зоны наибольшей аккумуляции веществ в границах зоны переменного подпора при максимальном уровне воды. Об этом свидетельствует сравнительный анализ с сообществом СП, где наиболее трофные условия по показателям ФП – максимальные общая биомасса, биомасса миксотрофных таксонов, сокращение до 1 числа доминирующих по численности и биомассе видов при значительном обилии и биомассе *Tetrastrum staurogeniaeforme* и *Ulnaria ulna* соответственно – формировались в 2016 г. при наибольшем объеме притока, но более низком, чем в 2017 г. уровне воды. Это способствовало более активному проникновению сюда веществ, поступающих с водосбора и с речными водами. Необходимо отметить, что и в условиях минимальных уровня воды, атмосферных осадков и объема притока в 2019 г., как и в ЧП, здесь фиксировался ряд показателей, свидетельствующих о более высоком трофическом статусе вод. В частности, зарегистрированы наименьшие удельное видовое богатство, индексы Шеннона, высокая общая численность за счет цианобактерий и криптофитовых водорослей, плотность миксотрофных организмов. Это также может быть связано с более активным транспортом биогенных веществ из донных отложений при уменьшении уровня воды.

В ТСП наибольшие общие численность и биомасса ФП, численность и биомасса миксотрофных организмов обнаружены в условиях наибольших сумм атмосферных осадков, уровней воды, объемов притока и сброса в 2016 и 2017 гг., хотя значительная часть межгодовых различий не подтверждалась статистически. Очевидно, тенденция увеличения количественных характеристик ФП в эти годы связана с наибольшим проникновением речных вод

(реки Урал, Таналык и Суундук) в плес в период половодья, что обеспечивало лучшие стартовые условия для развития ФП. При снижении и минимальных значениях уровня воды, количества атмосферных осадков, объемов притока и сбросов (2018 и 2019 гг.) обнаружены наименьшие численность и биомасса ФП, но одновременно отмечены изменения, характерные для сообществ вод более высокого трофического статуса. В частности, обнаружена максимальная численность цианобактерий (2019 г.), доля зеленых водорослей в общей численности (2019 г.) и биомассе (2018 г.) ФП, средняя индивидуальная масса (2018 г.), минимальная величина индекса Шеннона (2019 г.).

В нижнем ПП максимальные численность и биомасса ФП, доля Chlorophyta в общей биомассе, средняя индивидуальная масса, сокращение числа доминирующих по биомассе видов до 1 (не определенные до вида представители сем. Volvocaceae), а также минимальный индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, зарегистрированы в 2018 г. Особенности ФП мы связываем с наименьшим за все время изучения объемом стока, благодаря чему питательные вещества, поступившие в период половодья с водосбора в плес, задерживались и вода отличалась максимальными ХПК, концентрациями $P\text{-}PO_4$ и Si.

Следовательно, количественные характеристики ФП в незарегулированном участке р. Урал в большей степени определялись количеством атмосферных осадков, то есть поступлением биогенных и органических веществ с водосбора. В плесах водохранилища уровень развития ФП определялся соотношением объемов притока, сброса, уровня воды и количества атмосферных осадков. При этом в верхнем из исследованных и в нижнем плесах ведущее значение имело замедление движения водных масс вследствие сокращения объемов сброса. Одновременно в верхнем из исследованных плесов – Чапаевском – большое значение имел уровень воды, обеспечивающий колебание границ переменного подпора и аккумуляцию веществ, приносимых рекой. В среднем – Софинском плесе – формирование наиболее богатого сообщества регистрировалось в условиях максимального объема притока, что обеспечивало наиболее дальнее проникновение речных вод (р. Урал и другие притоки) и аккумуляцию веществ. Таналык-Суундукский плес характеризовался крайне стабильными условиями, что может быть связано с его наибольшей площадью и значительным подпором вод крупных притоков, в результате чего речные воды не доходили до плеса.

При снижении уровня воды в ЧП, СП и ТСП наблюдалось увеличение в составе ФП цианобактерий, что может быть связано с включением в круговорот биогенных веществ из донных отложений. В ПП такой эффект отсутствовал вследствие особенностей морфометрии – большие глубины и каньонообразный профиль плеса.

О ведущей роли суммы атмосферных осадков и связанных с ней гидрологических и гидрохимических параметров воды в формировании численности и биомассы фитопланктона свидетельствуют полученные регрессионные модели, которые объясняют от 61,3 до 98,7% их вариаций (табл. 4.1.28).

Таблица 4.1.28. Регрессионные модели зависимости численности и биомассы фитопланктона от факторов среды на разнотипных участках акватории весной

Уч-к	Уравнение регрессии	F	R^2, %	p
Р	N = -156,037 + 0,692 *Осадки* + 9,459 $T_{воды}$	20,1	66,9	0,000
	B = -70,0232 + 5,4417 $T_{воды}$	97,8	83,6	0,000
ЧП	N = 76,1498 - 0,1387 *Приток* + 368,8934 *P-PO4* - 34,2940 *Прозр.* - 13,5217 $БПК_5$ + 129,8717 *N-NH4* - 1,4397 O_2	81,4	96,9	0,000
	B = -52,3923 + 6,1248 $T_{возд.}$ - 35,0596 *N-NH4* + 349,0027 *P-PO4* - 75,6295 *Fe*	27,5	90,6	0,000
СП	N = 2,958108 + 0,799674 $БПК_5$ - 0,013489 *Приток*	16,6	67,6	0,000
	B = 3,0069 + 0,4104 $БПК_5$ - 18,0280 *P-PO4*	12,2	59,9	0,001
ТСП	N = -14,5458 + 0,7005 *ХПК* - 12,5114 *N-NH4*	17,2	74,7	0,000
	B = -16,1960 + 0,0547 *Сброс* + 0,3065 *ХПК* + 4,0657 *Si* – 5,0221 *N-NO3* - 1,7470 *N-NH4*	140,9	98,4	0,000
ПП	N = -3,14602 + 4,00643 *Si*	24,8	61,3	0,000
	B = -2,47838 + 51,14456 *P-PO4* - 0,10920 *Сброс* + 0,24189 *Цветн.* -1,95193 *Si* + 0,47163 O_2	239,5	98,7	0,000

Примечание: F – критерий Фишера, сила влияния фактора, R^2 – коэффициент детерминации, доля объясненной фактором изменчивости показателя, p – уровень значимости.

Как мы указывали выше, о чем также свидетельствуют многочисленные литературные данные, увеличение численности и биомассы ФП, повышение количественных характеристик цианобактерий – следствие повышения трофического статуса вод. При повышении трофического статуса, как правило, сокращается удельное видовое богатство ФП, однако и в реке, и в плесах водохранилища именно в этих условиях оно было максимальным.

Изменения средней индивидуальной массы организмов, то есть, преобладание крупных или мелких форм, также могут свидетельствовать об изменениях трофности. Полученные нами данные показали, что весной на всех исследованных участках максимальная средняя индивидуальная масса клеток ФП отмечена в годы, отличающиеся его наибольшими численностью и биомассой, а также рядом характеристик, свидетельствующих об эвтрофировании. Помимо этого, на исследуемых участках в годы, характеризующиеся максимальными обилием и

биомассой сообществ, регистрировалась наибольшая биомасса миксотрофных организмов в составе ФП.

Следовательно, на фоне увеличения численности и биомассы, повышения доли цианобактерий и появления в составе доминантов видов-индикаторов высокотрофных и сапробных вод, ФП исследованных участков характеризовался наиболее высоким удельным видовым богатством, средней индивидуальной массой, биомассой миксотрофных организмов, индексами Шеннона.

Межгодовые особенности проникновения и аккумуляции веществ, приносимых речными водами и поступающих в плесы водохранилища с поверхностным стоком, также способствовали различиям в распределении ФП по продольному профилю исследованной акватории. Однако практически ежегодно наибольшие удельное видовое богатство, численность и биомасса ФП регистрировались в реке и в самом верхнем из исследованных плесов водохранилища – Чапаевском. Это связано с наиболее трофными условиями на данных участках, о чем свидетельствуют высокие концентрации органических и биогенных веществ, которые попадают в реку с водосбора, а затем аккумулируются при снижении проточности в ЧП. Кроме этого, формированию наиболее богатых сообществ ФП на данных участках способствовала более высокая температура воды по сравнению с плесами, расположенными ниже. Лишь в 2016 г. в условиях максимального объема притока наибольшая биомасса ФП отмечена в двух верхних плесах, причем, в ЧП за счет диатомовых, а в СП – за счет эвгленовых водорослей. При этом высокое удельное видовое богатство ФП было обнаружено на всем участке до ТСП, а численность – до СП. Максимальное количество атмосферных осадков в 2017 г. способствовало увеличению содержания в воде р. Урал органических и биогенных веществ, и формированию здесь наиболее богатого ФП. При этом наибольший уровень воды в этом году определял зону наибольшей аккумуляции выше ЧП, в результате чего при высоком объеме стока в исследованных плесах водохранилища наблюдалось постепенное и плавное снижение удельного видового богатства и биомассы ФП, а его плотность не имела статистически достоверных различий между плесами. В условиях снижения и минимальных значений уровня воды, количества осадков, объемов притока и сброса в 2018 и 2019 гг. изменения количественных характеристик ФП по продольному профилю акватории характеризовалось постепенным снижением до ТСП и повышением в ПП до величин, не имеющих различий с таковыми в среднем плесе водохранилища. Ежегодно по

продольному профилю постепенно снижалась доля диатомовых водорослей в общей численности и биомассе сообществ, за исключением ситуации в 2019 г., когда их наименьшая доля была отмечена в СП, где доминирующее положение занимали криптофитовые.

Ежегодно по продольному профилю исследованной акватории сокращалась величина индекса сапробности: максимальные величины отмечались в ЧП и реке, минимальные – в ТСП и ПП. Аналогично изменялся трофический статус, определяемый по биомассе ФП – наиболее высокой трофностью характеризовались воды реки и ЧП, низкой – ПП и ТСП. Лишь в условиях максимального объема притока зона высокой трофности увеличивалась до СП, а в условиях высокого объема сброса трофический статус ПП был выше, чем в ТСП и СП.

О формировании специфичных условий и сообществ ФП в пределах исследованной акватории свидетельствует и низкий уровень сходства доминирующих и субдоминирующих видов. В пределах исследованной акватории ежегодно максимальным сходством преобладающих по численности и биомассе видов характеризовались сообщества двух нижних плесов, однако при максимальном объеме притока (2016 г.) наибольшее сходство доминантов и субдоминантов по биомассе отмечено в пределах участка река–СП.

Минимальным средним сходством преобладающих по численности видов со всеми исследованными участками характеризовался ФП реки, максимальным – ТСП и ПП, однако в 2016 г. в условиях значительного проникновения речных вод наиболее специфичный состав формировался в СП, а в 2017 г. при максимальном уровне водохранилища и сумме атмосферных осадков сообщество в СП характеризовалось наибольшим средним уровнем сходства с остальными участками. Кроме этого, в условиях 2017 г. состав лидирующих по численности видов был наиболее специфичным, о чем свидетельствует минимальный средний уровень сходства между всеми участками – 14,4%, в то время как в остальные годы он варьировал от 20,9 до 21,7%.

Уровень среднего сходства преобладающих по биомассе видов каждого участка со всеми исследованными был не высоким, но наибольшими величинами в 2016 г. отличался ФП реки, ЧП и СП, в 2017 г. – ТСП и ПП, в 2018 г. – ЧП и СП, в 2019 г. – ПП, СП и ТСП. Ежегодно средний уровень сходства между всеми участками отличался малыми величинами, наибольший зарегистрирован в условиях максимального объема притока в 2016 г. – 14,2%, в остальные годы он варьировал от 10,1 до 12,0%.

4.2. Летний сезон

Фитопланктонное сообщество реки Урал

Воды реки различались по ряду физико-химических параметров воды. В частности, наибольшая температура воды зарегистрирована в 2018 г., наименьшая – в 2016 г. (табл. 4.2.1). Кроме этого, в 2018 г. воды реки отличались максимальной концентрацией Si и Fe, а в 2017 г. – цветностью. Наибольшие значения ПО, ХПК и $N\text{-}NO_2$ обнаружены в 2016 и 2017 гг., а в 2018 и 2019 гг. – $N\text{-}NO_3$, минимальная концентрация $P\text{-}PO_4$ – в 2016 г.

Таблица 4.2.1. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища летом

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	23,0[*b-d]	0,1	25,1[*c,d]	0,2	25,6[*d]	0,1	24,2	0,2	**87,2**	**0,000**
Прозрачность, м	0,4	0,0	0,5	0,1	0,5	0,0	0,5	0,2	1,1	0,371
Скорость течения, м/сек	1,1	0,6	0,5	0,3	0,9	0,2	0,4	0,3	0,9	0,492
Цветность, град	18,7	–	25,6	–	15,8	–	14,2	–	–	–
O_2, мг/л	8,3	–	8,2	–	8,3	–	9,1	–	–	–
ПО, мгO_2/л	7,8	–	10,0	–	4,0	–	4,0	–	–	–
ХПК, мгO_2/л	46,0	–	44,0	–	29,0	–	21,0	–	–	–
$БПК_5$, мгO_2/л		–		–		–	1,6	–	–	–
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,250	–	0,210	–	0,070	–	0,050	–	–	–
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,004	–	0,006	–	0,002	–	0,000	–	–	–
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,050	–	0,070	–	0,120	–	0,150	–	–	–
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,027	–	0,103	–	0,088	–	0,099	–	–	–
Si, мг/л	1,400	–	1,300	–	3,600	–	2,100	–	–	–
Fe, мг/л	0,160	–	0,010	–	0,230	–	0,160	–	–	–

Обнаружена положительная корреляционная связь с количеством атмосферных осадков в период с апреля по июль цветности воды (r = 0,92), ПО (r = 0,81) и $N\text{-}NO_2$ (r = 0,76), отрицательная – концентрации Si (r = -0,58) и Fe (r = -0,97), а с количеством атмосферных осадков в июле обнаружена прямая связь концентрации O_2 (r = 0,66), $N\text{-}NO_3$ (r = 0,86) и $P\text{-}PO_4$ (r = 0,89).

Минимальное удельное видовое богатство ФП зарегистрировано в 2019 г., оно статистически значимо различалось с данными, полученными в 2016 г. (p = 0,009) и 2017 г. (p = 0,043) (рис. 4.2.1). При этом в 2019 г. было меньше удельное видовое богатство диатомовых, но больше – цианобактерий, а в 2017 г. ФП отличался наибольшим количеством видов стрептофитовых, 2018 г. – динофитовых (табл. 4.2.2).

Численность ФП в 2019 г. была меньше, чем в 2016 г. (p = 0,045), 2017 г. (p = 0,032) и 2018 г. (p = 0,018) (рис. 4.2.2) за счет диатомовых водорослей (табл. 4.2.2). В 2018 г. ФП реки отличался наибольшей плотностью зеленых, эвгленовых и желто-зеленых водорослей, в

2016 г. зарегистрировано максимальное обилие криптофитовых, а в 2017 и 2018 гг. – стрептофитовых. Также необходимо отметить повышение численности цианобактерий в 2019 г., хотя различия не были статистически значимыми.

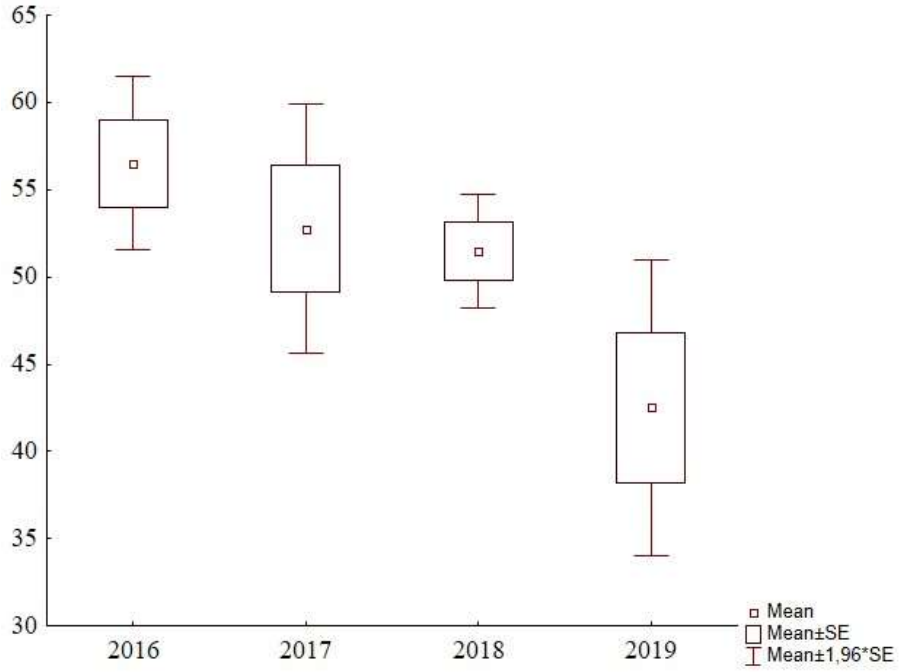

Рис. 4.2.1. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища летом.

Таблица 4.2.2. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища летом

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	18,0*d	2,2	17,5*d	2,6	13,0	1,6	7,8	2,5	**5,8**	**0,011**
	Cyanobacteria	0,3*d	0,3	0,3*d	0,3	0,8*d	0,3	2,3	1,0	**8,6**	**0,003**
	Chlorophyta	31,3	1,1	26,8	1,4	29,3	1,6	26,3	7,1	1,2	0,365
	Cryptophyta	3,3	0,3	2,5	0,5	2,0	0,4	2,5	1,7	0,9	0,486
	Dinophyta	1,5	0,3	1,8	0,3	2,5*d	0,6	1,3	0,5	1,9	0,189
	Euglenophyta	1,0	0,4	0,3*c	0,3	1,5	0,3	1,0	1,4	1,3	0,317
	Streptophyta	0,8*b	0,5	3,3*c,d	0,3	1,5	0,3	0,5	0,6	**13,5**	**0,000**
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,5	0,3	0,5	0,3	1,0	–	1,0	0,0	2,0	0,168
Численность, млн кл./л	Bacillariophyta	13,4*d	1,7	21,3*c-d	7,8	7,7*d	1,2	0,21	0,20	**4,8**	**0,020**
	Cyanobacteria	1,2	1,2	0,4	0,4	0,9	0,6	2,33	1,39	1,1	0,392
	Chlorophyta	16,1*c	2,8	13,8*c	3,7	29,4*d	3,7	8,89	0,87	**8,7**	**0,002**
	Cryptophyta	1,1*b-d	0,3	0,2	0,1	0,5	0,2	0,28	0,12	**4,3**	**0,029**
	Dinophyta	0,01*c	0,0	0,1	0,0	0,1*d	0,0	0,01	0,00	**3,6**	**0,046**
	Euglenophyta	0,007	0,003	0,002*c	0,002	0,015	0,004	0,01	0,01	1,8	0,196
	Streptophyta	0,004*b,c	0,002	0,054*d	0,016	0,036*d	0,009	0,00	0,01	**6,9**	**0,006**
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,00	0,00	–	–
	Xanthophyta	0,029*c	0,028	0,005*c	0,003	0,107	0,021	0,05	0,04	**4,6**	**0,023**
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	43,2*b-d	3,7	55,6*c,d	4,1	19,7*d	1,4	1,9	1,7	**68,9**	**0,000**
	Cyanobacteria	2,7*d	2,7	0,6*d	0,6	2,3*d	1,4	18,9	7,7	**12,0**	**0,001**
	Chlorophyta	50,8*c,d	3,7	42,4*c,d	4,2	76,3	1,7	76,3	7,2	**26,0**	**0,000**
	Cryptophyta	3,2*b,c	0,6	0,9*d	0,3	1,1*d	0,3	2,3	0,5	**8,5**	**0,003**
	Dinophyta	0,09	0,02	0,25	0,08	0,28	0,09	0,1	0,0	2,6	0,098
	Euglenophyta	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,1	0,1	1,0	0,419
	Streptophyta	0,02*b	0,01	0,18*d	0,04	0,09	0,02	0,0	0,1	**6,2**	**0,008**
	Chrysophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0	–	–

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Биомасса, мг/л	Xanthophyta	0,06*d	0,06	0,01*d	0,01	0,27	0,02	0,4	0,4	3,1	0,067
	Bacillariophyta	14,4*c,d	2,0	18,5*c,d	6,8	1,1	0,3	0,4	0,3	**6,8**	**0,006**
	Cyanobacteria	0,02	0,02	0,01	0,01	0,005	0,004	0,04	0,06	0,7	0,593
	Chlorophyta	2,4*d	0,5	2,1*d	0,3	2,4*d	0,3	0,6	0,1	**5,6**	**0,012**
	Cryptophyta	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,03	0,02	1,0	0,425
	Dinophyta	0,1*c	0,0	0,4*d	0,1	0,4*d	0,2	0,03	0,01	**4,1**	**0,033**
	Euglenophyta	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,02	0,03	0,04	1,5	0,270
	Streptophyta	0,02*b,c	0,01	0,11*d	0,02	0,12*d	0,05	0,017	0,020	**4,2**	**0,031**
	Chrysophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,000	0,000	–	–
	Xanthophyta	0,01	0,00	0,00*c	0,00	0,02	0,00	0,017	0,017	2,8	0,083
Доля в общей биомассе, %	Bacillariophyta	84,2*c,d	2,4	82,3*c,d	5,1	25,1	4,1	28,5	16,7	**36,1**	**0,000**
	Cyanobacteria	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	4,0	5,7	1,9	0,187
	Chlorophyta	14,0*c,d	2,2	13,8*c,d	3,7	57,8	2,9	56,8	17,4	**24,5**	**0,000**
	Cryptophyta	0,5*d	0,1	0,3*d	0,1	2,1	1,0	2,6	1,6	3,0	0,073
	Dinophyta	0,9*c	0,2	2,7*c	1,1	10,4*d	3,6	2,7	0,9	**5,1**	**0,017**
	Euglenophyta	0,08	0,03	0,15	0,15	1,26	0,41	2,8	4,2	1,3	0,308
	Streptophyta	0,13*c	0,08	0,71*c	0,25	2,69	0,78	1,4	1,6	**3,7**	**0,044**
	Chrysophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,02*d	0,02	0,01*d	0,01	0,50*d	0,09	1,3	1,0	**5,7**	**0,011**
Индекс Шеннона, бит/кл.		4,03*b,d	0,08	3,35*c,d	0,07	3,91	0,14	3,70	0,22	**8,3**	**0,003**
Индекс Шеннона, бит/мг		2,34*c,d	0,18	1,81*c,d	0,26	4,09	0,08	3,97	0,36	**38,7**	**0,000**
Индекс сапробности		2,50*c,d	0,02	2,55*c,d	0,04	1,99*d	0,03	2,10	0,08	**74,3**	**0,000**
СИМ, 10^{-9} г		0,56*c,d	0,08	0,58*c,d	0,03	0,11	0,01	0,10	0,03	**39,6**	**0,000**

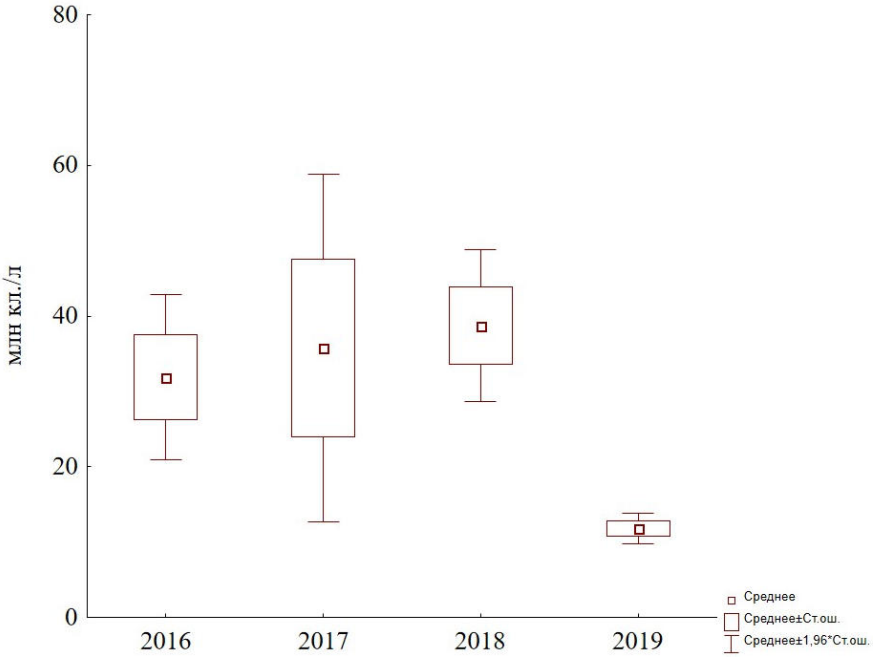

Рис. 4.2.2. Средняя численность фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища летом.

Основу численности составляли зеленые водоросли, однако в 2018 и 2019 гг. их доля была максимальной на фоне снижения относительного обилия диатомовых, минимальная доля которых наблюдалась в 2019 г. (табл. 4.2.2). Кроме этого, в 2019 г. возрастала доля цианобактерий и желто-зеленых водорослей, 2017 г. отличался наибольшей долей стрептофитовых, а 2016 и 2019 гг. – криптофитовых. Среди видов, доминирующих по численности, в

2016 г. отмечены *Cyclotella meneghiniana* (23,7%), в 2017 г. – *Stephanodiscus hantzschii* (35%), *Cyclotella* sp. (21,3%), в 2018 г. – *Dictyosphaerium pulchellum* (18,9%), *Cyclotella* sp. (18,6%), в 2019 г. *Monoraphidium* sp. (18,6%), *Lagerheimia genevensis* (13,7%), *Scenedesmus intermedius* (10,6%), *Snowella lacustris* (10%).

Минимальная величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности, зарегистрирована в 2017 г., максимальная – в 2016 г. (табл. 4.2.2). В 2017 и 2019 гг. была наименьшей численность миксотрофных таксонов в составе ФП, в 2016 г. – наибольшей, при этом их максимальная доля в общей численности ФП отмечена в 2016 и 2019 гг., минимальная – в 2017 и 2018 гг. (табл. 4.2.3).

Таблица 4.2.3. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора водохранилища летом

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	1,12[*b,d]	0,32	0,31	0,13	0,58	0,19	0,30	0,13	**3,7**	**0,043**
Доля в общей численности, %	3,3[*b,c]	0,6	1,2[*d]	0,4	1,4	0,3	2,5	0,6	**6,3**	**0,008**
Биомасса, мг/л	0,252	0,036	0,406	0,112	0,605	0,214	0,096	0,049	3,1	0,066
Доля в общей биомассе, %	1,5[*c]	0,3	3,1[*c]	1,3	13,8	3,5	8,0	4,0	**6,7**	**0,007**

Биомасса ФП в 2018 и 2019 гг. была статистически меньше, чем в 2016 г. (соответственно $p = 0{,}031$ и 0,011) и 2017 г. ($p = 0{,}007$ и 0,002) (рис. 4.2.3). В 2016 и 2017 гг. отмечена наибольшая биомасса диатомовых водорослей, в 2019 г. – наименьшая биомасса зеленых и динофитовых, а в 2017 и 2018 гг. – максимальная биомасса стрептофитовых (табл. 4.2.2). В 2016 и 2017 гг. основу биомассы составляли диатомовые водоросли, в 2018 и 2019 гг. их доля была минимальной за счет увеличения доли зеленых водорослей, кроме которых в эти годы возрастала доля криптофитовых и эвгленовых, в 2018 г. – динофитовых и стрептофитовых, в 2019 г. – желтозеленых (табл. 5.1.2). В 2016 г. доминировали *Cyclotella meneghiniana* (55%), *Stephanodiscus hantzschii* (23,5%), в 2017 г. – *S. hantzschii* (78,6%), в 2018 г. – *Pediastrum duplex* (25,4%), *Dictyosphaerium pulchellum* (11,1%), в 2019 г. – *Pediastrum boryanum* (14,9%), *Pediastrum duplex* (11,2%), *Cymatopleura elliptica* (10,8%).

Минимальные величины индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, обнаружены в 2016 и 2017 гг., максимальные – в 2018 и 2019 гг. (табл. 4.2.2). Статистически значимых межгодовых различий биомассы миксотрофных организмов в составе ФП не отмечено, хотя наименьшее значение наблюдалось в 2019 г. (табл. 4.2.3). Максимальная доля миксотрофов в

общей биомассе ФП обнаружена в 2018 г. В 2016 и 2017 гг. ФП отличался наибольшей средней индивидуальной массой, в 2018 и 2019 гг. – наименьшей (табл. 4.2.2).

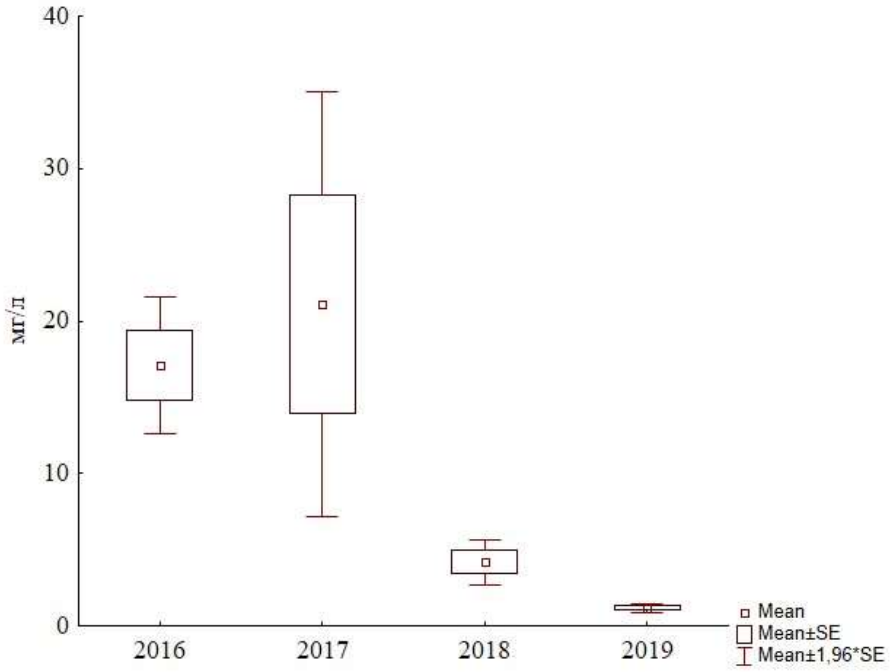

Рис. 4.2.3. Средняя биомасса фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища летом.

По шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976) трофический статус реки в 2016 и 2017 гг. характеризовался как *β*-эвтрофный, в 2018 и 2019 гг. – *β*-мезотрофный, по шкале С.П. Китаева (2007) – в 2016 и 2017 гг. как политрофный, в 2018 г. – *α*-эвтрофный, в 2019 г. – *α*-мезотрофный.

По значениям индекса сапробности воды реки в 2016 и 2017 гг. характеризовались переходным статусом от *β*-мезо- к *α*-мезосапробным, а в 2018 и 2019 гг. величины индекса были статистически значимо меньше и соответствовали *β*-мезосапробным водам (табл. 4.2.2).

Корреляционный анализ показал значительную роль связанных между собой метеорологических условий, в частности, количества атмосферных осадков, и химических параметров воды в формировании ФП. Так, с количеством атмосферных осадков и положительно связанными с ними цветностью, ПО и $N\text{-}NO_2$, коррелировали общая биомасса ФП (соответственно r = 0,56, 0,72, 0,78 и 0,76), биомасса диатомовых (r = 0,58, 0,72, 0,79 и 0,75), их численность (r = 0,57, 0,71, 0,69 и 0,74), а также величина индекса сапробности (r = 0,65, 0,80, 0,94 и 0,83). Индексы Шеннона, рассчитанные по численности и по биомассе, имели отрицательные коэффициенты корреляции с количеством атмосферных осадков (r = -0,74 и -0,55) и цветностью воды (r = -0,71 и -0,86). Кроме этого, при увеличении количества осадков и содержания $P\text{-}PO_4$

снижалась численность криптофитовых (r = -0,64 и -0,72), а также общая численность миксотрофов в составе ФП (r = -0,64 и -0,68). С температурой воды положительно коррелировали численность и биомасса динофитовых (r = 0,50 и 0,53) и стрептофитовых (r = 0,55 и 0,54) водорослей.

Резюме

В р. Урал наиболее значительные изменения летнего ФП в период изучения наблюдались в 2019 г., когда сообщество отличалось минимальными удельным видовым богатством, численностью и биомассой за счет снижения количественных характеристик диатомовых водорослей, на уровне тенденции возрастали число видов, численность и биомасса цианобактерий. Необходимо отметить, что часть изменений в 2019 и 2018 гг. имела сходный характер, в частности, в оба года наблюдалось значительное снижение общей биомассы, количественных характеристик диатомовых водорослей, средней индивидуальной массы, индекса сапробности, а также увеличение индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе. Очевидно, что отмеченные изменения связаны с сокращением поверхностного стока в результате чего снижалось поступление питательных веществ с водосбора. Часть наблюдаемых изменений ФП свидетельствует о процессе деэвтрофирования, что подтверждает снижение количественных характеристик ФП, значений индекса сапробности и увеличение индекса Шеннона. Но одновременно отмечен ряд изменений, напротив, указывающих на увеличение трофности – увеличение доли в общей численности и биомассе цианобактерий и зеленых водорослей, доли в общей биомассе эвгленовых.

Фитопланктонное сообщество Чапаевского плеса

Обнаружены межгодовые изменения физико-химических параметров воды в Чапаевском плесе. В 2018 г. зарегистрированы максимальная температура воды и минимальная концентрация O_2, в 2016 г. – наименьшая температура (табл. 4.2.4). Наибольшая прозрачность и цветность воды, а также величина ПО наблюдались в 2017 г., а в 2016 г. были выше ХПК, $БПК_5$, концентрации $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$, но меньше $P\text{-}PO_4$ и Si. В 2019 г. вода плеса характеризовалась низкими прозрачностью и цветностью, ПО, ХПК, $БПК_5$, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, а также высокой концентрацией $P\text{-}PO_4$, Si и Fe.

Таблица 4.2.4. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Чапаевского плеса летом

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °C	22,6*[b-d]	0,2	23,7*[c]	0,2	28,1*[d]	0,2	23,5	0,1	**223,5**	**0,000**
Прозрачность, м	0,6*[b]	0,1	0,8*[d]	0,1	0,7	0,0	0,6	0,1	**6,2**	**0,017**
Цветность, град	21,7*[c,d]	0,6	24,1*[c,d]	2,6	17,0	0,7	16,7	0,4	**6,8**	**0,014**
O_2, мг/л	8,7*[b]	0,1	11,1*[c,d]	0,9	8,4	0,3	8,8	0,1	**11,2**	**0,005**
O_2, %	99,7*[b]	0,3	129,0*[c,d]	8,0	106,7	4,3	103,7	0,6	**11,1**	**0,005**
ПО, мгO_2/л	5,8*[b,d]	0,5	6,9*[c,d]	0,2	5,4*[d]	0,1	4,3	0,3	**15,7**	**0,001**
ХПК, мгO_2/л	35,0*[b-d]	–	30,0*[c,d]	–	26,0*[d]	1,2	21,0	0,0	**106,0**	**0,000**
$БПК_5$, мгO_2/л	7,1*[b-d]	–	4,8*[c,d]	–	2,1*[d]	0,2	1,5	0,0	**2970,1**	**0,000**
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,463*[b-d]	0,012	0,123	0,020	0,110	0,010	0,077	0,064	**64,5**	**0,000**
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,006*[c,d]	0,002	0,006*[c,d]	0,001	0,001	–	0,000	0,001	**6,2**	**0,017**
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,163*[b]	0,007	0,017	0,012	0,067	0,023	0,103	0,129	2,4	0,140
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,053*[c,d]	0,009	0,069*[d]	0,007	0,090	0,014	0,113	0,004	**8,2**	**0,008**
Si, мг/л	2,200*[b-d]	0,153	3,667	0,067	4,233	0,219	4,233	0,416	**27,7**	**0,000**
Fe, мг/л	0,187*[d]	0,013	0,250	0,070	0,127*[d]	0,020	0,403	0,107	**6,1**	**0,019**

Межгодовые изменения характеристик воды в плесе определялись гидрологическими параметрами водохранилища и метеорологическими условиями. Так, с уровнем водохранилища, объемом притока и стока, количеством атмосферных осадков положительно коррелировали цветность воды, ПО, ХПК, $БПК_5$, $N\text{-}NO_2$, отрицательно – $P\text{-}PO_4$ (табл. 4.2.5). Кроме того, с температурой воздуха обнаружены прямые корреляционные связи прозрачности воды, ПО, ХПК, $БПК_5$, концентрации $N\text{-}NO_2$, а также обратные – $P\text{-}PO_4$, Si и Fe.

Удельное видовое богатство ФП в 2016 г. было статистически значимо меньше, чем в 2017, 2018 и 2019 гг. (p = 0,000, 0,002 и 0,000 соответственно) (рис. 4.2.4) за счет цианобактерий, зеленых, эвгленовых и стрептофитовых водорослей (табл. 4.2.6).

Наименьшая численность ФП была отмечена в 2016 г., она была статистически значимо ниже, чем в 2017 г. (p = 0,000), 2018 г. (p = 0,000) и в 2019 г. (p = 0,011), а 2019 г. – меньше, чем в 2017 г. (p = 0,000) и 2018 г. (p = 0,006) (рис. 4.2.5) за счет цианобактерий и зеленых водорослей (табл. 4.2.6).

Таблица 4.2.5. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Чапаевского плеса летом

Показатель		Температура воды	Прозрачность	Цветность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	0,44	-0,40	-0,26	-0,12	-0,32	-0,54	-0,47	-0,35	-0,19	0,27	0,54	-0,32
Прозрачность		0,44	–	0,23	0,33	0,39	0,06	-0,09	-0,31	-0,02	-0,36	-0,14	0,29	-0,37
Уровень воды	Средний апрель–июль	0,03	0,44	**0,75**	0,40	**0,87**	**0,85**	**0,75**	0,53	**0,70**	-0,08	**-0,83**	-0,55	-0,63
Объем притока	Средний апрель–июль	-0,23	0,13	**0,68**	0,20	**0,75**	**0,98**	**0,94**	**0,82**	**0,74**	0,17	**-0,89**	**-0,82**	-0,62
Объем сброса	Средний апрель–июль	-0,28	0,45	**0,94**	**0,75**	**0,89**	**0,67**	**0,66**	0,32	**0,74**	-0,27	**-0,71**	-0,40	-0,26
Сумма атмосферных осадков	Сумма апрель–июль	-0,22	0,52	**0,79**	**0,91**	**0,65**	0,16	0,19	-0,20	0,46	-0,51	-0,29	0,09	0,14
Температура воздуха	Средняя апрель–июль	-0,23	0,04	0,58	0,07	**0,67**	**0,98**	**0,94**	**0,87**	**0,69**	0,25	**-0,87**	**-0,86**	**-0,64**

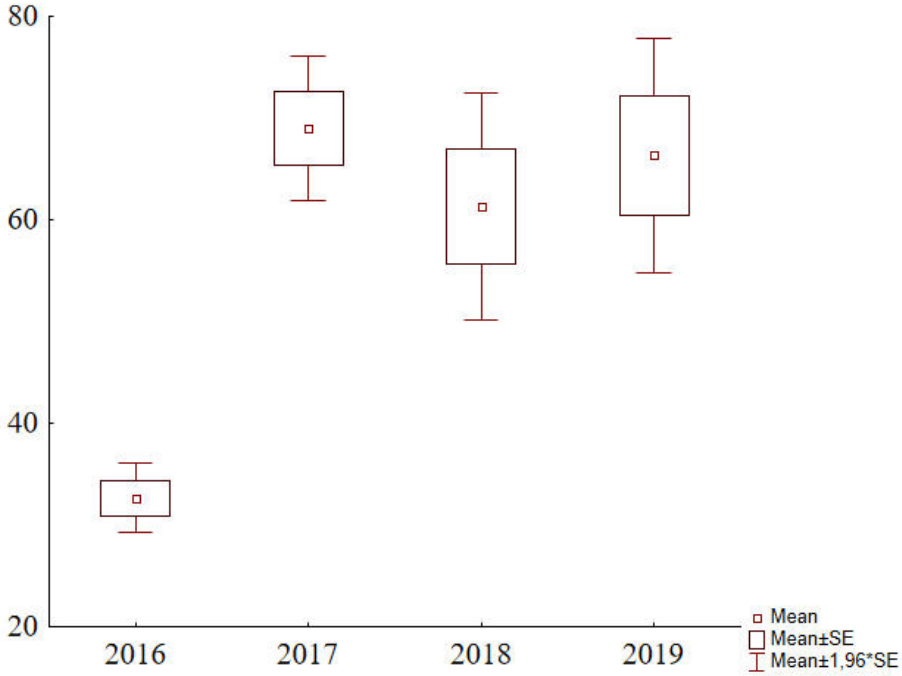

Рис. 4.2.5. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона Чапаевского плеса летом.

Таблица 4.2.6. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Чапаевского плеса летом

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*M*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	7,3	0,9	8,7	1,9	9,3	1,2	10,3	1,5	1,0	0,448
	Cyanobacteria	5,7*[b,c]	0,7	12,0*[d]	0,6	9,7	1,2	8,0	1,7	**8,9**	**0,006**
	Chlorophyta	11,7*[b-d]	2,3	30,3	3,5	28,3	1,2	32,7	5,0	**13,1**	**0,002**
	Cryptophyta	2,0*[b]	0,6	5,0	0,6	3,7	0,9	3,7	0,6	3,9	0,056
	Dinophyta	1,7*[b]	0,3	5,0	1,0	3,0	1,0	2,3	0,6	3,7	0,060
	Euglenophyta	3,3*[d]	0,9	4,0*[d]	0,6	4,3	0,9	7,0	2,0	3,2	0,083
	Streptophyta	0,0*[b]	–	2,7	0,7	1,7	0,9	1,0	1,0	3,2	0,082
	Chrysophyta	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,3	0,802
	Xanthophyta	0,7	0,3	1,0	–	1,0	0,6	1,3	0,6	0,5	0,672
Численность, млн кл./л	Bacillariophyta	1,6*[d]	0,5	0,8*[d]	0,3	2,9*[d]	0,6	6,2	2,1	**10,1**	**0,004**
	Cyanobacteria	4,5*[b,c]	0,9	38,0*[c,d]	2,8	23,6*[d]	1,7	9,7	3,7	**56,0**	**0,000**
	Chlorophyta	0,7*[b-d]	0,2	5,5*[c]	1,4	9,8*[d]	1,1	4,7	1,3	**15,0**	**0,001**
	Cryptophyta	0,1*[b]	0,01	1,7	0,9	0,7	0,2	0,8	0,2	1,9	0,207
	Dinophyta	0,01*[b,c]	0,01	0,2*[d]	0,05	0,2*[d]	0,05	0,0	0,0	**7,8**	**0,009**
	Euglenophyta	0,04*[c]	0,03	0,20*[c]	0,09	1,19*[d]	0,38	0,1	0,1	**7,6**	**0,010**
	Streptophyta	0,00*[c]	–	0,02	0,00	0,07*[d]	0,03	0,0	0,0	3,1	0,087
	Chrysophyta	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,0	0,0	0,4	0,790
	Xanthophyta	0,01*[d]	0,00	0,01	0,00	0,03	0,03	0,1	0,1	2,3	0,158
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	22,3*[b,c]	4,9	1,8*[d]	0,7	7,3*[d]	0,9	28,4	3,7	**20,6**	**0,000**
	Cyanobacteria	66,1*[b,d]	5,9	81,8*[c,d]	0,3	61,8*[d]	1,9	44,0	3,9	**22,2**	**0,000**
	Chlorophyta	9,6*[c,d]	0,7	11,5*[c,d]	2,3	25,4	0,4	22,4	7,2	**10,5**	**0,004**
	Cryptophyta	0,9	0,1	4,0	2,5	1,7	0,5	4,1	1,5	1,5	0,295
	Dinophyta	0,2*[c]	0,1	0,4	0,1	0,5*[d]	0,1	0,1	0,0	3,9	0,055
	Euglenophyta	0,6*[c]	0,3	0,4*[c]	0,2	3,0*[d]	0,9	0,6	0,1	**7,1**	**0,012**
	Streptophyta	0,0*[c]	–	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	2,7	0,114
	Chrysophyta	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,481
	Xanthophyta	0,1	0,1	0,0*[c]	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3	2,1	0,183
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	1,021	0,197	0,664	0,156	0,427	0,107	0,988	0,599	1,6	0,255
	Cyanobacteria	1,404*[d]	0,197	2,040*[c,d]	0,502	0,609*[d]	0,161	0,085	0,070	**9,3**	**0,005**
	Chlorophyta	0,203*[c,d]	0,094	0,809*[c]	0,062	2,272*[d]	0,337	0,351	0,142	**26,8**	**0,000**
	Cryptophyta	0,266*[b]	0,103	1,749*[d]	0,672	0,914	0,345	0,115	0,041	3,8	0,058
	Dinophyta	0,165*[b]	0,093	1,682*[d]	0,746	0,890	0,347	0,060	0,042	3,3	0,079
	Euglenophyta	0,096*[c]	0,055	0,500*[c]	0,198	2,356*[d]	0,774	0,483	0,383	**6,0**	**0,019**
	Streptophyta	0,000*[b]	–	0,059*[d]	0,027	0,036	0,020	0,002	0,002	2,8	0,108

Показа-Тель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*M*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Доля в общей био-массе, %	Chrysophyta	0,003	0,003	0,003	0,003	0,007	0,007	0,000	0,000	0,5	0,698
	Xanthophyta	0,001*[d]	0,001	0,002*[d]	–	0,004*[d]	0,004	0,028	0,020	**4,5**	**0,039**
	Bacillariophyta	32,8*[b-d]	2,2	10,2*[d]	4,3	5,7*[d]	0,5	46,5	5,0	**46,6**	**0,000**
	Cyanobacteria	46,3*[b-d]	4,4	28,1*[c,d]	6,7	8,7	1,9	4,0	2,7	**21,4**	**0,000**
	Chlorophyta	5,5*[c,d]	2,4	11,2*[d]	1,2	33,3*[d]	6,7	17,7	3,3	**10,3**	**0,004**
	Cryptophyta	7,9*[b]	1,7	21,6*[d]	7,4	11,7	2,9	5,9	1,2	2,9	0,100
	Dinophyta	4,3*[b]	2,2	20,1*[d]	8,3	10,6	2,5	2,8	0,9	3,1	0,091
	Euglenophyta	2,9*[c,d]	1,2	8,0*[c,d]	4,5	29,5	3,8	21,4	5,1	**13,2**	**0,002**
	Streptophyta	0,0*[b]	–	0,7	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	3,4	0,073
	Chrysophyta	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,5	0,677
	Xanthophyta	0,1*[d]	0,0	0,0*[d]	0,0	0,0*[d]	0,0	1,5	1,3	3,4	0,075
Индекс Шеннона, бит/кл.		3,08*[b-d]	0,03	3,66*[c]	0,18	4,36*[d]	0,15	3,94	0,12	**18,4**	**0,001**
Индекс Шеннона, бит/мг		2,70*[b-d]	0,18	4,31	0,04	4,41	0,03	4,22	0,31	**39,1**	**0,000**
Индекс сапробности		2,05	0,01	1,98*[d]	0,09	2,04	0,02	2,20	0,10	2,8	0,106
СИМ, 10^{-9} г		0,462*[b-d]	0,034	0,163	0,029	0,191	0,039	0,093	0,028	**27,8**	**0,000**

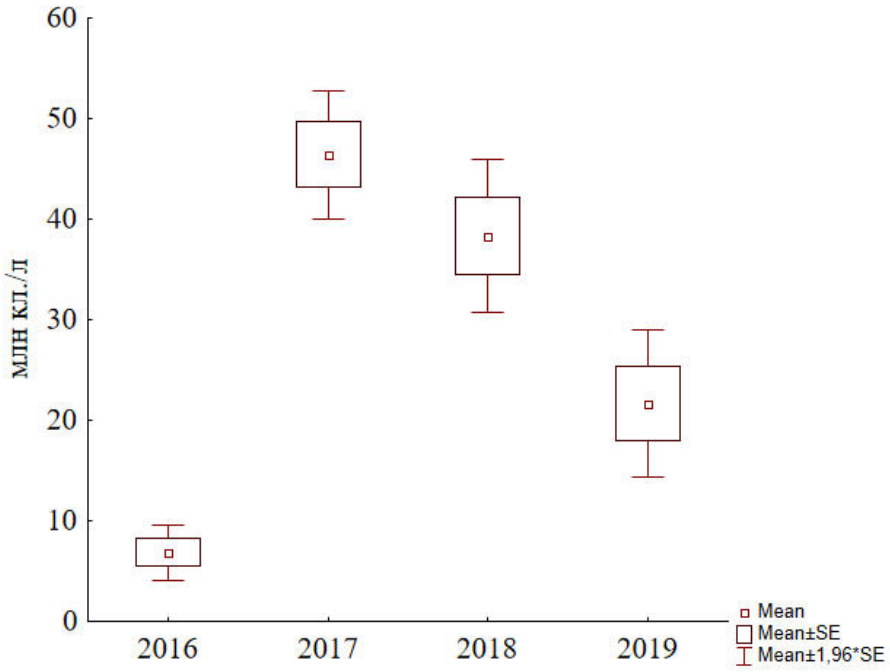

Рис. 4.2.5. Средняя численность фитопланктона Чапаевского плеса летом.

Необходимо отметить, что в 2019 г. статистически значимо выше численность диатомовых водорослей, в 2017 г. – цианобактерий и криптофитовых водорослей, а в 2018 г. – эвгленовых. Ежегодно основу численности ФП формировали Cyanobacteria, которые наиболее высокой доли достигали в 2017 г., низкой – в 2019 г. на фоне изменений относительного обилия Bacillariophyta (табл. 4.2.6). Максимальная доля Chlorophyta зарегистрирована в 2018 и 2019 гг., Euglenophyta – в 2018 г. Доминировали по численности в 2016 г. *Dolichospermum scheremetieviae* (36,6%), *Aulacoseira granulata* (12,3%), в 2017 г. – *Aphanizomenon flosaquae* (20,9%), *Microcystis aeruginosa* (13,8%), *Dolichospermum flosaquae* (10,4%), в 2018 г. – *Aphanocapsa incerta* (14,5%), *Merismopedia tenuissima* (12,9%), в 2019 г. – *Cyclotella* sp. (27,1%).

Наибольший индекс Шеннона, рассчитанный по численности, зарегистрирован в 2018 г., наименьший – в 2016 г. (табл. 4.2.6), а максимальная численность миксотрофных таксонов и их доля в общей численности ФП обнаружена в 2017 и 2018 гг. (табл. 4.2.7).

Таблица 4.2.7. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Чапаевского плеса летом

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*P*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,12*[b,c]	0,04	2,12	0,93	2,05	0,44	1,01	0,19	3,4	0,076
Доля в общей численности, %	1,9*[b,c]	0,5	4,9*[d]	2,5	5,2*[d]	0,7	0,7	0,5	**4,5**	**0,040**
Биомасса, мг/л	0,530	0,242	3,934	1,221	4,167	1,395	4,868	1,353	1,3	0,336
Доля в общей биомассе, %	15,3*[b,c]	4,5	49,8	11,1	51,8	8,2	30,1	3,7	**5,6**	**0,023**

Биомасса ФП в 2016 и 2019 гг. была статистически значимо меньше, чем в 2017 г. (соответственно $p = 0{,}039$ и 0,015) и 2018 г. ($p = 0{,}039$ и 0,015) (рис. 4.2.6).

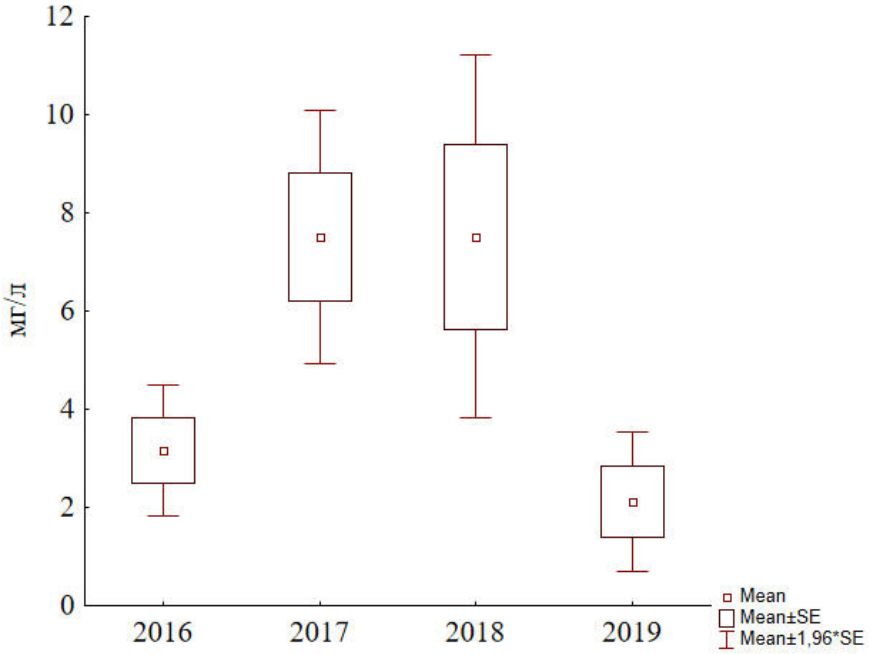

Рис. 4.2.6. Средняя биомасса фитопланктона Чапаевского плеса летом.

В 2016 и 2017 гг. ФП плеса отличался максимальной биомассой цианобактерий, в 2016 и 2019 гг. – минимальной биомассой криптофитовых, динофитовых и стрептофитовых, наибольшая биомасса которых обнаружена в 2017 г. (табл. 4.2.6). Кроме этого, в 2019 г. отмечены максимальные биомассы зеленых и эвгленовых водорослей, а минимальные – в 2016 г., также в 2019 г. обнаружена наибольшая биомасса желтозеленых. В 2017 и 2018 гг. в общей биомассе ФП зарегистрирована минимальная доля диатомовых водорослей (табл. 4.2.6). Наибольшая доля цианобактерий отмечена в 2016 г., наименьшая – в 2019 г., в 2018 и 2019 гг. возрастала доля эвгленовых, в 2019 г. – желтозеленых, в 2017 г. – криптофи-

товых и динофитовых. В 2016 г. по биомассе доминировали *Dolichospermum scheremetieviae* (41,4%), *Aulacoseira granulata* (24,4%), в 2017 г. – *Dolichospermum flosaquae* (15,5%), *Cryptomonas curvata* (14,5%), в 2018 г. – *Trachelomonas* sp. 1 (15.7%), *T. planctonica* (10,1%), в 2019 г. – *Cyclotella* sp. (26,4%) и *Stephanodiscus neoastraea* (10,5%).

В 2016 г. ФП отличался минимальной величиной индекса Шеннона, а также максимальной средней индивидуальной массой (табл. 4.2.6). Статистически значимых различий биомассы миксотрофных таксонов в составе ФП не выявлено, однако наименьшая величина наблюдалась в 2016 г. при максимальной их доле в общей биомассе ФП, а наибольшие – в 2019 и 2018 гг. (табл. 4.2.7).

Биомасса ФП по шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976) в 2016 и 2019 гг. характеризовала плес как β-мезотрофный, а в 2017 и 2018 гг. – α-эвтрофный, по шкале С.П. Китаева (2007) – в 2016 и 2019 гг. – β-мезотрофный, в 2017 и 2018 – α-эвтрофный.

По значениям индекса сапробности воды плеса соответствовали β-мезосапробным (табл. 4.2.6). Об аналогичном статусе свидетельствовали величины $БПК_5$ в 2019 г., а также концентрации $N\text{-}NH_4$ и $P\text{-}PO_4$ в 2016–2018 гг. Однако в 2016 и 2017 гг. по $БПК_5$ вода характеризовалась полисапробными условиями, в 2018 г. – α-мезосапробными, как и в 2019 г. по $P\text{-}PO_4$, а по $N\text{-}NH_4$ в 2019 г. и по $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$ в 2016–2019 гг. – олиго- и ксеносапробными.

Корреляционный анализ показал, что общая численность и биомасса ФП положительно коррелировали с температурой воды (соответственно r = 0,65 и 0,77) и температурой воздуха в июле (r = 0,88 и 0,84). Численность ведущих таксономических групп ФП коррелировала с рядом других факторов: диатомовых – с уровнем воды, объемом притока и концентрацией $P\text{-}PO_4$ (r = -0,88, -0,85 и 0,80), цианобактерий – с температурой воздуха и количеством атмосферных осадков (r = 0,94 и 0,73), зеленых – с температурой воды и $БПК_5$ (r = 0,93 и -0,71), динофитовых и эвгленовых – с температурой воды (r = 0,73 и 0,97). Биомасса цианобактерий коррелировала со связанными между собой уровнем воды (r = 0,89), объемом притока (r = 0,87), а также концентрацией $P\text{-}PO_4$ (r = -0,91), зеленых и эвгленовых – с температурой воды (r = 0,94 и 0,97). Кроме этого, обнаружена связь индекса сапробности с уровнем воды (r = -0,66), индекса Шеннона, рассчитанного по численности – с температурой воды (r = 0,84), объемом притока (r = -0,63), ХПК (r = -0,70), $БПК_5$ (r = -0,85) и $N\text{-}NH_4$

(r = -0,83), индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе – с объемом притока (r = -0,67), ХПК (r = -0,75), $БПК_5$ (r = -0,82) и $N\text{-}NH_4$ (r = -0,93).

Резюме

В верхнем из исследованных плесов водохранилища ФП, отличающийся наиболее специфичными показателями, формировался в 2016 г., когда вода характеризовалась максимальными величинами ХПК, $БПК_5$, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$, что, очевидно, определялось наибольшим объемом притока. Однако в этих условиях ФП характеризовался минимальными удельным видовым богатством, общими численностью и биомассой (наряду с ФП в 2019 г.), численностью и биомассой миксотрофных организмов, индексами Шеннона, числом видов, численностью и биомассой зеленых водорослей, максимальной долей цианобактерий в общей биомассе ФП и средней индивидуальной массой. Среди факторов, отличающих условия формирования ФП в 2016 г., обращает на себя внимание самая низкая температура воды, а также минимальное количество атмосферных осадков в июле, которые могли способствовать сокращению количественных характеристик ФП. О значительной роли температуры также свидетельствует тот факт, что в условиях минимального количества осадков, снижения уровня воды, объемов притока и сброса в 2018 г. численность и биомасса ФП не имели статистически значимых различий с данными 2017 г., отличающегося наибольшими количеством атмосферных осадков в период с апреля по июль, уровнем воды и объемом сброса. В целом, в 2017 и 2018 гг. показатели ФП характеризовали формирование наиболее трофных условий в плесе, о чем, помимо максимальных значений общей численности и биомассы, свидетельствуют наибольшие численность цианобактерий, биомасса криптофитовых и динофитовых водорослей. Одновременно, в 2017 г. ФП также отличался максимальной биомассой цианобактерий и их долей в общей численности. При этом, более трофные условия в эти годы способствовали формированию ФП, характеризующегося наибольшими значениями индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, а в 2018 г. – и по численности. При наибольшем сокращении уровня воды, объемов притока и сброса, но максимальном количестве атмосферных осадков в 2019 г. до минимальных величин, как и в 2016 г., снижались общие численность и биомасса ФП, увеличивались численность диатомовых, а также их доля в общей численности и биомассе.

Фитопланктонное сообщество Софинского плеса

За время изучения максимальная температура воды отмечена в 2016 г., она статистически значимо превышала значения в 2019 г. (табл. 4.2.8). Также в 2016 г. обнаружена наибольшая прозрачность воды и $БПК_5$, наименьшие содержание O_2, $P\text{-}PO_4$. В 2017 г. зафиксированы максимальные цветность воды, O_2, ПО, минимальные $БПК_5$, Fe, в 2018 г. – $P\text{-}PO_4$ и Si, а в 2019 г. вода отличалась наименьшими цветностью, ПО, $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$.

Таблица 4.2.8. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Софинского плеса летом

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °C	23,6*[b]	0,8	22,3	0,1	22,7	0,2	21,7	0,5	3,1	0,088
Прозрачность, м	1,9*[b,c]	0,4	1,0	0,0	1,1	0,1	1,4	0,4	3,1	0,087
Цветность, град	20,2*[b-d]	0,4	24,6*[c,d]	0,4	16,9*[d]	0,4	13,8	2,3	**38,4**	**0,000**
O_2, мг/л	8,4*[b,c]	0,1	10,8*[c,d]	0,2	9,1	0,1	8,8	0,2	**65,5**	**0,000**
O_2, %	99,3*[b,c]	2,0	125,3*[c,d]	2,7	107,7*[d]	2,3	99,7	1,5	**34,0**	**0,000**
ПО, мгO_2/л	5,1*[b,d]	0,3	6,9*[c,d]	0,4	4,8	0,4	4,0	0,3	**15,2**	**0,001**
ХПК, мгO_2/л	30,0	–	29,0	–	28,0	–	22,0	0,0	–	–
$БПК_5$, мгO_2/л	4,6*[b,c]	0,5	0,5*[c,d]	–	2,1*[d]	–	4,1	0,0	**49,8**	**0,000**
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,137	0,038	0,260	0,044	0,163	0,018	0,180	0,113	1,4	0,306
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,003*[d]	0,001	0,003*[d]	–	0,003*[d]	0,000	0,000	0,000	**18,9**	**0,001**
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,070*[d]	0,021	0,033	0,003	0,053*[d]	0,017	0,000	0,000	**5,0**	**0,030**
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,019*[c,d]	0,005	0,036	0,005	0,051	0,010	0,040	0,006	**4,5**	**0,041**
Si, мг/л	1,700*[c]	0,100	2,167	0,328	3,033*[d]	0,371	2,000	0,361	**4,4**	**0,042**
Fe, мг/л	0,153*[b]	0,019	0,043*[c,d]	0,013	0,157	0,034	0,220	0,056	**8,0**	**0,009**

Межгодовые вариации физико-химических параметров воды определялись рядом гидрологических и метеорологических параметров. Так, цветность воды, ХПК, ПО, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$ прямо коррелировали со связанными между собой уровнем воды, объемом притока и сброса, количеством атмосферных осадков, величина $БПК_5$ была отрицательно связана с количеством осадков, а Fe – с уровнем воды, суммой атмосферных осадков и объемом сброса (табл. 4.2.9).

Статистически значимых различий удельного видового богатства в плесе не отмечено (рис. 4.2.7), хотя наибольшие значения обнаружены в 2017 и 2018 гг. за счет зеленых водорослей (табл. 4.2.10).

Средняя численность ФП в 2017 г. была статистически значимо больше, чем в 2019 г. (рис. 4.2.8) за счет цианобактерий (табл. 4.2.10). Основу численности ФП во все исследованные годы формировали цианобактерии, однако в 2018 и 2019 гг. отмечена их минимальная доля на фоне увеличения доли зеленых водорослей, а также диатомовых в 2019 г. (табл. 4.2.10).

Таблица 4.2.9. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Софинского плеса летом

Показатель		Температура воды	Прозрачность	Цветность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	0,03	0,18	-0,34	-0,04	0,50	0,41	-0,42	0,36	0,36	-0,42	-0,04	0,09
Прозрачность		0,03	–	-0,10	-0,57	-0,20	0,29	0,51	-0,37	0,28	0,43	-0,45	-0,43	0,27
Уровень воды	Средний апрель–июль	0,34	0,10	**0,83**	0,45	**0,77**	**0,95**	-0,48	0,03	**0,82**	0,52	-0,21	0,02	**-0,65**
Объем притока	Средний апрель–июль	0,54	0,46	**0,69**	0,05	0,53	**0,94**	-0,02	-0,18	**0,74**	**0,63**	-0,51	-0,26	-0,39
Объем сброса	Средний апрель–июль	-0,28	-0,08	**0,97**	**0,74**	**0,90**	**0,64**	-0,59	0,33	0,45	0,14	-0,27	-0,22	**-0,82**
Сумма атмосферных осадков	Сумма апрель–июль	0,05	-0,37	**0,83**	**0,92**	**0,84**	0,24	**-0,74**	0,54	0,11	-0,21	-0,04	-0,14	**-0,81**
Температура воздуха	Средняя апрель–июль	**0,61**	0,55	0,55	-0,13	0,38	**0,91**	0,14	-0,29	**0,73**	**0,69**	-0,54	-0,27	-0,25

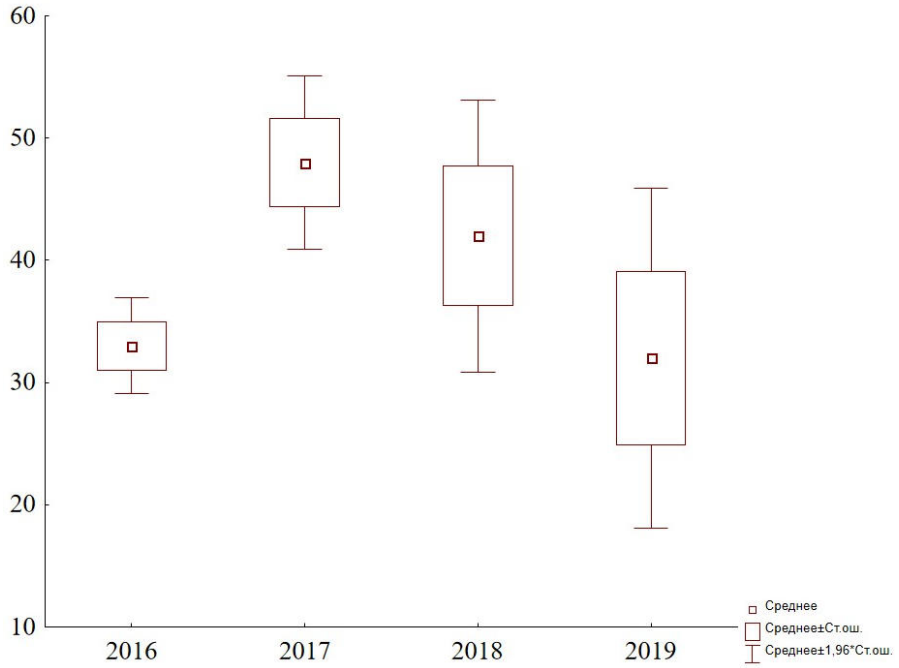

Рис. 4.2.7. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона Софинского плеса летом.

Таблица 4.2.10. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Софинского плеса летом

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	9,3	3,9	6,3	0,9	9,3	0,7	9,7	2,1	0,5	0,668
	Cyanobacteria	7,3	0,7	10,0	1,7	6,7	0,9	6,7	1,5	2,0	0,190
	Chlorophyta	7,3*[b,c]	1,5	22,3*[d]	3,2	18,0	1,7	10,3	5,5	**7,5**	**0,010**
	Cryptophyta	4,3*[d]	0,9	2,7	0,3	3,3	1,2	1,3	0,6	2,6	0,125
	Dinophyta	2,7	0,3	4,0	–	2,0	1,2	2,0	1,7	1,5	0,298
	Euglenophyta	1,0	–	0,7	0,3	1,3	0,9	0,3	0,6	0,7	0,557
	Streptophyta	1,0	–	1,3	0,3	0,7	0,3	1,0	0,0	1,3	0,330
	Chrysophyta	0,0	–	0,3	0,3	0,0	–	0,7	1,2	0,7	0,561
	Xanthophyta	0,0	–	0,3	0,3	0,7	0,3	0,0	0,0	1,8	0,219
Численность, млн кл./л	Bacillariophyta	0,95	0,22	0,68	0,10	1,03	0,24	1,30	0,72	0,9	0,478
	Cyanobacteria	12,75	2,11	23,59*[c,d]	6,51	9,58	3,13	3,65	2,16	**4,8**	**0,034**
	Chlorophyta	0,43*[b,c]	0,16	2,18	0,63	2,12	0,69	0,66	0,21	3,8	0,059
	Cryptophyta	0,38	0,18	0,45	0,25	0,38	0,22	0,06	0,05	0,8	0,517
	Dinophyta	0,041	0,018	0,048	0,006	0,024	0,016	0,01	0,01	1,9	0,205
	Euglenophyta	0,010	0,001	0,008	0,004	0,027	0,019	0,00	0,00	1,2	0,356
	Streptophyta	0,019	0,010	0,012	0,002	0,009	0,005	0,01	0,00	1,0	0,457
	Chrysophyta	0,000	–	0,002	0,002	0,000	–	0,00	0,00	0,7	0,578
	Xanthophyta	0,000	–	0,002	0,002	0,009	0,005	0,00	0,00	2,5	0,136
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	6,9*[d]	2,1	3,1*[d]	1,2	9,8	4,6	23,7	11,9	**4,3**	**0,044**
	Cyanobacteria	87,0*[c,d]	1,6	86,9*[c,d]	1,0	71,2	3,9	62,2	10,8	**10,5**	**0,004**
	Chlorophyta	3,3*[c,d]	1,4	8,0*[c]	0,6	15,8	4,0	12,2	2,5	**5,6**	**0,023**
	Cryptophyta	2,4	0,8	1,6	0,6	2,8	1,9	1,4	1,7	0,3	0,832
	Dinophyta	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,841
	Euglenophyta	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	1,1	0,393
	Streptophyta	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	1,3	0,337
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	0,0	0,0	–	0,1	0,1	0,9	0,484
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,8	0,105
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	0,894	0,389	0,683	0,011	0,377*[d]	0,031	1,382	0,703	2,3	0,160
	Cyanobacteria	1,579*[c,d]	0,490	0,821	0,219	0,405	0,109	0,043	0,024	**5,8**	**0,021**
	Chlorophyta	0,148*[b-d]	0,062	0,215	0,080	0,226	0,089	0,035	0,014	1,7	0,246
	Cryptophyta	0,649*[b,c]	0,064	0,052	0,040	0,115	0,051	0,009	0,003	**42,8**	**0,000**
	Dinophyta	0,387*[b]	0,127	1,223*[c,d]	0,232	0,196	0,135	0,264	0,081	**10,1**	**0,004**
	Euglenophyta	0,016	0,002	0,004	0,002	0,048	0,024	0,023	0,039	1,2	0,355
	Streptophyta	0,074	0,049	0,015	0,008	0,027	0,025	0,023	0,024	0,9	0,500

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Доля в общей биомассе, %	Chrysophyta	0,000	–	0,001	0,001	0,000	–	0,001	0,002	0,7	0,589
	Xanthophyta	0,000	–	0,001	0,001	0,008	0,006	0,000	0,000	1,6	0,254
	Bacillariophyta	25,4*[d]	12,5	24,2*[d]	4,5	30,0*[d]	8,7	74,4	16,5	**6,7**	**0,014**
	Cyanobacteria	41,0*[d]	11,6	26,3*[d]	3,3	29,5*[d]	6,2	2,7	2,2	**5,6**	**0,023**
	Chlorophyta	4,0*[c]	1,7	6,5	1,8	16,6*[d]	6,0	2,2	1,2	3,9	0,055
	Cryptophyta	17,4*[b-d]	1,5	1,6	1,0	7,3*[d]	3,0	0,5	0,2	**18,7**	**0,001**
	Dinophyta	10,0*[b]	2,5	40,6*[c,d]	3,4	11,3	7,1	16,9	10,6	**7,7**	**0,010**
	Euglenophyta	0,4	0,0	0,1	0,1	3,0	1,5	1,8	3,2	1,2	0,361
	Streptophyta	1,8	1,1	0,6	0,5	1,9	1,7	1,3	1,4	0,3	0,854
	Chrysophyta	0,0	–	0,1	0,1	0,0	–	0,1	0,2	0,7	0,554
	Xanthophyta	0,00	–	0,03	0,03	0,44	0,31	0,0	0,0	1,9	0,207
Индекс Шеннона, бит/кл.		3,19	0,12	3,47	0,12	3,37	0,27	3,22	0,55	0,3	0,798
Индекс Шеннона, бит/мг		3,17*[d]	0,08	3,57*[d]	0,17	3,94*[d]	0,24	2,25	0,70	**8,3**	**0,008**
Индекс сапробности		1,97*[d]	0,08	1,91*[d]	0,05	2,10	0,10	2,26	0,04	**5,0**	**0,031**
СИМ, 10^{-9} г		0,26	0,02	0,12*[d]	0,02	0,11*[d]	0,01	0,340	0,122	**8,6**	**0,007**

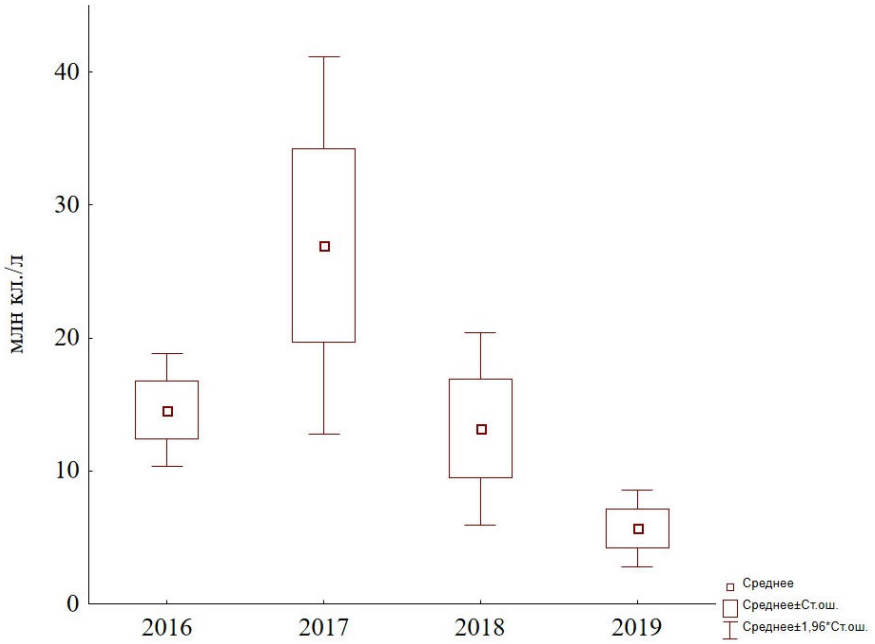

Рис. 4.2.8. Средняя численность фитопланктона Софинского плеса летом.

В 2016 г. по численности доминировали *Pseudanabaena mucicola* (15,8%), *Aphanocapsa incerta* (13,5%), *Dolichospermum scheremetieviae* Elenkin (13%), *D. flosaquae* (10,4%), в 2017 г. – *Aphanizomenon flosaquae* (23%), *Dolichospermum flosaquae* (14,2%), *Aphanocapsa incerta* (12,9%), *Aphanocapsa sp.* (12,1%), в 2018 г. – *Aphanocapsa incerta* (21,8%), *Aphanizomenon flosaquae* (20,9%), в 2019 г. – *Aphanocapsa incerta* (27,2%), *Aphanocapsa holsatica* (21,3,6%), *Aulacoseira granulata* (15,3%).

Статистически значимых различий величин индекса Шеннона, рассчитанного по численности, не обнаружено, хотя максимальное значение наблюдалось в 2017 г. (табл. 4.2.10). Наибольшая численность миксотрофных таксонов была в 2017 г., наименьшая – в 2019 г., а их доля в общей численности – в 2018 и 2019 гг. соответственно (табл. 4.2.11).

Таблица 4.2.11. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Софинского плеса летом

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,43	0,20	0,51*[d]	0,25	0,44	0,23	0,08	0,06	0,9	0,461
Доля в общей численности, %	2,7*[d]	0,8	1,9	0,6	3,1*[d]	1,9	0,3	0,1	**7,2**	**0,012**
Биомасса, мг/л	1,052	0,187	1,280	0,238	0,359	0,197	1,783	2,136	0,2	0,859
Доля в общей биомассе, %	27,8	3,3	42,3	2,5	21,6	10,6	19,3	14,1	2,2	0,168

Биомасса ФП в 2016 и в 2017 гг. была статистически значимо выше, чем в 2018 г. (p = 0,002 и 0,005) и 2019 г. (p = 0,013 и 0,042) (рис. 4.2.9), причем, в 2016 г. за счет цианобактерий и криптофитовых водорослей, а в 2017 г. – динофитовых (табл. 4.2.10).

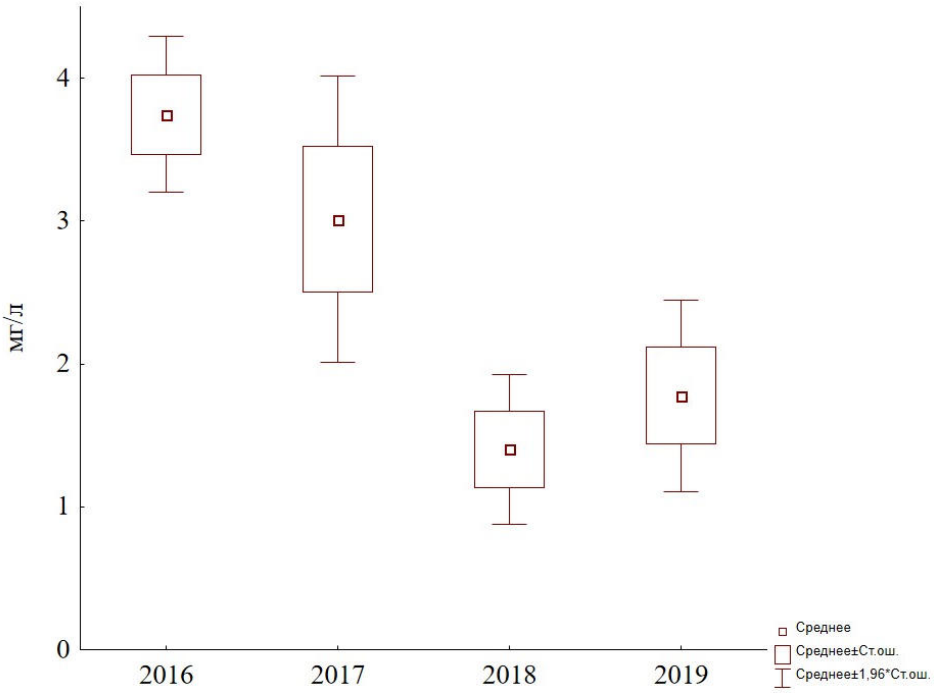

Рис. 4.2.9. Средняя биомасса фитопланктона Софинского плеса летом.

Практически ежегодно основу биомассы составляли разные отделы: в 2016 г. – цианобактерии, диатомовые и криптофитовые водоросли, в 2017 г. – динофитовые, цианобактерии и диатомовые, в 2018 г. – диатомовые, цианобактерии и зеленые, в 2019 г. – диатомовые (табл. 4.2.10). Доминировали по биомассе в 2016 г. *Dolichospermum scheremetieviae* (26%), *Aulacoseira granulata* (18,5%), в 2017 г. – *Ceratium hirundinella* (21,6%), *Aulacoseira granulata* (14%), *Diplopsalis acuta* (13,2%), в 2018 г. – *Aphanizomenon flosaquae* (12,3%), *Stephanodiscus hantzschii* (11,7%), в 2019 г. – *Aulacoseira granulata* (62,7%).

В 2019 г. отмечена минимальная величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, и максимальная средняя индивидуальная масса, а минимальная наблюдалась в 2017 и 2018 гг. (табл. 4.2.10). Статистически значимых различий биомассы миксотрофных таксонов

и их доли в общей биомассе ФП не обнаружено, хотя наибольшие значения зарегистрированы в 2019 и 2017 гг. соответственно (табл. 4.2.11).

По шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976) трофический статус плеса по биомассе ФП в 2016–2019 гг. оценивался как β-мезотрофный, по шкале С.П. Китаева (2007) в 2016 и 2017 гг. – β-мезотрофный, 2018 и 2019 гг. – α-мезотрофный.

Максимальная величина индекса сапробности зарегистрирована в 2019 г., минимальная – в 2016 г., хотя в течение всего времени изучения его значения соответствовали β-мезосапробными водам (табл. 4.2.10). Как свидетельствуют гидрохимические характеристики, аналогичное качество воды ежегодно характеризовали величины $N\text{-}NH_4$, а также $P\text{-}PO_4$ в 2018 и 2019 гг. Однако по $БПК_5$ воды плеса в 2016 и 2019 гг. соответствовали полисапробным условиям, в 2017 г. – олигосапробным, в 2018 г. – переходному состоянию от β-мезо- к α-мезосапробным, а по ПО, $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$ – ксено- и олигосапробным (табл. 4.2.8).

Выявлено, что удельное видовое богатство ФП положительно коррелировало с концентрацией O_2 (r = 0,62) и ПО (r = 0,63), отрицательно – с $БПК_5$ (r = -0,67). Удельное видовое богатство зеленых водорослей также имело прямые связи с O_2 (r = 0,75) и ПО (r = 0,64), обратные – с $БПК_5$ (r = -0,79) и прозрачностью воды (r = -0,72); удельное видовое богатство цианобактерий возрастало при увеличении объема сброса (r = 0,63), суммы осадков (r = 0,64), цветности (r = 0,68) и ПО (r = 0,82); криптофитовых – при увеличении температуры воды (r = 0,78), динофитовых – цветности и ПО (r = 0,64 и 0,61). Численность ФП положительно коррелировала с уровнем воды (r = 0,65), объемом сброса (r = 0,73), суммой осадков (r = 0,67), цветностью (r = 0,74) и ПО (r = 0,84); численность динофитовых – с температурой (r = 0,61) и цветностью (r = 0,66) воды; стрептофитовых – с температурой воды (r = 0,74); зеленых – с ПО (r = 0,61), $P\text{-}PO_4$ (r = 0,70), Si (r = 0,80) и отрицательно – с $БПК_5$ (r = -0,67). Биомасса ФП возрастала при увеличении объемов притока (r = 0,80) и сброса (r = 0,62), температуры воздуха (r = 0,77), цветности (r = 0,65) и ХПК (r = 0,62), биомасса диатомовых – при увеличении прозрачности (r = 0,68), цианобактерий – температуры воды (r = 0,84) и воздуха (r = 0,79), объема притока (r = 0,77), ХПК (r = 0,65), криптофитовых – прозрачности (r = 0,74), температуры воды (r = 0,66) и воздуха (r = 0,81), объема притока (r = 0,72), а биомасса динофитовых прямо коррелировала с объемом сброса (r = 0,82) и суммой осадков (r = 0,88), цветностью воды (r = 0,84), концентрацией O_2 (r = 0,79). Средняя индивидуальная масса возрастала при увеличении $БПК_5$ (r = 0,78) и снижении концентрации Si (r = -0,70), а индекс сапробности – при снижении уровня воды (r = -0,73), цветности (r = -0,76) и ПО (r = -0,74).

Резюме

В наибольшей степени специфичные показатели формировались в 2017 г., когда ФП отличался наибольшей общей численностью за счет цианобактерий, плотностью миксотрофных организмов, величиной индекса Шеннона, рассчитанного по численности, общей биомассой за счет динофитовых водорослей, а также минимальной СИМ. Очевидно, ведущую роль в формировании ФП играл объем притока, обеспечивающий наибольшее поступление веществ с водосбора, а также объем сброса, обеспечивающий проникновение питательных веществ до плеса. В пользу такого предположения свидетельствуют также показатели ФП в 2016 и 2018 гг. Так, в 2016 г., который отличался наибольшим объемом притока и температурой воздуха, а также более высокими, чем в 2018 г., уровнем воды и объемом сброса, ФП характеризовался высокой биомассой, не имеющей статистически значимых различий с данными в 2017 г., основа которой была представлена цианобактериями.

Следовательно, наиболее благоприятные условия для формирования количественно богатого ФП в плесе наблюдались при увеличении объема притока, обеспечивающего поступление питательных веществ с водосбора, а также при повышении объемов сброса, определяющего проникновение веществ по продольному профилю водохранилища, в частности, до среднего плеса.

Фитопланктонное сообщество Таналык-Суундукского плеса

Воды плеса в 2018 г. отличались наибольшей температурой, в 2017 г. – наименьшей, а в 2019 г. зарегистрирована максимальная прозрачность (табл. 4.2.12). В 2016 г. вода характеризовалась максимальными концентрациями $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$ и величиной $БПК_5$. В 2017 г. наблюдалась максимальная ПО, в 2017 и 2018 гг. – концентрации $P\text{-}PO_4$ и Si.

Таблица 4.2.12. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Таналык-Суундукского плеса летом

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	22,1	0,5	20,9*c	0,5	23,2	0,2	22,1	0,6	**5,8**	**0,021**
Прозрачность, м	2,0*d	0,1	1,9*d	0,2	1,7*d	–	2,8	0,3	**9,0**	**0,006**
Цветность, град	15,0	1,0	12,6	1,8	15,2	0,3	12,8	1,9	1,4	0,310
O_2, мг/л	8,4*d	0,2	8,7	0,1	8,6	0,2	9,1	0,1	2,8	0,106
O_2, %	97,3	2,4	102,0	1,0	103,0	2,6	104,3	2,1	2,4	0,140
ПО, мгO_2/л	3,9*b	0,4	5,6*c,d	0,1	4,3	–	4,2	0,2	**15,1**	**0,001**
ХПК, мгO_2/л	24,0	–	25,0	–	27,0	–	25,0	0,0	–	–
$БПК_5$, мгO_2/л	3,9*c,d	0,9	2,6	–	0,9	–	0,8	0,0	**11,6**	**0,003**
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,257*b-d	0,048	0,133*c	0,027	0,001	0,001	0,023	0,012	**17,7**	**0,001**
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,008*b-d	0,000	0,001*c	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	**81,1**	**0,000**
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,093	0,027	0,037	0,036	0,057	0,015	0,017	0,012	1,9	0,215
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,010*b,c	0,001	0,028*d	0,001	0,030*d	0,003	0,006	0,002	**49,1**	**0,000**
Si, мг/л	1,933*b,c	0,088	0,800*c,d	0,153	2,700*d	0,306	1,533	0,058	**20,0**	**0,000**
Fe, мг/л	0,097	0,003	0,137	0,035	0,127	0,013	0,087	0,015	1,5	0,287

Со связанными между собой уровнем воды, объемами притока и сброса положительно коррелировали $БПК_5$, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, $P\text{-}PO_4$, отрицательно – температура воды, ее прозрачность, O_2 и Si (табл. 4.2.13). Одновременно с температурой воздуха прямо были связаны $БПК_5$, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, обратно – прозрачность воды и O_2.

Максимальное удельное видовое богатство ФП зафиксировано в 2018 г., оно статистически значимо отличалось от показателей в 2016 и 2017 гг. (p = 0,006 и 0,005) (рис. 4.2.10) за счет цианобактерий, диатомовых, зеленых и динофитовых водорослей (табл. 4.2.14).

Статистически значимых межгодовых различий численности не зафиксировано, но в 2018 г. она была выше, чем в 2016 и 2017 гг. в 1,4 и 1,9 раз соответственно за счет увеличения плотности динофитовых (рис. 4.2.11, табл. 4.2.14). В 2019 г. обнаружена максимальная численность зеленых водорослей. Ежегодно основа численности была сформирована цианобактериями, однако в 2019 г. их доля значительно снижалась на фоне увеличения относительного обилия диатомовых и зеленых водорослей (табл. 4.2.14).

Таблица 4.2.13. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Таналык-Суундукского плеса летом

Показатель		Температура воды	Прозрачность	Цветность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	-0,01	0,34	-0,20	-0,51	0,53	-0,45	-0,35	0,06	0,51	0,02	**0,71**	-0,38
Прозрачность		-0,01	–	-0,54	0,43	-0,20	-0,33	-0,21	-0,19	-0,08	-0,19	**-0,67**	-0,34	**-0,68**
Уровень воды	Средний апрель–июль	-0,26	**-0,75**	0,16	**-0,58**	0,43	-0,08	**0,61**	0,54	0,25	0,38	**0,59**	-0,12	0,43
Объем притока	Средний апрель–июль	-0,22	**-0,62**	0,24	**-0,66**	0,12	-0,39	**0,82**	**0,79**	**0,63**	0,53	0,23	-0,06	0,21
Объем сброса	Средний апрель–июль	**-0,64**	-0,42	-0,17	-0,31	**0,71**	-0,34	**0,58**	0,53	0,05	0,13	0,43	**-0,61**	0,39
Сумма атмосферных осадков	Сумма апрель–июль	**-0,72**	-0,12	-0,40	0,04	**0,88**	-0,22	0,24	0,19	-0,35	-0,19	0,40	**-0,80**	0,37
Температура воздуха	Средняя апрель–июль	-0,12	**-0,61**	0,32	**-0,68**	-0,03	-0,39	**0,81**	**0,80**	**0,73**	**0,58**	0,14	0,06	0,14

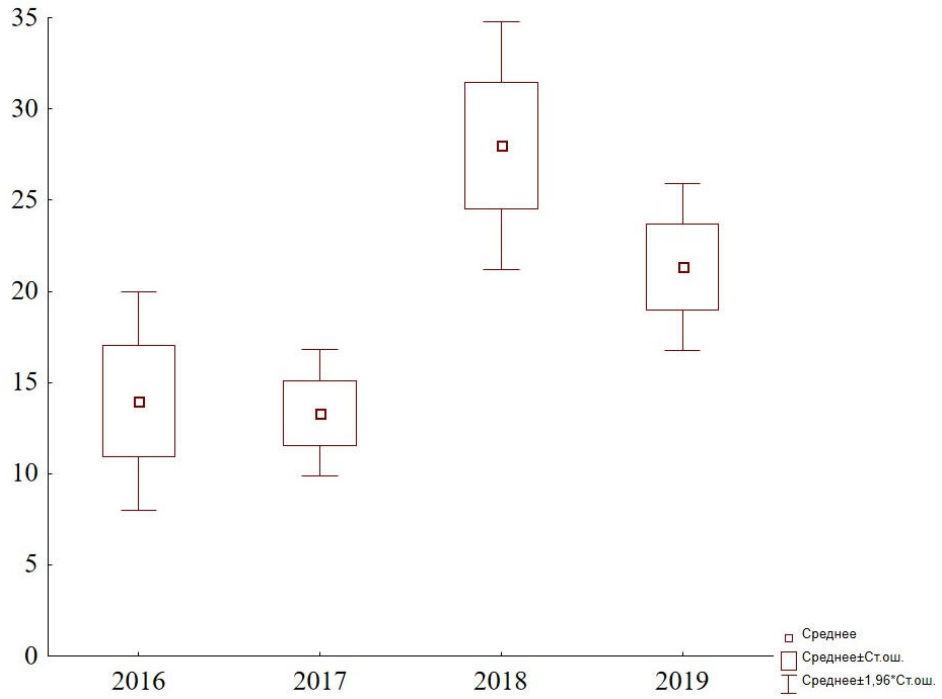

Рис. 4.2.10. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона Таналык-Суундукского плеса летом.

Таблица 4.2.14. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Таналык-Суундукского плеса летом

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	3,7*c,d	0,3	4,3 c,d	0,7	8,3	1,5	7,7	0,6	**7,9**	**0,009**
	Cyanobacteria	3,0*c	1,0	3,7	1,2	6,0	0,6	5,3	1,2	2,4	0,140
	Chlorophyta	2,3*c,d	0,9	1,7*c,d	0,3	5,3	0,9	6,0	1,7	**6,9**	**0,013**
	Cryptophyta	2,3	1,2	2,3	0,3	3,0*d	0,6	0,3	0,6	2,7	0,119
	Dinophyta	1,0*c	–	1,0*c	–	3,0	0,6	1,7	1,2	**4,6**	**0,038**
	Euglenophyta	0,0	–	0,0	–	0,3	0,3	0,0	0,0	1,0	0,441
	Streptophyta	1,7	0,7	0,3	0,3	1,7	0,9	0,3	0,6	1,6	0,256
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,3	0,3	0,0	0,0	1,0	0,441
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Численность, млн кл/л	Bacillariophyta	0,581	0,087	0,886	0,469	0,836	0,180	0,607	0,314	0,3	0,804
	Cyanobacteria	4,932	3,603	3,119	2,461	6,873	1,678	0,530	0,492	1,3	0,331
	Chlorophyta	0,116	0,027	0,049*d	0,020	0,126	0,021	0,335	0,270	2,4	0,148
	Cryptophyta	0,136	0,069	0,078	0,031	0,048	0,027	0,126	0,218	0,3	0,820
	Dinophyta	0,008*c	0,003	0,028	0,001	0,045*d	0,013	0,014	0,013	**4,6**	**0,037**
	Euglenophyta	0,000	–	0,000	–	0,001	0,001	0,000	0,000	1,0	0,441
	Streptophyta	0,011	0,004	0,002	0,002	0,010	0,005	0,002	0,003	2,2	0,160
	Chrysophyta	0,000	–	0,000	–	0,001	0,001	0,000	0,000	1,0	0,441
	Xanthophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	21,93	11,70	28,82	5,46	10,84*d	1,24	38,5	2,5	3,2	0,084
	Cyanobacteria	69,90*d	14,28	61,16	9,82	86,16*d	1,42	30,0	20,3	**5,1**	**0,030**
	Chlorophyta	4,90*d	3,30	4,84*d	3,06	1,73*d	0,37	19,1	4,8	**8,7**	**0,007**
	Cryptophyta	2,69	1,91	3,07	1,26	0,59	0,27	11,5	20,0	0,7	0,591
	Dinophyta	0,22	0,06	2,09	1,24	0,55	0,04	0,7	0,3	1,7	0,239
	Euglenophyta	0,00	–	0,00	–	0,01	0,01	0,0	0,0	1,0	0,441
	Streptophyta	0,36*b	0,19	0,02	0,02	0,10	0,06	0,1	0,1	2,2	0,169
	Chrysophyta	0,00	–	0,00	–	0,01	0,01	0,0	0,0	1,0	0,441
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0	–	–
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	0,263	0,061	0,637	0,329	0,748	0,187	0,541	0,410	0,8	0,505
	Cyanobacteria	0,163	0,134	0,058*c	0,026	0,572*d	0,236	0,022	0,019	3,4	0,073
	Chlorophyta	0,042	0,022	0,014	0,006	0,041	0,015	0,017	0,010	1,2	0,359
	Cryptophyta	0,069	0,048	0,021	0,008	0,039	0,017	0,006	0,010	1,1	0,403
	Dinophyta	0,258*c	0,167	1,202	0,252	1,833*d	0,621	0,413	0,392	4,1	0,050
	Euglenophyta	0,000	–	0,000	–	0,003	0,003	0,000	0,000	1,0	0,441

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Доля в общей биомассе, %	Streptophyta	0,123	0,090	0,744	0,744	0,119	0,064	0,001	0,002	0,8	0,528
	Chrysophyta	0,000	–	0,000	–	0,001	0,001	0,000	0,000	1,0	0,441
	Xanthophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
	Bacillariophyta	37,5	12,3	20,8^{*d}	5,5	24,5^{*d}	4,3	56,1	7,7	**4,6**	**0,037**
	Cyanobacteria	12,0	6,1	2,0^{*c}	0,4	17,7^{*d}	4,0	2,5	2,3	**4,2**	**0,047**
	Chlorophyta	4,7^{*b,c}	1,4	0,8	0,4	1,2	0,2	2,1	1,3	**4,3**	**0,043**
	Cryptophyta	11,7	10,4	0,9	0,4	1,0	0,3	1,0	1,8	1,0	0,426
	Dinophyta	23,9	4,3	58,4	21,5	52,7	3,1	38,3	10,3	1,8	0,220
	Euglenophyta	0,00	–	0,00	–	0,07	0,07	0,0	0,0	1,0	0,441
	Streptophyta	10,3	3,3	17,2	17,2	2,8	1,6	0,1	0,1	0,8	0,541
	Chrysophyta	0,00	–	0,00	–	0,01	0,01	0,0	0,0	1,0	0,441
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0	–	–
Индекс Шеннона, бит/кл.		1,90^{*b,d}	0,33	2,72	0,16	2,11^{*d}	0,22	3,10	0,45	**4,9**	**0,033**
Индекс Шеннона, бит/мг		2,78^{*b,d}	0,25	1,35^{*c}	0,29	2,84^{*d}	0,05	1,84	0,35	**11,5**	**0,003**
Индекс сапробности		1,68^{*d}	0,04	1,68^{*d}	0,19	1,68^{*d}	0,03	2,05	0,09	3,5	0,071
СИМ, 10^{-9} г		0,223^{*b}	0,122	1,388	1,127	0,403	0,074	0,569	0,131	2,4	0,141

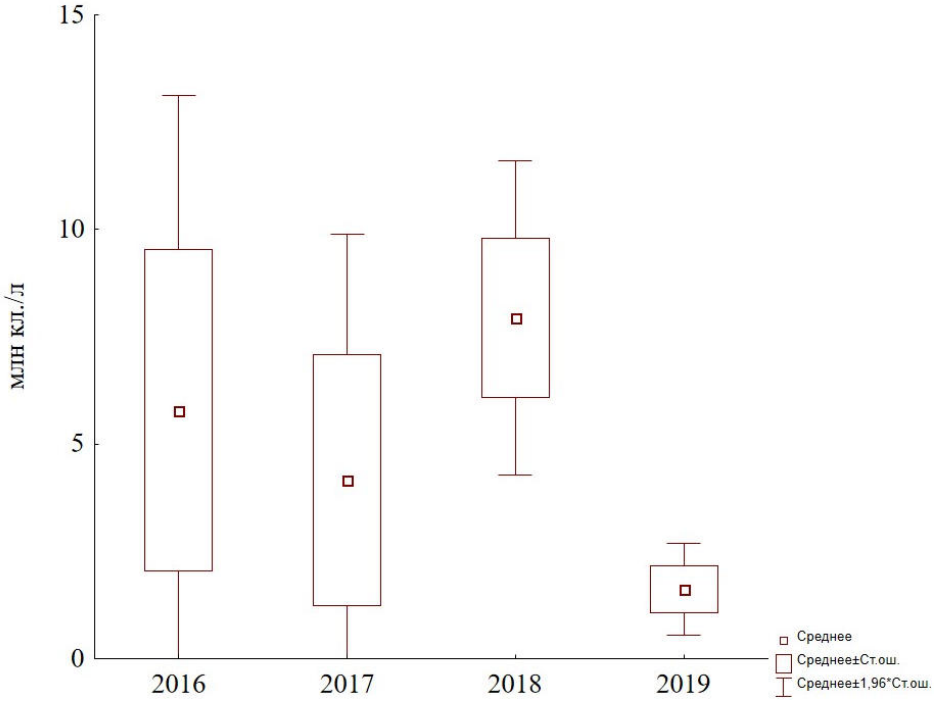

Рис. 4.2.11. Средняя численность фитопланктона Таналык-Суундукского плеса летом.

В 2016 г. 72,9% от общей численности составлял *Aphanizomenon flosaquae* (72,9%), в 2017 г. доминировали *Microcystis aeruginosa* (24,6%), *Aphanocapsa incerta* (20,6%), *Aulacoseira granulata* (14,4%), *Aphanizomenon flosaquae* (12,4%), *Coelosphaerium kuetzingianum* (12,4%), в 2018 г. – *Aphanizomenon flosaquae* (60,7%), *Aphanocapsa incerta* (11,1%), в 2019 г. – *Aulacoseira granulata* (24,4%), *Dolichospermum flosaquae* (11,1%), *Cyclotella* sp. (10,6%), *Monoraphidium contortum* (10,4%).

Наибольшая величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности, отмечена в 2019 г., наименьшая – в 2016 г. (табл. 4.1.14). Статистически значимых различий численно-

сти миксотрофных организмов и их доли в общей численности ФП не обнаружено, хотя максимальная доля наблюдалась в 2019 г. (табл. 4.2.15).

Таблица 4.2.15. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Таналык-Суундукского плеса летом

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,14	0,12	0,11	0,05	0,10	0,06	0,14	0,21	0,1	0,955
Доля в общей численности, %	2,9	3,3	5,2	3,3	1,2	0,5	12,3	20,0	0,7	0,590
Биомасса, мг/л	0,33[*c]	0,28	1,22	0,44	1,88[*d]	1,11	0,42	0,39	3,9	0,055
Доля в общей биомассе, %	35,5	16,2	59,3	37,5	53,8	6,0	39,3	11,3	0,9	0,504

С 2016 по 2018 гг. возрастала общая биомасса ФП, но в 2019 г. вновь снижалась, а различия между данными в 2016 и 2018 гг. были статистически значимыми (p = 0,047) (рис. 4.2.12). При этом в 2018 г. обнаружена максимальная биомасса цианобактерий и динофитовых водорослей (табл. 4.2.14).

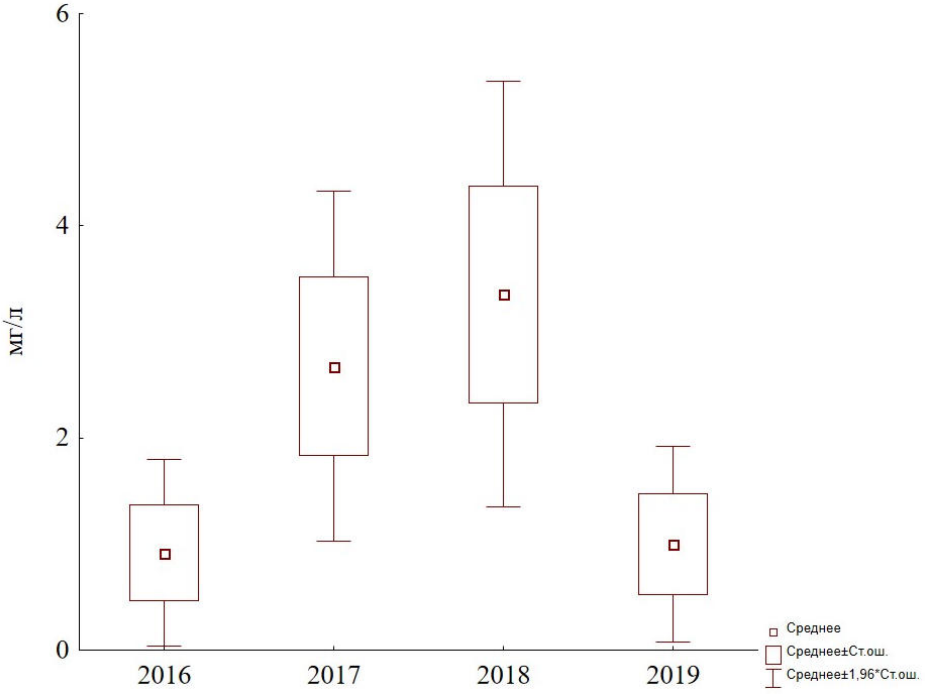

Рис. 4.2.12. Средняя биомасса фитопланктона Таналык-Суундукского плеса летом.

В 2019 и 2016 гг. ФП характеризовался максимальной долей диатомовых и зеленых водорослей в общей биомассе, в 2018 г. – цианобактерий, а в 2017 и 2018 гг. – динофитовых (табл. 4.2.14). В 2016 г. доминировали по биомассе *Ceratium hirundinella* (28,1%), *Aphanizomenon flosaquae* (17%), *Fragilaria crotonensis* (14,9%), *Asterionella formosa* (10,3%), в 2017 г. – *Ceratium hirundinella* (44,9%), *Closterium pronum* (Bréb.) (27,8%), *Aulacoseira granulata* (21,1%), в 2018 г. – *Ceratium hirundinella* (39,4%), *Diplopsalis acuta* (13,9%), *Aulacoseira granulata* (10,3%), в 2019 г. – *A. granulata* (50,5%), *Ceratium hirundinella* (27,1%), *Diplopsalis acuta* (13,7%).

Наибольшими величинами индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, отличался ФП в 2016 и 2018 гг., наименьшими – в 2017 г. и 2019 гг. (табл. 4.2.14). В 2017 г. отмечена максимальная средняя индивидуальная масса, минимальная – в 2016 г. (табл. 4.2.14). В 2018 г. обнаружена наибольшая биомасса миксотрофных организмов, наименьшая зарегистрирована в 2016 г. (табл. 4.2.15).

Биомасса ФП по шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976) в 2016 и 2019 гг. характеризовала воды плеса как *α*-мезотрофные, в 2017 и 2018 гг. – *β*-мезотрофные, а по шкале С.П. Китаева (2007) – в 2016 и 2019 гг. – олиготрофные, в 2017 и 2018 – *β*-мезотрофные.

Значения индекса сапробности ежегодно характеризовали *β*-мезосапробные условия в плесе, хотя в 2019 г. его значение статистически значимо превышало таковые в 2016–2018 гг. (табл. 4.2.14). Это не соответствовало целому ряду гидрохимических характеристик воды. Так, показатели ПО, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$ и $P\text{-}PO_4$ соответствовали ксено- и олигосапробным водам. Нужно отметить, что значения $БПК_5$ в 2016 и 2017 гг. характеризовали воды как поли- и *α*-мезосапробные, а в 2018 и 2019 гг. их качество повышалось до олигосапробных. Аналогично изменялось качество вод и по концентрации $N\text{-}NH_4$, которая в 2016 и 2017 гг. соответствовали *β*-мезосапробным условиям, а в 2018 и 2019 гг. – ксеносапробным.

Корреляционный анализ показал положительные связи удельного видового богатства ФП с температурой воды (r = 0,64), ХПК (r = 0,73) и Si (r = 0,59), отрицательные – с объемом сброса (r = -0,63) и $БПК_5$ (r = -0,65). Удельное видовое богатство диатомовых прямо коррелировало с ХПК (r = 0,68), обратно – с уровнем воды (r = -0,58), объемом притока (r = -0,72) и сброса (r = -0,68), температурой воздуха (r = -0,68), $БПК_5$ (r = -0,76) и $N\text{-}NH_4$ (r = -0,70). Удельное видовое богатство цианобактерий и динофитовых увеличивалось при повышении ХПК (r = 0,59 и 0,74), зеленых – при повышении температуры воды (r = 0,69) и снижении уровня воды (r = -0,73), объемов притока (r = -0,74) и сброса (r = -0,80), $БПК_5$ (r = -0,78) и $N\text{-}NH_4$ (r = -0,65), криптофитовых – при снижении прозрачности (r = -0,76), O_2 (r = -0,75) и повышении уровня воды (r = 0,60). Численность ФП и численность цианобактерий отрицательно коррелировали с O_2 (r = -0,72 и -0,76), численность зеленых – с уровнем воды (r = -0,68), объемом притока (r = -0,58), а также положительно с прозрачностью воды (r = 0,65), а численность динофитовых – положительно с ХПК (r = 0,75) и $P\text{-}PO_4$ (r = 0,74). Величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности, сокращалась при увеличении объема

притока (r = -0,60), температуры воздуха (r = -0,66), $N\text{-}NO_3$ (r = -0,61) и при снижении концентрации O_2 (r = 0,78). Биомасса ФП положительно коррелировала с ХПК (r = 0,59), $P\text{-}PO_4$ (r = 0,71) и Fe (r = 0,59), биомассы цианобактерий, зеленых и криптофитовых водорослей имели отрицательную корреляционную связь с O_2 (r = -0,61, -0,63, -0,58), биомасса динофитовых водорослей и миксотрофных таксонов – положительную с ХПК (r = 0,70 и 0,69) и $P\text{-}PO_4$ (r = 0,79 и 0,78). Величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, сокращалась при увеличении суммы атмосферных осадков (r = -0,74), ПО (r = -0,62), а также снижении температуры воды (r = 0,69) и концентрации Si (r = 0,75). Средняя индивидуальная масса положительно коррелировала с суммой атмосферных осадков (r = 0,66) и ПО (r = 0,58). Значение индекса сапробности возрастало при увеличении прозрачности (r = 0,69), снижении уровня воды (r = -0,71), объема притока (r = -0,65) и температуры воздуха (r = -0,63).

Резюме

В период изучения межгодовые различия ФП в Таналык-Суундукском плесе были выражены не столь ярко, как на остальных исследованных участках. Однако в 2018 г., отличающемся более низкими уровнем воды, объемом притока и сброса, температурой воздуха, относительно высокой температурой воды и минимальной суммой атмосферных осадков по сравнению с 2016 и 2017 гг., обнаружено наибольшее удельное видовое богатство ФП, его численность за счет динофитовых водорослей, биомасса за счет цианобактерий и динофитовых, биомасса миксотрофных таксонов, а также величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе. В условиях минимального уровня воды, объемов притока и сброса, но максимальной суммы атмосферных осадков в 2019 г. снижались количественные характеристики ФП, повышалась величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности, и обнаружена максимальная величина индекса сапробности. Следовательно, наиболее благоприятные условия для развития ФП формировались в 2018 г. на фоне средних за исследованный период уровня воды, объемов притока и стока.

Фитопланктонное сообщество Приплотинного плеса

Отмечены межгодовые отличия физико-химических характеристик воды Приплотинного плеса летом. В частности, температура воды в 2016 и 2019 гг. была меньше, чем в 2017 и 2018 гг. (табл. 4.2.16). В 2016 г. обнаружены максимальные величины цветности воды и концентрации $N\text{-}NH_4$, в 2017 – концентрация O_2, ПО, $БПК_5$, $N\text{-}NO_3$, а в 2019 г. – минимальная цветность воды.

Таблица 4.2.16. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Приплотинного плеса летом

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	22,4*[b,c]	0,1	23,7*[d]	0,2	23,8*[d]	0,0	22,3	0,3	**32,3**	**0,000**
Прозрачность, м	2,0*[c]	0,1	2,1*[c]	0,0	1,3*[d]	0,1	2,1	0,1	**20,8**	**0,000**
Цветность, град	17,4*[b-d]	0,1	13,8*[d]	0,3	13,2*[d]	0,2	10,9	0,4	**143,0**	**0,000**
O_2, мг/л	7,3*[b-d]	0,1	10,1*[c]	0,3	8,3*[d]	–	9,5	0,3	**42,6**	**0,000**
O_2, %	84,7*[b,d]	0,7	119,3*[c,d]	3,7	78,0*[d]	–	109,0	3,0	**89,3**	**0,000**
ПО, мгO_2/л	4,0*[b]	0,2	5,4*[d]	0,1	4,5	0,4	4,3	0,7	**4,3**	**0,045**
ХПК, мгO_2/л	25,0	–	27,0	–	24,0	–	24,0	0,0	–	–
$БПК_5$, мгO_2/л	4,4*[b-d]	0,9	6,7*[c,d]	–	0,2	–	0,6	0,0	**47,7**	**0,000**
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,113*[c]	0,033	0,097	0,037	0,000	–	0,097	0,074	2,5	0,133
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,004*[b,c]	0,001	0,000*[d]	0,000	0,000*[d]	–	0,004	0,002	**9,6**	**0,005**
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,020*[b,c]		0,087	0,034	0,083	0,013	0,063	0,021	2,6	0,127
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,058	0,046	0,028	0,001	0,039	0,008	0,012	0,006	0,7	0,584
Si, мг/л	1,367*[b,c]	0,088	0,933*[c,d]	0,167	1,967*[d]	0,145	1,467	0,115	**11,8**	**0,003**
Fe, мг/л	0,117	0,009	0,093	0,078	0,127	0,023	0,070	0,030	0,4	0,782

Выявлено наличие положительной корреляции, связанных между собой уровня воды, объемов притока и сброса, а также количества атмосферных осадков с цветностью воды, pH, ХПК, $БПК_5$, содержанием кислорода, а также отрицательной корреляции с концентрацией Si (табл. 4.2.17). Кроме этого, зарегистрированы прямые корреляционные связи между температурой воздуха и температурой воды, ее цветностью, ПО, $БПК_5$, обратные – с содержанием O_2 и $N\text{-}NO_2$.

Статистически значимые межгодовые различия удельного видового богатства отсутствовали, но в 2018 и 2019 г. оно было незначительно выше (рис. 4.2.13) за счет увеличения числа видов цианобактерий и диатомовых в 2018 г., а также динофитовых в 2019 г. (табл. 4.2.18).

Численность ФП в 2017 г. была статистически значимо больше значений в 2016 г. (p = 0,034), 2018 г. (p = 0,007) и 2019 г. (p = 0,047) (рис. 4.2.14) за счет Cyanobacteria и Chlorophyta (табл. 4.2.18). В 2018 г. статистически значимо выше была численность Streptophyta, а в 2019 г. – Bacillariophyta и Chrysophyta.

Таблица 4.2.17. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Приплотинного плеса летом

Показатель		Температура воды	Прозрачность	Цветность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	**-0,58**	-0,05	0,23	**0,59**	0,33	0,15	-0,34	**-0,81**	**0,66**	-0,08	0,06	0,24
Прозрачность		**-0,58**	–	0,04	0,32	0,14	0,43	0,46	**0,64**	0,49	-0,15	0,03	**-0,67**	-0,28
Уровень воды	Средний апрель–июль	0,53	-0,13	**0,72**	-0,18	0,33	**0,71**	**0,72**	-0,01	-0,42	0,01	0,30	-0,32	0,22
Объем притока	Средний апрель–июль	0,16	0,04	**0,94**	-0,47	0,04	0,56	**0,70**	0,17	-0,05	-0,30	0,39	-0,32	0,22
Объем сброса	Средний апрель–июль	0,39	0,31	0,47	0,27	0,54	**0,98**	**0,93**	0,25	-0,32	0,09	0,12	**-0,71**	0,04
Сумма атмосферных осадков	Сумма апрель–июль	0,40	0,42	-0,01	**0,69**	**0,71**	**0,95**	**0,79**	0,24	-0,38	0,32	-0,11	**-0,76**	-0,10
Температура воздуха	Июль	**0,94**	-0,43	-0,07	0,39	**0,65**	0,52	0,30	-0,37	**-0,86**	0,55	-0,01	-0,07	0,12
	Средняя апрель–июль	0,07	-0,01	**0,98**	**-0,60**	-0,09	0,42	**0,60**	0,15	0,03	-0,37	0,42	-0,21	0,24

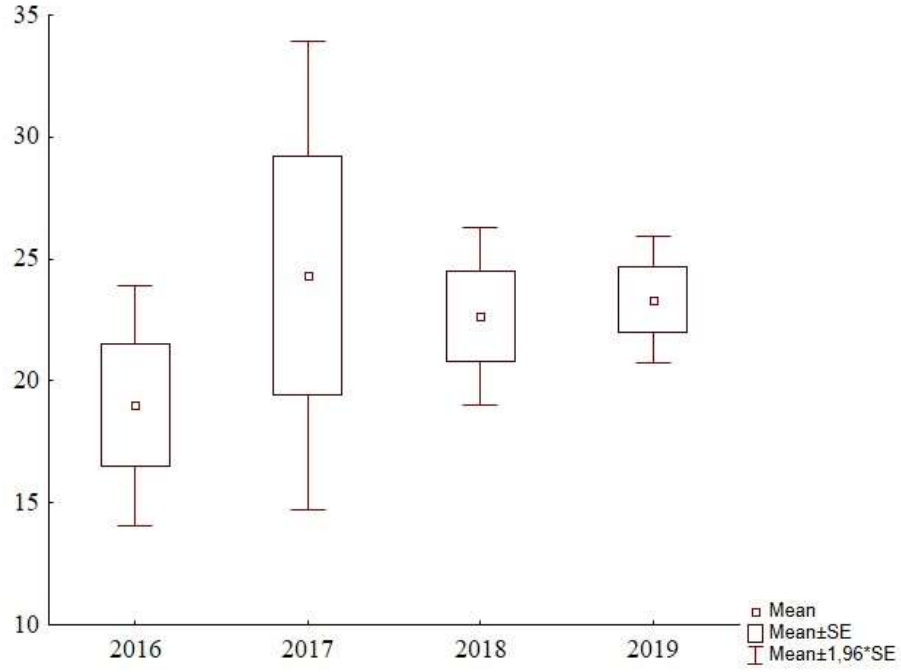

Рис. 4.2.13. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона Приплотинного плеса летом.

Таблица 4.2.18. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Приплотинного плеса летом

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	6,3	0,7	6,7	2,7	5,3	0,7	9,3	0,6	1,4	0,302
	Cyanobacteria	2,7*[c,d]	0,3	3,3*[c,d]	0,7	1,0*[d]	0,6	5,3	0,6	**12,9**	**0,002**
	Chlorophyta	3,7	1,9	5,3	1,3	4,0	0,6	3,3	1,2	0,5	0,685
	Cryptophyta	3,7	0,3	4,7*[d]	0,3	4,7*[d]	0,9	2,0	1,0	**4,8**	**0,035**
	Dinophyta	2,7*[c]	0,3	3,7*[c]	0,3	5,0*[d]	0,6	1,7	0,6	**12,2**	**0,002**
	Euglenophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Streptophyta	0,0	–	0,7*[c]	0,7	1,7	0,3	0,7	0,6	2,8	0,106
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	1,0	–	1,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Численность, млн кл./л	Bacillariophyta	0,53*[d]	0,04	0,43*[d]	0,10	0,48*[d]	0,13	0,91	0,25	4,0	0,053
	Cyanobacteria	1,60*[b]	0,62	5,06*[c,d]	1,74	0,28	0,21	1,53	0,69	**4,7**	**0,036**
	Chlorophyta	0,10*[b,c]	0,05	0,28*[c]	0,05	0,09	0,02	0,16	0,06	**4,8**	**0,035**
	Cryptophyta	0,47	0,19	0,29	0,08	0,30	0,12	0,38	0,24	0,4	0,774
	Dinophyta	0,07	0,01	0,10	0,03	0,12*[d]	0,04	0,02	0,01	2,6	0,128
	Euglenophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
	Streptophyta	0,00*[c]	–	0,01*[c]	0,01	0,03*[d]	0,01	0,00	0,00	**5,9**	**0,020**
	Chrysophyta	0,00*[d]	–	0,00*[d]	–	0,01*[d]	0,00	0,03	0,01	**15,9**	**0,001**
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	22,0	4,5	8,3*[c,d]	3,6	37,3	5,7	31,7	12,8	**5,3**	**0,026**
	Cyanobacteria	55,7*[c]	7,4	78,5*[c,d]	7,3	16,8*[d]	9,4	48,9	13,5	**10,1**	**0,004**
	Chlorophyta	3,3	1,8	5,6	2,1	8,4	2,7	5,2	1,0	1,1	0,399
	Cryptophyta	16,4	3,8	5,3*[c]	1,8	22,1	5,3	12,2	7,9	3,0	0,097
	Dinophyta	2,6*[c]	0,2	2,1*[c]	1,1	11,7*[d]	5,4	0,7	0,2	3,3	0,077
	Euglenophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Streptophyta	0,0*[c]	–	0,1*[c]	0,1	2,7*[d]	1,2	0,1	0,1	**4,9**	**0,032**
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	1,1	0,5	1,2	0,5	**4,4**	**0,041**
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	0,262*[d]	0,009	0,436	0,223	0,296*[d]	0,083	0,819	0,183	3,8	0,057
	Cyanobacteria	0,028*[b]	0,006	0,209*[c,d]	0,058	0,001	0,001	0,077	0,031	**9,1**	**0,006**
	Chlorophyta	0,038*[b]	0,028	0,185*[d]	0,070	0,079	0,019	0,009	0,009	3,9	0,054
	Cryptophyta	0,108	0,039	0,261*[c,d]	0,124	0,038	0,006	0,031	0,029	2,6	0,120
	Dinophyta	2,162	0,432	3,609	1,418	2,835	0,971	0,727	0,227	1,9	0,209
	Euglenophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
	Streptophyta	0,000*[b]	–	0,031	0,031	0,000	0,008	0,010	0,009	2,9	0,102

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Доля в общей биомассе, %	Chrysophyta	0,000*[d]	–	0,000*[d]	–	0,008*[d]	0,002	0,022	0,008	**19,5**	**0,000**
	Xanthophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
	Bacillariophyta	10,6*[d]	1,6	8,2*[d]	1,7	10,8*[d]	5,0	48,5	11,4	**20,2**	**0,000**
	Cyanobacteria	1,2*[d]	0,3	5,7*[c]	2,2	0,0*[d]	0,0	4,7	2,2	**4,3**	**0,043**
	Chlorophyta	1,7	1,4	4,5	2,2	3,0	1,2	0,6	0,6	1,4	0,321
	Cryptophyta	4,0	0,9	7,5	3,9	1,4	0,4	1,8	1,9	1,8	0,230
	Dinophyta	82,6*[d]	2,8	73,8*[d]	7,3	82,5*[d]	6,8	42,4	9,9	**10,3**	**0,004**
	Euglenophyta	0,0	–	0,4	0,4	0,0	–	0,0	0,0	1,0	0,441
	Streptophyta	0,0*[c]	–	0,0*[c]	–	2,1*[d]	0,4	0,6	0,5	**15,8**	**0,001**
	Chrysophyta	0,0*[d]	–	0,0*[d]	–	0,2*[d]	0,0	1,3	0,6	**14,1**	**0,001**
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Индекс Шеннона, бит/кл.		2,77	0,26	2,25*[d]	0,56	3,30	0,26	3,35	0,06	2,4	0,140
Индекс Шеннона, бит/мг		1,88*[b]	0,15	2,46*[c]	0,19	1,78	0,26	2,13	0,04	2,9	0,098
Индекс сапробности		1,46*[d]	0,02	1,60*[c,d]	0,08	1,41*[d]	0,02	1,91	0,08	**20,2**	**0,000**
СИМ, 10^{-9} г		1,01	0,12	0,96	0,50	3,14*[d]	1,33	0,572	0,131	2,7	0,118

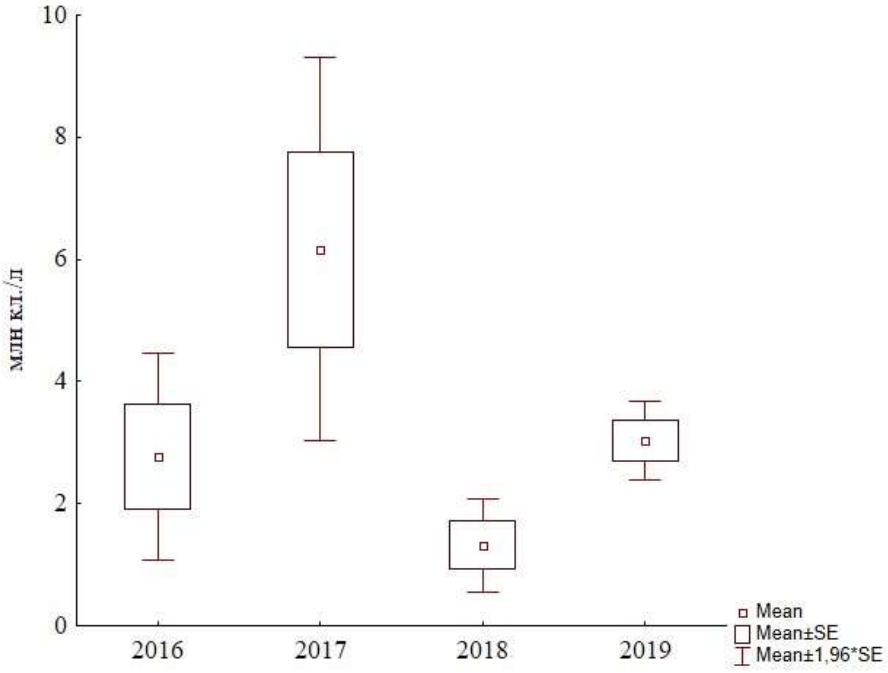

Рис. 4.2.14. Средняя численность фитопланктона Приплотинного плеса летом.

В 2016 и в 2019 гг. основа численности была сформирована цианобактериями и диатомовыми, в 2017 г. – цианобактериями, в 2018 г. – диатомовыми и криптофитовыми (табл. 4.2.18). При этом в 2018 и 2019 гг. отмечена максимальная доля диатомовых водорослей, в 2018 г. – динофитовых и стрептофитовых, но минимальная доля цианобактерий. В 2016 г. по численности доминировали *Coelosphaerium kuetzingianum* (16,9%), *Komma caudata* (14,9%), *Microcystis aeruginosa* (13,8%), *Asterionella formosa* (13,4%), *Aphanizomenon flosaquae* (12%), *Aphanocapsa incerta* (11,9%), в 2017 г. – *Aphanizomenon flosaquae* (65,3%), *Dolichospermum sp. 3* (10,7%), в 2018 г. – *Aphanocapsa incerta* (20,1%), *Komma caudata* (17,8%), *Fragilaria crotonensis* (13,1%), *Cyclotella* sp. (11,9%), в 2019 г. – *Aulacoseira granulata* (18,2%) и *Komma caudata* (11,9%).

В 2019 г. отмечен максимальный индекс Шеннона, рассчитанный по численности, в 2017 г. – минимальный (табл. 4.2.18). Статистически значимых различий численности миксотрофных таксонов не обнаружено, однако в 2018 г. ФП отличался их наибольшей долей в общей численности (табл. 4.2.19).

Таблица 4.2.19. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Приплотинного плеса летом

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,54	0,20	0,39	0,07	0,44	0,08	0,43	0,23	0,2	0,876
Доля в общей численности, %	19,0*[b,c]	3,7	7,5*[c]	2,3	34,8*[d]	3,5	14,0	7,4	**10,9**	**0,003**
Биомасса, мг/л	2,270	0,466	3,901*[d]	1,356	2,880	0,967	0,78	0,24	2,3	0,155
Доля в общей биомассе, %	86,6*[d]	2,7	81,7*[d]	4,0	84,1*[d]	6,5	45,6	10,9	**14,3**	**0,001**

Наименьшая биомасса ФП обнаружена в 2019 г., наибольшая – в 2017 г., причем различия между ними были статистически значимыми ($p = 0.049$) (рис. 4.2.15).

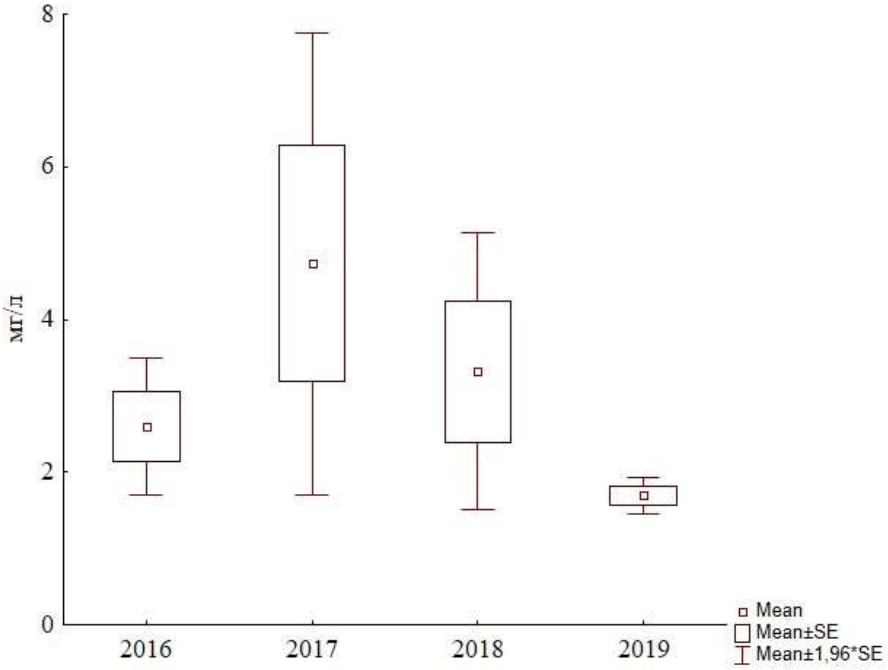

Рис. 4.2.15. Средняя биомасса фитопланктона Приплотинного плеса летом.

В 2017 г. ФП характеризовался максимальной биомассой цианобактерий, зеленых и криптофитовых водорослей, а в 2019 г. – диатомовых и золотистых, а также минимальной биомассой зеленых (табл. 4.2.18). Основу биомассы в 2016–2018 гг. формировали динофитовые водоросли, в 2017 г. статистически значимо возрастала доля цианобактерий, в 2018 г. – стрептофитовых водорослей, а в 2019 г. максимальную долю в общей биомассе ФП составляли диатомовые водоросли, а также статистически значимо была больше доля золотистых (табл. 4.2.18). В 2016 г. по биомассе доминировали *Ceratium hirundinella* (60,8%) и *Peridinium cinctum* (22,3%), в 2017 г. – *Ceratium hirundinella* (43,9%), *Diplopsalis acuta* (17,8%), *Peridini-*

um cinctum (13,3%), в 2018 г. – *Ceratium hirundinella* (72,6%), в 2019 г. – *Aulacoseira granulata* (41,7%) и *Ceratium hirundinella* (39,3%).

Максимальное значение индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, зарегистрировано в 2017 г., минимальные – в 2016 и 2018 гг. (табл. 4.2.18). В 2018 г. также отмечена наибольшая средняя индивидуальная масса организмов, наименьшая – в 2019 г. (табл. 4.2.18). В 2017 г. ФП отличался максимальной биомассой миксотрофных таксонов, в 2019 г. – минимальной, когда также обнаружена их наименьшая доля в общей биомассе (табл. 4.2.19).

По шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976) трофический статус плеса по биомассе ФП в 2016–2019 гг. характеризовался как β-мезотрофный; по шкале С.П. Китаева (2007) – в 2016 и 2018 гг. – β-мезотрофный, 2017 г. – α-эвтрофный, в 2019 г. – α-мезотрофный.

По значениям индекса сапробности воды плеса в 2016 и 2018 гг. соответствовали олигосапробным условиям, в 2017 и 2019 гг. – β-мезосапробным (табл. 4.2.18). Однако по ряду химических характеристик – ПО, $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$ – воды плеса на протяжении всего периода изучения относились к разряду ксено- и олигосапробных (табл. 4.2.16). По концентрации $N\text{-}NH_4$ в 2016 г. и по $P\text{-}PO_4$ в 2016 и 2018 гг. воды плеса имели β-мезосапробный статус, а по величине $БПК_5$ в 2016 и 2017 гг. – полисапробный, в остальное время эти показатели также соответствовали ксено- и олигосапробным водам.

Удельное видовое богатство цианобактерий положительно коррелировало с прозрачностью воды (r = 0,72), отрицательно – с температурой (r = -0,64) и уровнем воды (r = -0,58), удельное видовое богатство криптофитовых было прямо связано с температурой воды (r = 0,63) и уровнем (r = 0,70), а динофитовых – отрицательно с прозрачностью (r = -0,74) и положительно – с температурой воды (r = 0,80). Численность ФП возрастала при увеличении объема сброса (r = 0,66), суммы осадков (r = 0,77), ХПК (r = 0,74), $БПК_5$ (r = 0,62), а также при снижении концентрации Si (r = -0,76). Численность диатомовых имела обратную корреляционную связь с температурой (r = -0,60) и уровнем воды (r = -0,74), объемом притока (r = -0,62). Плотность цианобактерий увеличивалась при повышении объема сброса (r = 0,70), суммы осадков (r = 0,78), ХПК (r = 0,76) и $БПК_5$ (r = 0,66) и при снижении концентрации Si (r = -0,78). Численность зеленых водорослей положительно коррелировала с суммой осадков (r = 0,77), O_2 (r = 0,72) и ХПК (r = 0,66), стрептофитовых – с концентрацией Si (r = 0,60), а также отрицательно с $N\text{-}NH_4$ (r = -0,66) и прозрачностью воды (r = -0,86). Индекс Шеннона,

рассчитанный по численности, увеличивался при повышении концентрации Si (r = 0,67) и снижении объема сброса (r = -0,68), суммы осадков (r = -0,60), ХПК (r = -0,68) и $БПК_5$ (r = -0,72). Биомасса диатомовых отрицательно коррелировала с уровнем воды (r = -0,65), объемом притока (r = -0,65), температурой воздуха (r = -0,66) и цветностью воды (r = -0,66), биомасса цианобактерий, зеленых и криптофитовых положительно коррелировали с объемом сброса (r = 0,60, 0,67 и 0,69), суммой атмосферных осадков (r = 0,85, 0,68 и 0,67), ХПК (r = 0,76, 0,67 и 0,71), а средняя индивидуальная масса имела отрицательную корреляционную связь с прозрачностью воды (r = -0,78). Индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, увеличивался при повышении прозрачности воды (r = 0,60), суммы осадков (r = 0,66) и ПО (r = 0,67), а индекс сапробности при повышении прозрачности воды (r = 0,61), снижении ее уровня (r = -0,73), объема притока (r = -0,70), температуры воздуха (r = -0,73) и цветности (r = -0,65).

Резюме

Результаты работы показали наличие межгодовых различий ФП Приплотинного плеса, которые наиболее ярко проявились в 2017 и 2019 гг., значительно различающихся по ряду метеорологических и гидрологических условий. В 2017 г., который характеризовался наибольшим уровнем воды водохранилища и объемом сброса, ФП отличался максимальной численностью за счет цианобактерий и зеленых водорослей, биомассой за счет цианобактерий, зеленых и криптофитовых водорослей, биомассой миксотрофных таксонов, а также максимальный индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, и минимальный индекс, рассчитанный по численности. В 2019 г., отличающемся минимальными уровнем воды, объемами притока и сброса, но наибольшим количеством атмосферных осадков, наблюдалось снижение общей численности и биомассы ФП на фоне увеличения численности и биомассы диатомовых и золотистых водорослей, отмечена минимальная биомасса миксотрофных таксонов, средняя индивидуальная масса, максимальный индекс Шеннона, рассчитанный по численности.

Распределение фитопланктонных сообществ по продольному профилю акватории

В среднем за время исследований максимальные значения большинства параметров воды отмечены в реке и ЧП, вниз по продольному профилю исследованной акватории возрастала лишь прозрачность воды, достигая максимального значения в ТСП (табл. 4.2.20). Общее направление изменений было характерно для каждого года исследований, хотя наблюдались некоторые отличия. В 2016 г. максимальная температура воды была обнаружена в СП, а концентрация $P\text{-}PO_4$ по продольному профилю не имела статистически значимых различий (табл. 4.2.21). В 2017 г. максимальная концентрация $N\text{-}NO_3$ обнаружена в ПП, минимальная – в ЧП, а содержание Fe в реке оказалось минимальным. В 2017 и 2018 гг. наибольшей цветностью воды отличался и СП, а в 2019 г. на всем протяжении участка отсутствовали различия по ПО.

В среднем за время наблюдений удельное видовое богатство ФП в р. Урал и в ЧП статистически значимо превышали значения в СП (p = 0,002 и 0,000 соответственно), ТСП (p = 0,000 и 0,000) и ПП (p = 0,000 и 0,000) (рис. 4.2.16*а*). При этом в СП оно было выше, чем в ТСП (p = 0,000) и ПП (p = 0,000). Снижение удельного видового богатства происходило за счет диатомовых и зеленых водорослей, при этом в ЧП отмечено наибольшее среднее число видов цианобактерий, динофитовых и эвгленовых водорослей.

При максимальном объеме притока воды, высоком уровне воды и средней температуре воздуха в 2016 г. обнаружены статистически значимые различия между удельным видовым богатством ФП реки, двумя верхними и двумя нижними плесами (рис. 4.2.16*б*). При этом в реке число видов зеленых и диатомовых водорослей было выше, чем в плесах водохранилища, а в ЧП и СП – цианобактерий, чем на других участках. В условиях максимального количества атмосферных осадков, уровня и объемов сброса воды в 2017 г. наибольшее видовое богатство ФП отмечено в ЧП, минимальное – в ТСП и ПП (рис. 4.2.16*в*). При этом в р. Урал статистически значимо выше удельное видовое богатство диатомовых, но меньше – цианобактерий. Фитопланктон ТСП и ПП отличался минимальным числом видов зеленых водорослей, ЧП и ПП – максимальным числом видов криптофитовых, ЧП – динофитовых и эвгленовых.

Таблица 4.2.20. Средние (*m*±*SD*) за 2016–2019 гг. значения физико-химических параметров воды по продольному профилю исследованного участка летом

Показатель	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F**	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	24,5*[c-e]	1,1	24,5*[c-e]	2,3	22,6	1,0	22,1	1,1	23,1	0,7	**9,2**	**0,000**
Прозрачность, м	0,5*[c-e]	0,1	0,7*[c-e]	0,1	1,4*[d-e]	0,5	2,1*[e]	0,5	1,9	0,4	**54,4**	**0,000**
Цветность, град	18,6*[d-e]	4,5	19,9*[d-e]	3,9	18,9*[d-e]	4,3	13,9	2,1	13,8	2,5	**7,7**	**0,000**
O_2, мг/л	8,5*[c]	0,4	9,1	1,1	9,3	1,0	8,7	0,4	8,8	1,2	2,0	0,113
ПО, мгO_2/л	6,5*[c-e]	2,7	5,6	1,1	5,2	1,2	4,5	0,7	4,6	0,7	**3,7**	**0,009**
ХПК, мгO_2/л	35,0*[b-e]	10,8	28,0	5,4	27,3	3,3	25,3	1,1	25,0	1,3	**6,5**	**0,000**
БПК$_5$, мгO_2/л	1,6	0,0	4,0*[d]	2,4	2,8	1,8	2,0	1,5	3,0	2,9	1,7	0,177
N-NH_4, мг/л	0,145	0,089	0,193*[d-e]	0,167	0,185*[e]	0,081	0,104	0,114	0,077	0,067	**2,6**	**0,044**
N-NO_2, мг/л	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,5	0,725
N-NO_3, мг/л	0,098*[c,d]	0,041	0,088*[c]	0,081	0,039	0,034	0,051	0,046	0,063	0,040	**3,2**	**0,020**
P-PO_4, мг/л	0,079*[c-e]	0,032	0,081*[c-e]	0,027	0,037	0,015	0,019	0,011	0,034	0,039	**14,3**	**0,000**
Si, мг/л	2,100*[b,e]	0,949	3,583*[c-e]	0,909	2,225*[e]	0,657	1,742	0,763	1,433	0,425	**13,5**	**0,000**
Fe, мг/л	0,140*[b]	0,083	0,242*[c-e]	0,129	0,143	0,077	0,112	0,036	0,102	0,066	**5,3**	**0,001**

Примечание. Статистический анализ проведен для участков II–V. I – р. Урал, II – Чапаевский плес, III – Софинский плес, IV – Таналык-Суундукский плес, V – Приплотинный плес; «–» – отсутствие данных.

Таблица 4.2.21. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды по продольному профилю исследованного участка р. Урал и плесов водохранилища летом 2016–2019 гг.

Показатель	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	2016	23,0	0,0	22,6	0,4	23,6*[d]	1,4	22,1	0,9	22,4	0,3	1,7	0,212
	2017	25,1*[b-e]	0,3	23,7*[c,d]	0,3	22,3*[d,e]	0,1	20,9*[e]	0,8	23,7	0,3	**46,9**	**0,000**
	2018	25,6*[b-e]	0,3	28,1*[c-e]	0,3	22,7*[d-e]	0,3	23,3*[e]	0,3	23,8	0,1	**189,0**	**0,000**
	2019	24,2*[b-e]	0,2	23,5*[c-e]	0,1	21,7	0,5	22,1	0,6	22,3	0,3	**28,7**	**0,000**
Прозрачность, м	2016	0,4*[c-e]	0,1	0,6*[c-e]	0,1	1,9	0,7	2,0	0,2	2,0	0,2	**23,3**	**0,000**
	2017	0,5*[c-e]	0,1	0,8*[d,e]	0,1	1,0*[d,e]	0,0	1,9	0,4	2,1	0,1	**41,5**	**0,000**
	2018	0,5*[b-e]	0,1	0,7*[c-e]	0,1	1,1*[d]	0,2	1,7*[e]	0,0	1,3	0,2	**60,4**	**0,000**
	2019	0,5*[c-e]	0,2	0,6*[c-e]	0,1	1,4*[d,e]	0,4	2,8*[e]	0,3	2,1	0,1	**48,9**	**0,000**
Цветность, град	2016	18,7*[b,d]	0,0	21,7*[d-e]	1,1	20,2*[d-e]	0,8	15,0*[e]	1,7	17,4	0,2	**23,2**	**0,000**
	2017	25,6*[d,e]	0,0	24,1*[d,e]	4,6	24,6*[d,e]	0,7	12,6	3,1	13,8	0,5	**22,6**	**0,000**
	2018	15,8*[b,e]	0,0	17,0*[d,e]	1,2	16,9*[d,e]	0,8	15,2*[e]	0,5	13,2	0,4	**17,2**	**0,000**
	2019	14,2*[b,d]	0,0	16,7*[c-e]	0,4	13,8*[d]	2,3	12,8	1,9	10,9	0,4	**8,3**	**0,002**
ПО, мгO_2/л	2016	7,8*[b-e]	0,0	5,8*[d-e]	0,8	5,1*[d-e]	0,5	3,9	0,6	4,0	0,3	**36,4**	**0,000**
	2017	10,0*[b-e]	0,0	6,9*[d,e]	0,3	6,9*[d,e]	0,6	5,6	0,2	5,4	0,2	**118,8**	**0,000**

Показатель	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
	2018	4,0*b,c	0,0	5,4*d,e	0,2	4,8	0,7	4,3	0,0	4,5	0,7	**5,3**	**0,012**
	2019	4,0	0,0	4,3	0,3	4,0	0,3	4,2	0,2	4,3	0,7	0,7	0,595
$N\text{-}NH_4$, мг/л	2016	0,250*b,c,e	0,000	0,463*c-e	0,021	0,137	0,067	0,257	0,083	0,113	0,057	**21,1**	**0,000**
	2017	0,210*b,d	0,000	0,123*c	0,035	0,260*d,e	0,075	0,133	0,047	0,097	0,064	**5,9**	**0,009**
	2018	0,070*b-e	0,000	0,110*c-e	0,017	0,163*d,e	0,031	0,001	0,002	0,000	0,000	**66,5**	**0,000**
	2019	0,050*c	0,000	0,077	0,064	0,180*d	0,113	0,023	0,012	0,097	0,074	2,7	0,087
$N\text{-}NO_2$, мг/л	2016	0,004*d	0,000	0,006*d	0,004	0,003	0,001	0,008*e	0,001	0,004	0,002	**4,0**	**0,030**
	2017	0,006*c-e	0,000	0,006*c-e	0,003	0,003*d,e	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	**20,4**	**0,000**
	2018	0,002*b-e	0,000	0,001*c,e	0,000	0,003*d,e	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	**19,9**	**0,000**
	2019	0,000*d,e	0,000	0,000*e	0,001	0,000*e	0,000	0,001*e	0,001	0,004	0,002	**13,8**	**0,000**
$N\text{-}NO_3$, мг/л	2016	0,050*b,d	0,000	0,163*c-e	0,012	0,070*d	0,036	0,093*e	0,046	0,020	0,000	**13,9**	**0,000**
	2017	0,070	0,000	0,017*e	0,020	0,033	0,006	0,037	0,063	0,087	0,059	1,8	0,201
	2018	0,120*b-d	0,000	0,067	0,040	0,053	0,029	0,057	0,025	0,083	0,023	**4,1**	**0,029**
	2019	0,150*c,d	0,000	0,103*c	0,129	0,000	0,000	0,017	0,012	0,063	0,021	**4,2**	**0,026**
$P\text{-}PO_4$, мг/л	2016	0,027	0,000	0,053	0,015	0,019	0,008	0,010	0,002	0,058	0,080	1,1	0,395
	2017	0,103*b-e	0,000	0,069*c-e	0,013	0,036	0,009	0,028	0,002	0,028	0,002	**81,8**	**0,000**
	2018	0,088*c-e	0,000	0,090*c-e	0,024	0,051	0,017	0,030	0,005	0,039	0,014	**12,4**	**0,000**
	2019	0,099*b-e	0,000	0,113*c-e	0,004	0,040*d-e	0,006	0,006	0,002	0,012	0,006	**428,5**	**0,000**
Si, мг/л	2016	1,400*b,d	0,000	2,200*c,d	0,265	1,700*d	0,173	1,933*e	0,153	1,367	0,153	**15,1**	**0,000**
	2017	1,300*b,c	0,000	3,667*c-e	0,115	2,167*d,e	0,569	0,800	0,265	0,933	0,289	**47,9**	**0,000**
	2018	3,600*d,e	0,000	4,233*c-e	0,379	3,033*d	0,643	2,700*e	0,529	1,967	0,252	**14,0**	**0,000**
	2019	2,100*b,d,e	0,000	4,233*c-e	0,416	2,000*d,e	0,361	1,533	0,058	1,467	0,115	**66,4**	**0,000**
Fe, мг/л	2016	0,160*d-e	0,000	0,187*c-e	0,023	0,153*d-e	0,032	0,097	0,006	0,117	0,015	**11,8**	**0,001**
	2017	0,010*b	0,000	0,250*c,e	0,122	0,043	0,023	0,137	0,061	0,093	0,136	**4,2**	**0,027**
	2018	0,230*b-e	0,000	0,127	0,035	0,157	0,059	0,127	0,023	0,127	0,040	**6,0**	**0,008**
	2019	0,160*b,e	0,000	0,403*c-e	0,107	0,220*d,e	0,056	0,087	0,015	0,070	0,030	**19,1**	**0,000**

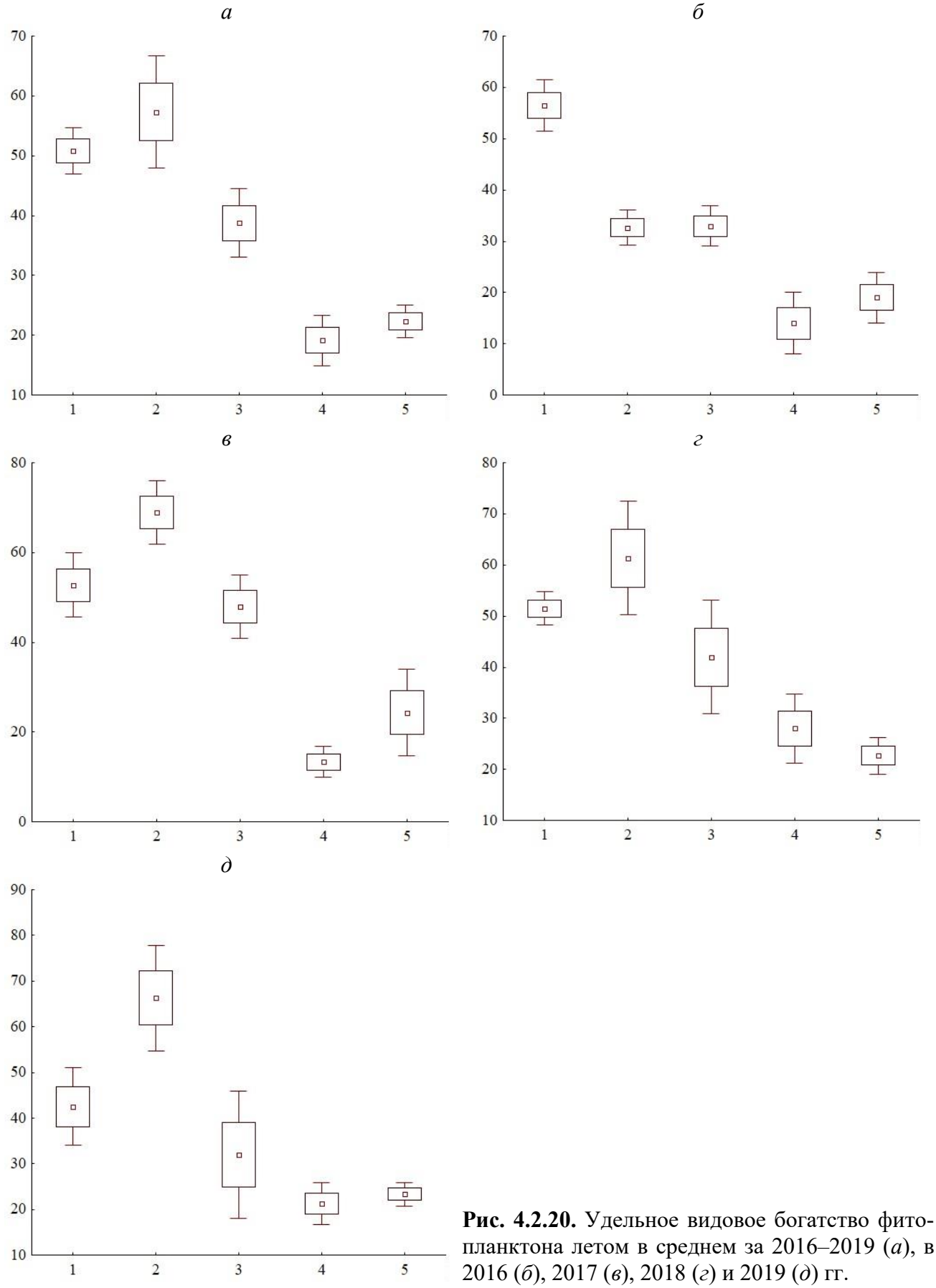

Рис. 4.2.20. Удельное видовое богатство фитопланктона летом в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

При минимальной сумме атмосферных осадков, снижении уровня воды, объемов притока и сброса воды в 2018 г. наибольшее удельное видовое богатство отмечено в ЧП и в реке, а

вниз по продольному профилю наблюдалось его постепенное и статистически значимое снижение (рис. 4.2.16*г*). Фитопланктон реки, ЧП и СП характеризовался наибольшим числом видов диатомовых и желтозеленых водорослей, реки и ЧП – цианобактерий и зеленых, ЧП – эвгленовых. В условиях минимальных уровня воды, объемов ее притока и сброса, но максимальной сумме осадков в 2019 г. наибольшее удельное видовое богатство наблюдалось в ЧП, между ФП в реке и СП значимых различий не обнаружено, а минимальным числом видов отличались сообщества ТСП и ПП (табл. 4.2.16*д*). Фитопланктон реки характеризовался минимальным видовым богатством цианобактерий, ЧП – наибольшим числом видов эвгленовых водорослей, реки и ЧП – зеленых, криптофитовых и желтозеленых.

В среднем за время исследований численность ФП в р. Урал и ЧП водохранилища статистически значимо была больше, чем в СП (p = 0,002 и 0,000 соответственно), ТСП (p = 0,000 и 0,000) и ПП (p = 0,000 и 0,000) плесах, а в СП была больше, чем в ТСП (p = 0,000) и ПП (p = 0,000) (рис. 4.2.17*а*). При этом в реке зарегистрирована максимальная численность диатомовых водорослей, в ЧП – цианобактерий и эвгленовых, в реке и ЧП – зеленых и желтозеленых, а в ПП – золотистых (табл. 4.2.22). Основу численности в реке составляли диатомовые, в плесах водохранилища – цианобактерии, кроме которых в ПП возрастала доля криптофитовых и динофитовых (рис. 4.2.18*а*). В среднем за время исследования в реке по численности доминировали *Cyclotella* sp. и *Stephanodiscus hantzschii*, в водохранилище основу доминантов составляли исключительно цианобактерии: в ЧП и СП – *Dolichospermum flosaquae*, в СП также *Aphanocapsa incerta* и *Aphanizomenon flosaquae*, в ТСП и ПП – *A. flosaquae*.

При максимальном объеме притока воды, высоком уровне воды и средней температуре воздуха в 2016 г. численность ФП в р. Урал была больше, чем в ЧП (p = 0,000), СП (p = 0,006), ТСП (p = 0,000) и ПП (p = 0,000) (рис. 4.2.17*б*). При этом в реке наибольшего обилия достигали зеленые, диатомовые и криптофитовые водоросли, в ЧП – эвгленовые, в реке и ЧП – желтозеленые, в СП – цианобактерии (табл. 4.2.22). При этом максимальная доля диатомовых водорослей обнаружена в ЧП и СП, сообщество реки отличалось наибольшей долей зеленых, ТСП – цианобактерий, а вниз по продольному профилю исследованной акватории наблюдалось снижение относительного обилия эвгленовых водорослей, а также увеличение криптофитовых (рис. 4.2.18*б*).

а *б*

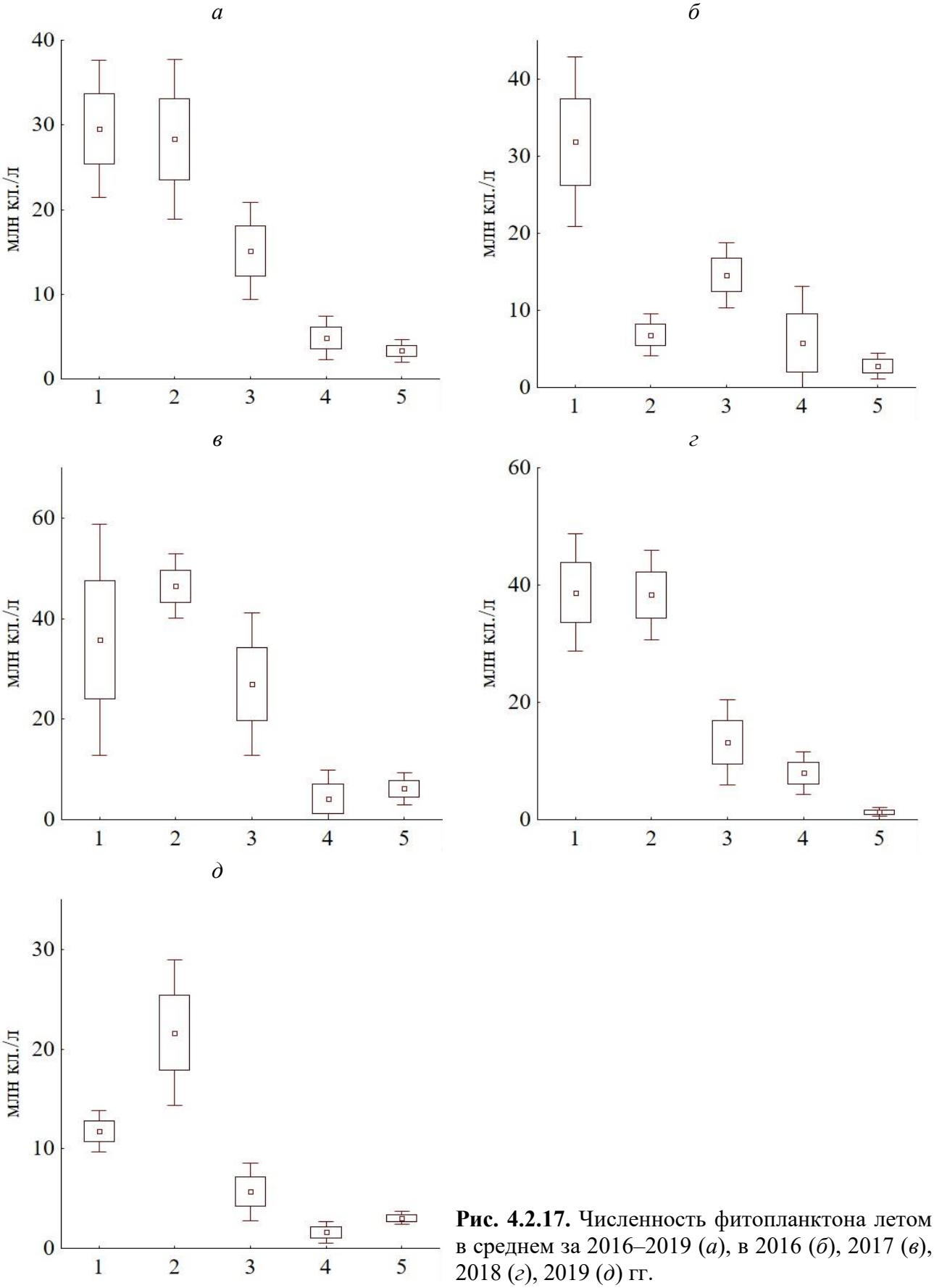

Рис. 4.2.17. Численность фитопланктона летом в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*), 2019 (*д*) гг.

Таблица 4.2.22. Численность таксономических групп ФП по продольному профилю исследованного участка р. Урал и плесов Ириклинского водохранилища летом

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Bacillariophyta	Средняя	10,6*[b-e]	10,8	2,9	2,4	1,0	0,5	0,7	0,4	0,6	0,3	**8,9**	**0,000**
	2016	13,4*[b-e]	3,5	1,6	0,9	1,0	0,4	0,6	0,2	0,5	0,1	**33,6**	**0,000**
	2017	21,3*[b-e]	15,6	0,8	0,6	0,7	0,2	0,9	0,8	0,4	0,2	**4,8**	**0,018**
	2018	7,7*[b-e]	2,4	2,9	1,1	1,0	0,4	0,8	0,3	0,5	0,2	**18,2**	**0,000**
	2019	0,2*[b]	0,2	6,2*[c-e]	2,1	1,3	0,7	0,6	0,3	0,9	0,2	**20,3**	**0,000**
Cyanobacteria	Средняя	1,2*[b-e]	1,6	18,9*[d-e]	13,9	12,4*[d-e]	9,4	3,9	4,2	2,1	2,3	**12,9**	**0,000**
	2016	1,2*[c]	2,5	4,5*[c]	1,7	12,8*[d,e]	3,7	4,9	6,2	1,6	1,1	**5,7**	**0,010**
	2017	0,4*[b,c]	0,7	38,0*[c-e]	4,8	23,6*[d-e]	11,3	3,1	4,3	5,1	3,0	**25,7**	**0,000**
	2018	0,9*[b-d]	1,2	23,5*[c-e]	3,0	9,6*[e]	5,4	6,9*[e]	2,9	0,3	0,4	**31,1**	**0,000**
	2019	2,3*[b]	1,4	9,7*[c-e]	3,7	3,7	2,2	0,5	0,5	1,5	0,7	**9,9**	**0,001**
Chlorophyta	Средняя	17,0*[c-e]	9,5	5,2*[c-e]	3,7	1,3*[d-e]	1,1	0,2	0,2	0,2	0,1	**29,5**	**0,000**
	2016	16,1*[b-e]	5,6	0,7	0,3	0,4	0,3	0,1	0,0	0,1	0,1	**21,7**	**0,000**
	2017	13,8*[b-e]	7,4	5,5	2,4	2,2	1,1	0,0	0,0	0,3	0,1	**7,3**	**0,004**
	2018	29,4*[b-e]	7,4	9,8*[c-e]	1,9	2,1	1,2	0,1	0,0	0,1	0,0	**35,7**	**0,000**
	2019	8,9*[b-e]	0,9	4,7*[c-e]	1,3	0,7	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	**94,6**	**0,000**
Cryptophyta	Средняя	0,5*[e]	0,5	0,8*[d]	1,0	0,3	0,3	0,1*[e]	0,1	0,4	0,2	**3,3**	**0,016**
	2016	1,1*[b-d]	0,6	0,1	0,0	0,4	0,3	0,1	0,1	0,5	0,3	**4,0**	**0,030**
	2017	0,2*[b]	0,2	1,7*[d-e]	1,7	0,5	0,4	0,1	0,1	0,3	0,1	2,4	0,112
	2018	0,5	0,3	0,6*[d]	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,3	0,2	1,6	0,243
	2019	0,3*[b]	0,1	0,8*[c-e]	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	**9,7**	**0,001**
Dinophyta	Средняя	0,1*[b,e]	0,1	0,1*[d]	0,1	0,0	0,0	0,0*[e]	0,0	0,1	0,1	**3,9**	**0,007**
	2016	0,03*[e]	0,01	0,01	0,01	0,04*[e]	0,03	0,01*[e]	0,01	0,07	0,03	**4,7**	**0,019**
	2017	0,06*[b]	0,04	0,19*[c,d]	0,09	0,05	0,01	0,03	0,00	0,10	0,06	**4,9**	**0,016**
	2018	0,11	0,08	0,20*[c,d]	0,09	0,02	0,03	0,05	0,02	0,12	0,07	**3,6**	**0,042**
	2019	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	1,5	0,255
Euglenophyta	Средняя	0,008*[b,d,e]	0,009	0,394*[d-e]	0,565	0,012	0,017	0,000	0,001	0,000	0,000	**6,2**	**0,000**
	2016	0,01*[b]	0,01	0,04*[d,e]	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,3	0,124
	2017	0,00*[b]	0,00	0,20*[c-e]	0,15	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	**6,2**	**0,007**
	2018	0,01*[b]	0,01	1,19*[c-e]	0,66	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	**10,9**	**0,001**
	2019	0,01*[b]	0,01	0,14*[c-e]	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**14,4**	**0,000**
Streptophyta	Средняя	0,025	0,028	0,024	0,037	0,011	0,010	0,006	0,007	0,009	0,014	2,0	0,114
	2016	0,00*[c]	0,00	0,00*[c]	0,00	0,02*[e]	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	3,1	0,062
	2017	0,05*[b-e]	0,03	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	**5,3**	**0,013**
	2018	0,04	0,02	0,07*[c,d]	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	2,2	0,141
	2019	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,6	0,673

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Chrysophyta	Средняя	0,000*[d]	0,000	0,004	0,007	0,001	0,003	0,000*[e]	0,001	0,012	0,016	**5,2**	**0,001**
	2016	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1	0,397
	2017	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	0,462
	2018	0,000*[e]	0,000	0,004	0,008	0,000*[e]	0,000	0,001*[e]	0,002	0,013	0,008	**3,8**	**0,035**
	2019	0,00*[e]	0,00	0,00*[e]	0,00	0,00*[e]	0,00	0,00*[e]	0,00	0,03	0,01	**24,9**	**0,000**
Xanthophyta	Средняя	0,047*[c-e]	0,053	0,030*[c-e]	0,039	0,003	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	**6,3**	**0,000**
	2016	0,03	0,06	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,7	0,612
	2017	0,00*[b]	0,01	0,01*[c-e]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**5,5**	**0,011**
	2018	0,11*[b-e]	0,04	0,03	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	**9,0**	**0,002**
	2019	0,05	0,04	0,07*[c-e]	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**3,6**	**0,040**

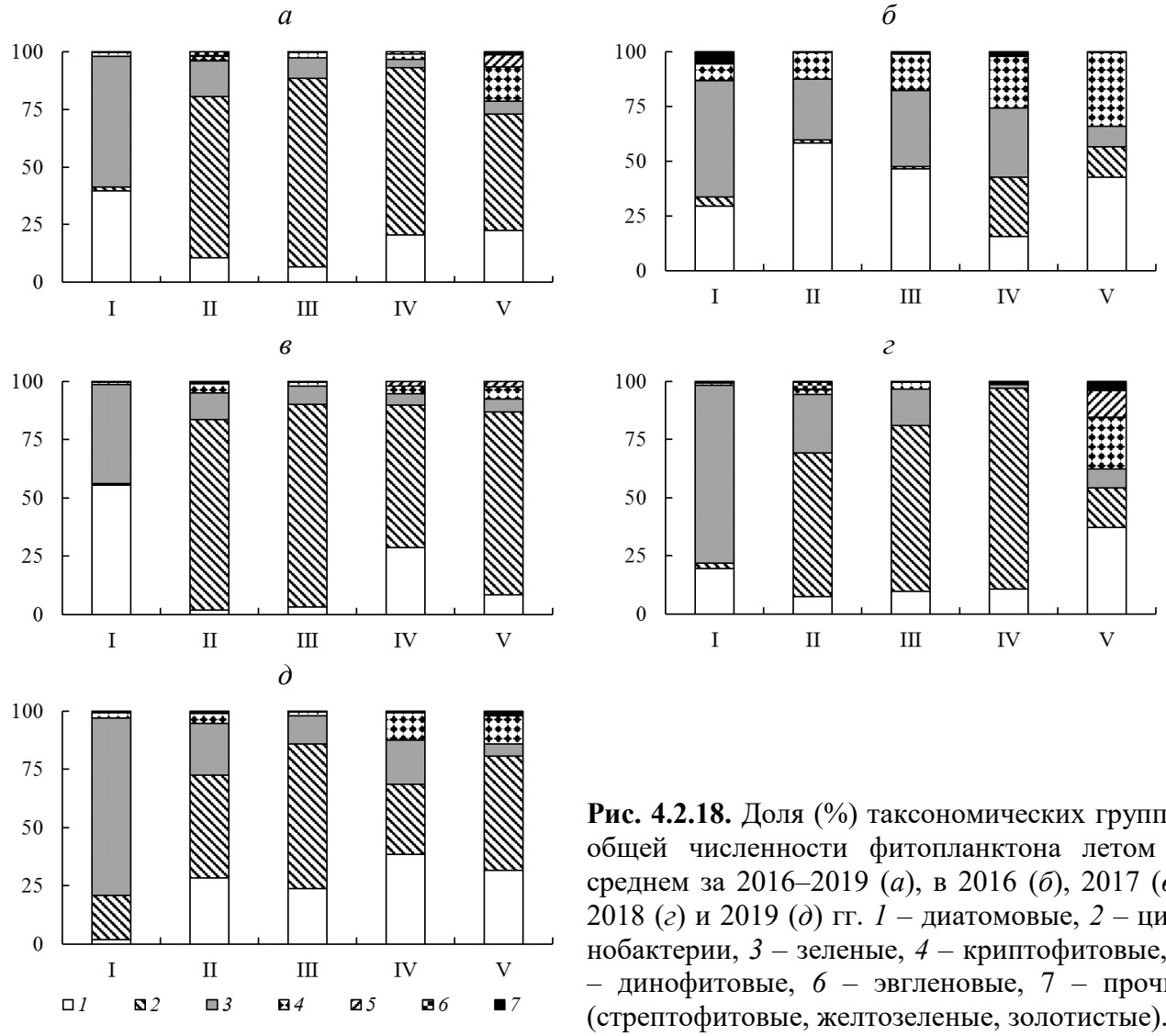

Рис. 4.2.18. Доля (%) таксономических групп в общей численности фитопланктона летом в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг. *1* – диатомовые, *2* – цианобактерии, *3* – зеленые, *4* – криптофитовые, *5* – динофитовые, *6* – эвгленовые, 7 – прочие (стрептофитовые, желтозеленые, золотистые).

В реке доминировала *Cyclotella meneghiniana*, в ЧП – *Dolichospermum scheremetieviae* и *Aulacoseira granulata*, в СП – исключительно цианобактерии *Pseudanabaena mucicola*, *Aphanocapsa incerta*, *Dolichospermum scheremetieviae*, *D. flosaquae*, в ТСП – *Aphanizomenon flosaquae*, в ПП – *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Komma caudata*, *Microcystis aeruginosa*, *Asterionella formosa*, *Aphanizomenon flosaquae*, *Aphanocapsa incerta*. Наибольшее сходство преобладающих (доминантов и субдоминантов) по численности видов ФП обнаружено между СП и ПП, ЧП и СП, между рекой и всеми плесами водохранилища, а также между ЧП и ТСП сходство отсутствовало (табл. 4.2.23). Минимальным средним уровнем сходства со всеми участками характеризовался ФП реки, максимальным – СП.

В условиях максимального уровня и объемов сброса воды в 2017 г. численность ФП в реке, ЧП и СП статистически достоверно не различалась, а минимальные величины зарегистрированы в ТСП и ПП (рис. 4.2.17*в*). Фитопланктон р. Урал отличался максимальной чис-

ностью диатомовых и стрептофитовых водорослей, ЧП – цианобактерий, криптофитовых, динофитовых, эвгленовых и желтозеленых (табл. 4.2.22).

Таблица 4.2.23. Индексы сходства доминирующих и субдоминирующих по численности видов фитопланктона участков исследованной акватории летом

Участок	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
2016 г. 7,9					
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	22,0	–	–	–
ТСП	0,0	0,0	9,3	–	–
ПП	0,0	8,7	22,3	16,5	–
Среднее	0,0	7,7	13,4	6,5	11,9
2017 г. 16,4					
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	42,0	–	–	–
ТСП	0,0	26,2	29,8	–	–
ПП	0,0	20,9	28,3	16,8	–
Среднее	0,0	22,3	25,0	18,2	16,5
2018 г. 10,4					
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	30,7	–	–	–
ТСП	0,0	11,1	32,0	–	–
ПП	0,0	14,5	0,0	16,1	–
Среднее	0,0	14,1	15,7	14,8	7,7
2019 г. 11,5					
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	13,4	–	–	–
ТСП	6,2	10,6	15,3	–	–
ПП	0,0	9,8	25,1	34,2	–
Среднее	1,6	8,5	13,5	16,6	17,3

В реке наибольшую долю в общей численности составляли диатомовые водоросли и зеленые, относительное обилие последних вниз по продольному профилю сокращалось, а динофитовых – повышалось (рис. 4.2.18*в*). Кроме этого, ФП плесов водохранилища характеризовался преобладанием цианобактерий. В реке доминировали *Cyclotella* sp. и *Stephanodiscus hantzschii*, в ЧП, СП и ПП – исключительно цианобактерии: *Aphanizomenon flosaquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Dolichospermum flosaquae* (ЧП), *Aphanizomenon flosaquae*, *Dolichospermum flosaquae*, *Aphanocapsa incerta* и *Aphanocapsa* sp. (СП), *Aphanizomenon flosaquae*, *Dolichospermum lemmermannii*, *Coelosphaerium kuetzingianum* (ПП), в ТСП помимо цианобактерий *Microcystis aeruginosa*, *Aphanocapsa incerta* и *Aphanizomenon flosaquae* в доминантах зарегистрирован представитель диатомовых – *Aulacoseira granulata.* Максимальный уровень сходства ведущих по численности видов ФП обнаружено между ЧП и СП, а между рекой и всеми плесами водохранилища сходство отсутствовало (табл. 4.2.23). В результате наименьший средний уровень сходства со всеми участками был отмечен для ФП реки, а наибольший зарегистрирован для сообществ ЧП и СП.

При минимальной сумме атмосферных осадков, снижении уровня воды, объемов притока и сброса воды в 2018 г. максимальные численности ФП зарегистрированы в реке и ЧП, они статистически значимо превышали значения в СП (соответственно p = 0,000 и 0,000), ТСП (p = 0,000 и 0,000) и ПП (p = 0,000 и 0,000), минимальная – в Приплотинном (рис. 4.2.17*г*). Фитопланктон р. Урал характеризовался максимальной численностью диатомовых, зеленых и желто-зеленых водорослей, ЧП – цианобактерий, динофитовых, эвгленовых и стрептофитовых, ПП – золотистых (табл. 4.2.22). Основу численности в ЧП, СП и ТСП составляли цианобактерии, а реке – зеленые, а в ПП отмечено увеличение доли в общей численности диатомовых, криптофитовых, динофитовых, а также стрептофитовых водорослей (рис. 4.2.18*г*). В реке доминировали зеленые и диатомовые водоросли: *Dictyosphaerium pulchellum* и *Cyclotella* sp., на всех участках водохранилища в составе доминантов были исключительно цианобактерии, лишь в ПП также доминировали представители криптофитовых и диатомовых водорослей: *Aphanocapsa incerta* (ЧП–ПП), *Merismopedia tenuissima* (ЧП), *Aphanizomenon flosaquae* (СП, ТСП), *Komma caudata*, *Fragilaria crotonensis*, *Cyclotella* sp. (ПП). Наибольшим сходством ведущих по численности видов отличались сообщества СП и ТСП, ЧП и СП, между рекой и всеми плесами водохранилища, а также между СП и ПП сходство отсутствовало (табл. 4.2.23). В целом, минимальным средним уровнем сходства со всеми участками характеризовался ФП реки, максимальным – СП, ТСП и ЧП.

В условиях максимального количества атмосферных осадков, минимальных уровня воды, объемов ее притока и сброса в 2019 г. наибольшая численность ФП обнаружена в ЧП, она была статистически значимо выше, чем в реке (p = 0,001), СП (p = 0,000), ТСП (p = 0,000) и ПП (p = 0,000) (рис. 4.2.17*д*). Одновременно численность ФП в реке превышала ее значения в СП (p = 0,029), ТСП (p = 0,001) и ПП (p = 0,004). При этом сообщество ЧП отличалось максимальной численностью диатомовых водорослей, цианобактерий, криптофитовых, эвгленовых и желтозеленых, ФП реки – зеленых водорослей, а ПП – золотистых (табл. 4.2.22). В плесах водохранилища доля цианобактерий и диатомовых водорослей была выше, чем в реке, причем вниз по течению обилие последних увеличивалось, как и криптофитовых, и динофитовых (рис. 4.2.18*д*). В реке отмечена наибольшая доля зеленых водорослей, которая вниз по продольному профилю снижалась. Доминировали в реке представители зеленых водорослей и цианобактерий: *Monoraphidium* sp., *Lagerheimia genevensis*, *Scenedesmus*

intermedius, *Snowella lacustris*. В ЧП доминировала *Cyclotella* sp., во всех нижележащих плесах в доминантах обнаружена *Aulacoseira granulata*, а также *Aphanocapsa incerta* и *Aphanocapsa holsatica* (СП), *Dolichospermum flosaquae*, *Cyclotella* sp.1 и *Monoraphidium contortum* (ТСП), *Komma caudata* (ПП). Максимальным сходством преобладающих по численности видов отличались сообщества ТСП и ПП, между рекой и ЧП, рекой и СП, рекой и ПП сходства не обнаружено (табл. 4.2.23). Минимальным средним уровнем сходства со всеми участками характеризовался ФП реки, максимальным – ПП и ТСП.

В среднем за время изучения максимальные величины индекса Шеннона, рассчитанного по численности, обнаружены в реке и ЧП, статистически значимо превышая значения в СП (соответственно p = 0,028 и 0,034), ТСП (p = 0,000 и 0,000) и ПП (p = 0,000 и 0,000), значения в СП были больше, чем в ТСП (p = 0,000), а в ПП больше, чем в ТСП (p = 0,030) (рис. 4.2.19*а*). При наибольшем объеме притока воды в 2016 г. индекс Шеннона в реке был выше, чем в ЧП (p = 0,003), СП (p = 0,006), ТСП (p = 0,000) и ПП (p = 0,000), а в ТСП он был меньше, чем в ЧП (p = 0,001), СП (p = 0,000) и ПП (p = 0,008) (рис. 4.2.19*б*). В условиях максимального уровня водохранилища и объема сброса воды в 2017 г. индекс Шеннона в ПП был статистически значимо меньше, чем в реке (p = 0,009), ЧП (p = 0,003) и СП (p = 0,007) (рис. 4.2.19*в*). При снижении уровня воды водохранилища, объемах притока и сброса воды в 2018 г. в ЧП величины индекса Шеннона были больше, чем в СП (p = 0,007), ТСП (p = 0,000) и ПП (p = 0,005), а в ТСП – меньше, чем в реке (p = 0,000), СП (p = 0,001) и ПП (p = 0,002) (рис. 4.2.19*г*). В условиях минимального уровня воды, объемов притока и сброса в 2019 г. значения индекса Шеннона статистически значимо различались лишь между ФП ТСП и реки (p = 0,035), ЧП и СП (p = 0,021), ЧП и ТСП (p = 0,009) (рис. 4.2.19*д*).

По продольному профилю также изменялась численность миксотрофных организмов в составе ФП. В среднем за исследованный период их максимальная численность зарегистрирована в ЧП, и она статистически значимо превышала обилие в реке (p = 0,001), СП (p = 0,000), ТСП (p = 0,000) и ПП (p = 0,000), а в реке была больше, чем в ТСП (p = 0,045) (рис. 4.2.20*а*).

В 2016 г. численность миксотрофов в реке статистически значимо превышала значения в ЧП (p = 0,007), СП (p = 0,043), ТСП (p = 0,008) (рис. 4.2.20*б*). В 2017–2019 гг. наибольшей численностью миксотрофных организмов отличалось сообщество ЧП, она была выше,

выше, чем в реке (соответственно p = 0,007, 0,000 и 0,000), СП (p = 0,020, 0,000 и 0,000), ТСП (p = 0,006, 0,000 и 0,000) и ПП (p = 0,014, 0,000 и 0,001) (рис. 4.2.20*в–д*). Кроме этого, в 2019 г. их численность в ПП статистически достоверно превышала таковую в СП (p = 0,027).

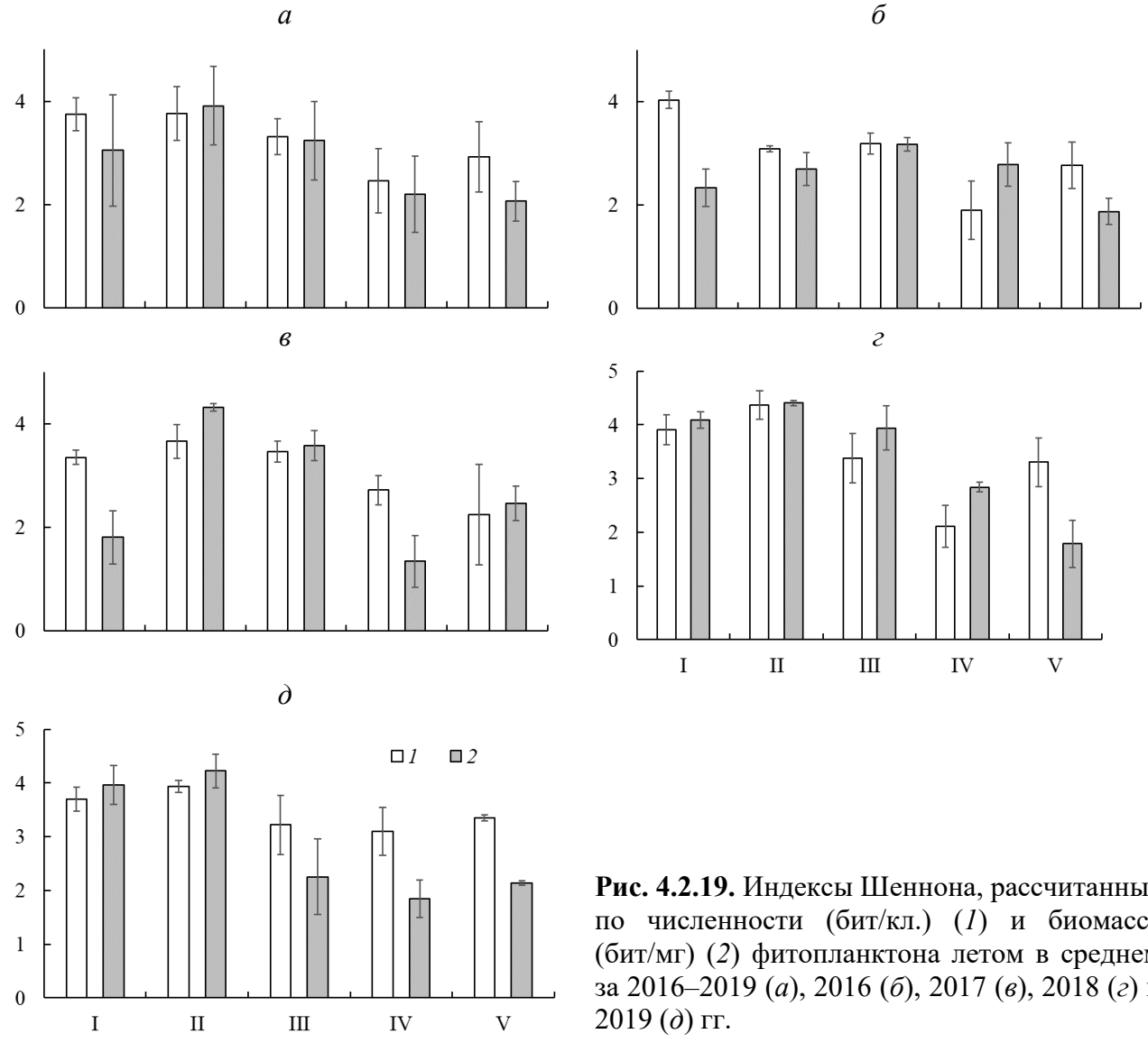

Рис. 4.2.19. Индексы Шеннона, рассчитанные по численности (бит/кл.) (*1*) и биомассе (бит/мг) (*2*) фитопланктона летом в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

В среднем за исследованный период биомасса ФП р. Урал статистически достоверно превышала биомассу ЧП (p = 0,011), СП (p = 0,000), ТСП (p = 0,000) и ПП (p = 0,000) (рис. 4.2.21*а*) за счет диатомовых и зеленых водорослей (табл. 4.2.24). Кроме этого, сообщество ЧП отличалось максимальной биомассой криптофитовых и эвгленовых, реки и ЧП – желтозеленых, ЧП и СП – цианобактерий, ПП – динофитовых и золотистых.

Основу биомассы ФП реки составляли диатомовые и зеленые водоросли, доля последних сокращалась по продольному профилю исследованного участка, однако возрастала доля динофитовых (рис. 4.2.21*а*). В среднем за время изучения в реке по биомассе доминировали *Stephanodiscus hantzschii* и *Cyclotella meneghiniana*, в ЧП доминанты не были зарегистриро-

ваны, а в СП основу доминантов составляли *Aulacoseira granulata* и *Dolichospermum scheremetieviae*, в ТСП – *Ceratium hirundinella* и *Aulacoseira granulata*, в ПП – *Ceratium hirundinella* и *Peridinium cinctum.*

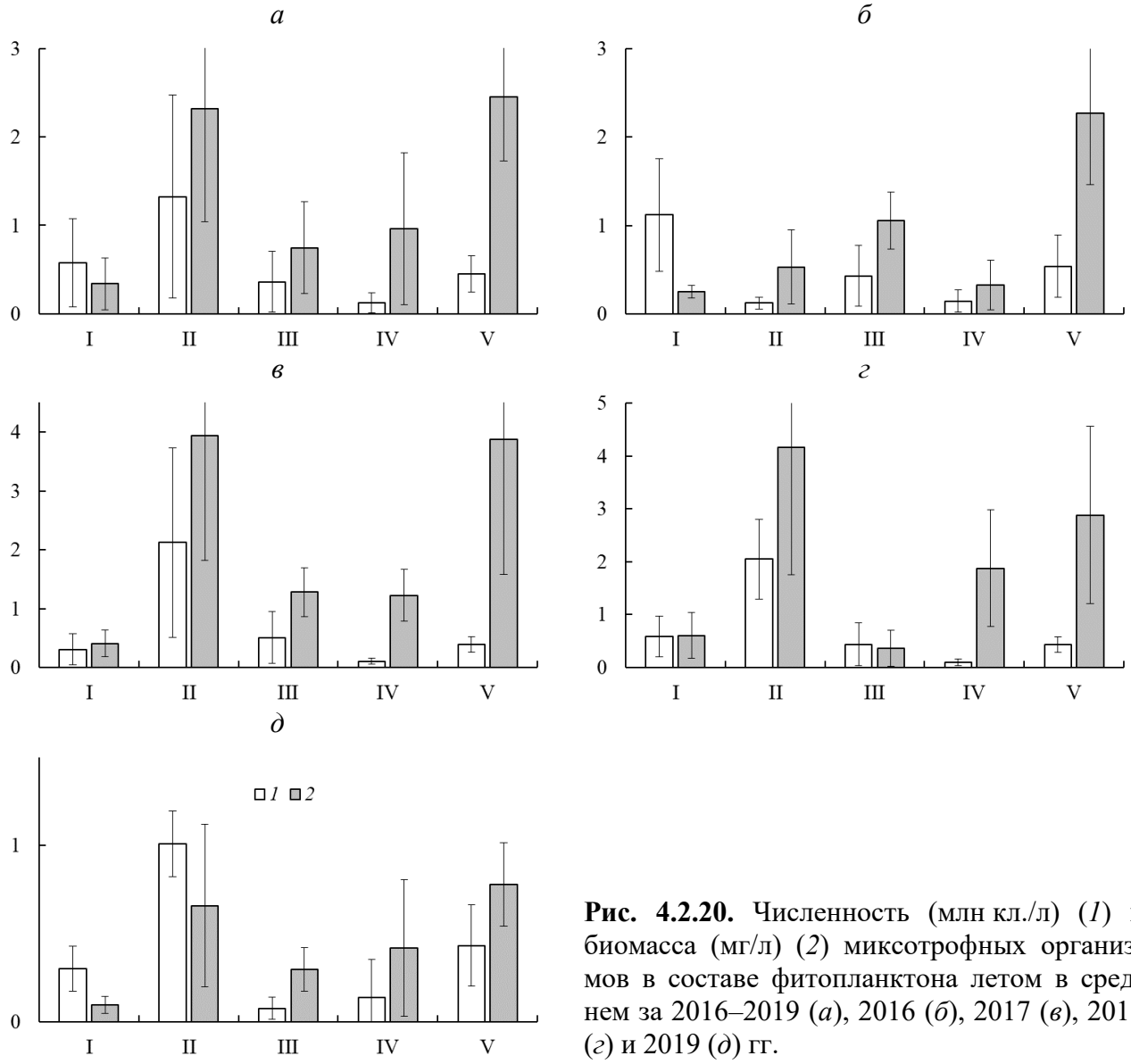

Рис. 4.2.20. Численность (млн кл./л) (*1*) и биомасса (мг/л) (*2*) миксотрофных организмов в составе фитопланктона летом в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

В 2016 г. биомасса ФП реки статистически достоверно превышала значения в ЧП (p = 0,000), СП (p = 0,000), ТСП (p = 0,000) и ПП (p = 0,000), при этом между плесами водохранилища ее варьирование было наименьшим (рис. 4.2.21*б*). Сообщество реки отличалось максимальной биомассой диатомовых и зеленых водорослей, в ЧП плесе обнаружена наибольшая биомасса эвгленовых, в СП – криптофитовых, в ЧП и СП – цианобактерий, в ПП – динофитовых (табл. 4.2.24). По продольному профилю исследованного участка снижалась доля диатомовых и зеленых водорослей, увеличивалась доля динофитовых, в ЧП и СП обнаружена наибольшая доля в общей биомассе цианобактерий, в СП – криптофитовых, а в ТСП – прочих водорослей за счет стрептофитовых (рис. 4.2.22*б*).

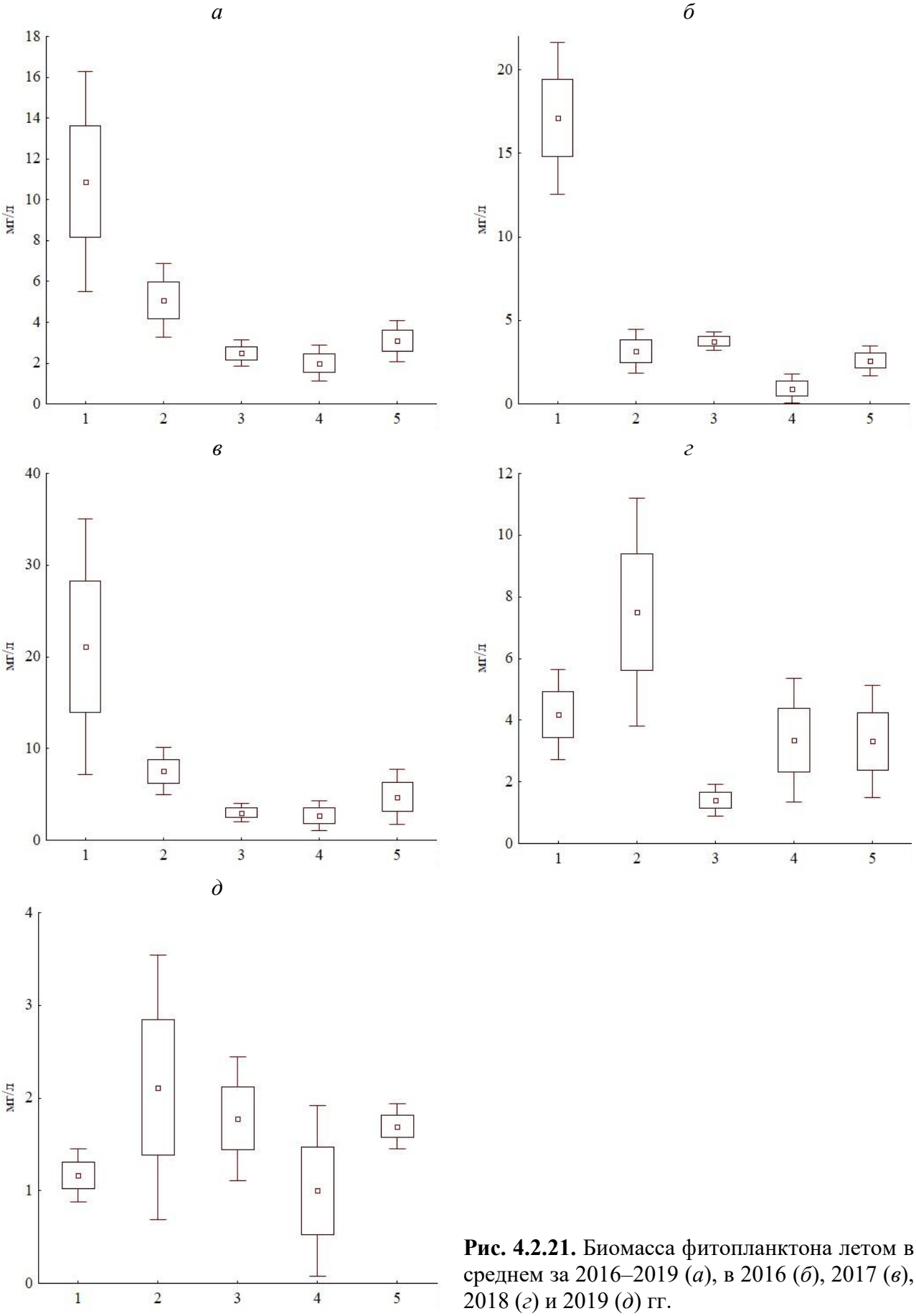

Рис. 4.2.21. Биомасса фитопланктона летом в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

Таблица 4.2.24. Биомасса таксономических групп ФП по продольному профилю исследованного участка р. Урал и плесов Ириклинского водохранилища

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Bacillariophyta	Средняя	8,582*[b-e]	10,403	0,775	0,414	0,834	0,565	0,547	0,382	0,453	0,301	**6,8**	**0,000**
	2016	14,426*[b-e]	3,968	1,021	0,342	0,894	0,674	0,263	0,105	0,262	0,015	**32,6**	**0,000**
	2017	18,454*[b-e]	13,580	0,664	0,270	0,683	0,019	0,637	0,571	0,436	0,386	**4,7**	**0,018**
	2018	1,078*[b,c,e]	0,547	0,427	0,186	0,377	0,055	0,748	0,323	0,296	0,144	**3,4**	**0,050**
	2019	0,368*[c]	0,317	0,988	0,599	1,382*[d]	0,703	0,541	0,410	0,819	0,183	2,4	0,117
Cyanobacteria	Средняя	0,021*[b,c]	0,040	1,034*[d,e]	0,884	0,712*[d,e]	0,721	0,204	0,305	0,079	0,095	**9,5**	**0,000**
	2016	0,024*[b,c]	0,047	1,404*[d,e]	0,342	1,579*[d,e]	0,849	0,163	0,232	0,028	0,010	**11,8**	**0,001**
	2017	0,012*[b,c]	0,024	2,040*[c-e]	0,869	0,821*[d]	0,379	0,058	0,045	0,209	0,101	**13,7**	**0,000**
	2018	0,005*[b-d]	0,008	0,609*[e]	0,279	0,405	0,190	0,572*[e]	0,409	0,001	0,001	**5,7**	**0,010**
	2019	0,043	0,062	0,085	0,070	0,043	0,024	0,022	0,019	0,077	0,031	0,9	0,494
Chlorophyta	Средняя	1,874*[b-e]	0,981	0,909*[c-e]	0,896	0,156	0,127	0,029	0,025	0,078	0,090	**22,7**	**0,000**
	2016	2,376*[b-e]	1,048	0,203	0,162	0,148	0,107	0,042	0,038	0,038	0,049	**12,6**	**0,000**
	2017	2,132*[b-e]	0,667	0,809*[c]	0,108	0,215	0,139	0,014	0,010	0,185	0,121	**21,4**	**0,000**
	2018	2,361*[c-e]	0,667	2,272*[c-e]	0,584	0,226	0,153	0,041	0,026	0,079	0,033	**25,6**	**0,000**
	2019	0,628*[b-e]	0,102	0,351*[c-e]	0,142	0,035	0,014	0,017	0,010	0,009	0,009	**40,7**	**0,000**
Cryptophyta	Средняя	0,066*[b]	0,069	0,761*[c-e]	0,878	0,206	0,278	0,034	0,045	0,110	0,137	**6,8**	**0,000**
	2016	0,092*[c]	0,055	0,266*[c,d]	0,178	0,649*[d,e]	0,111	0,069	0,082	0,108	0,067	**16,8**	**0,000**
	2017	0,040*[b]	0,018	1,749*[c-e]	1,165	0,052	0,069	0,021	0,014	0,261	0,215	**6,7**	**0,006**
	2018	0,100*[b]	0,123	0,914*[c-e]	0,597	0,115	0,089	0,039	0,030	0,038	0,010	**6,1**	**0,008**
	2019	0,033*[b]	0,025	0,115*[c-e]	0,041	0,009	0,003	0,006	0,010	0,031	0,029	**9,1**	**0,002**
Dinophyta	Средняя	0,246*[e]	0,242	0,700*[e]	0,915	0,517*[e]	0,485	0,926*[e]	0,853	2,333	1,716	**9,4**	**0,000**
	2016	0,146*[e]	0,048	0,165*[e]	0,161	0,387*[e]	0,221	0,258*[e]	0,288	2,162	0,748	**17,6**	**0,000**
	2017	0,357*[e]	0,214	1,682	1,292	1,223*[e]	0,402	1,202*[e]	0,437	3,609	2,456	3,2	0,055
	2018	0,450*[e]	0,311	0,890*[e]	0,601	0,196*[e]	0,233	1,833	1,076	2,835	1,682	**4,5**	**0,022**
	2019	0,030*[d,e]	0,008	0,060*[e]	0,042	0,264*[e]	0,081	0,413	0,392	0,727	0,227	**6,7**	**0,005**
Euglenophyta	Средняя	0,028*[b]	0,036	0,859*[c-e]	1,104	0,023	0,030	0,001	0,003	0,000	0,000	**7,6**	**0,000**
	2016	0,015*[b]	0,011	0,096*[c-e]	0,095	0,016	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	2,9	0,072
	2017	0,008*[b]	0,016	0,500*[c-e]	0,344	0,004	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	**7,0**	**0,005**
	2018	0,055*[b]	0,047	2,356*[c-e]	1,340	0,048	0,042	0,003	0,006	0,000	0,000	**10,1**	**0,001**
	2019	0,033*[b]	0,046	0,483*[c-e]	0,383	0,023	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	**4,9**	**0,017**
Streptophyta	Средняя	0,065	0,068	0,024	0,036	0,035	0,049	0,247	0,633	0,026	0,035	1,4	0,242
	2016	0,020	0,023	0,000	0,000	0,074	0,086	0,123	0,155	0,000	0,000	1,5	0,269
	2017	0,108	0,046	0,059	0,047	0,015	0,014	0,744	1,289	0,031	0,054	1,0	0,466
	2018	0,117	0,091	0,036	0,035	0,027	0,043	0,119	0,111	0,063	0,014	1,2	0,364
	2019	0,017	0,020	0,002	0,002	0,023	0,024	0,001	0,002	0,010	0,009	1,2	0,378

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Chrysophyta	Средняя	0,000*[e]	0,000	0,003	0,007	0,001*[e]	0,001	0,000*[e]	0,001	0,007	0,010	**4,5**	**0,003**
	2016	0,000	0,000	0,003	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,1	0,397
	2017	0,000	0,000	0,003	0,005	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	1,0	0,466
	2018	0,000	0,000	0,007	0,013	0,000	0,000	0,001	0,001	0,008	0,003	1,6	0,241
	2019	0,000*[e]	0,000	0,000*[e]	0,000	0,001*[e]	0,002	0,000*[e]	0,000	0,022	0,008	**25,4**	**0,000**
Xanthophyta	Средняя	0,011*[c-e]	0,012	0,009*[d,e]	0,014	0,002	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	**4,5**	**0,003**
	2016	0,005	0,010	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,7	0,598
	2017	0,002	0,003	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	1,8	0,195
	2018	0,020*[b-e]	0,006	0,004	0,006	0,008	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	**6,9**	**0,005**
	2019	0,017	0,017	0,028*[c-e]	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	**3,4**	**0,047**

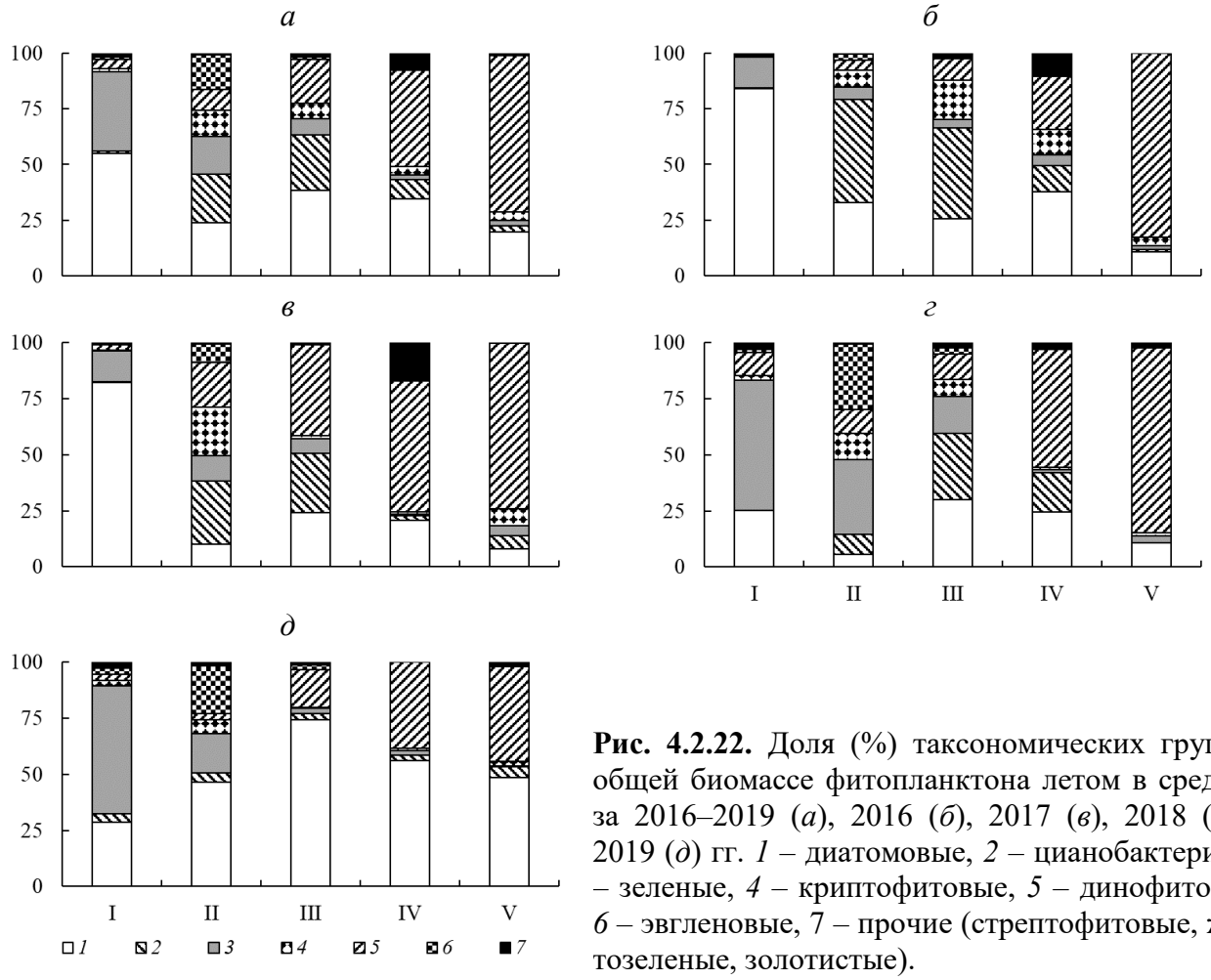

Рис. 4.2.22. Доля (%) таксономических групп в общей биомассе фитопланктона летом в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг. *1* – диатомовые, *2* – цианобактерии, *3* – зеленые, *4* – криптофитовые, *5* – динофитовые, *6* – эвгленовые, 7 – прочие (стрептофитовые, желтозеленые, золотистые).

В реке доминировали *Stephanodiscus hantzschii* и *Cyclotella meneghiniana*, в ЧП и СП – *Dolichospermum scheremetieviae* и *Aulacoseira granulata*, в ТСП – *Ceratium hirundinella*, *Aphanizomenon flosaquae*, *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa*, в ПП – *Ceratium hirundinella* и *Peridinium cinctum.* Максимальным сходством лидирующих по биомассе видов отличались сообщества ЧП и СП, а между рекой и плесами водохранилища сходство отсутствовало (табл. 4.2.25). Наименьшим средним уровнем сходства со всеми участками исследованной акватории характеризовался ФП реки, максимальным – ЧП и СП.

В 2017 г. на фоне максимального уровня воды биомасса ФП р. Урал была больше, чем в ЧП (p = 0,039), СП (p = 0,009), ТСП (p = 0,009) и ПП (p = 0,016) (рис. 4.2.21*в*). В реке обнаружена наибольшая биомасса диатомовых и зеленых водорослей, в ЧП – цианобактерий, криптофитовых и эвгленовых, в ПП – динофитовых (табл. 4.2.24). По продольному профилю исследованного участка в общей биомассе снижалась доля диатомовых и зеленых водорослей, возрастала доля динофитовых, максимальная доля цианобактерий обнаружена в ЧП и СП, в ЧП – криптофитовых и эвгленовых, а в ТСП – стрептофитовых (рис. 4.2.22*в*). В реке

доминировал *Stephanodiscus hantzschii*, в ЧП – *Dolichospermum flosaquae* и *Cryptomonas curvata*, в СП – *Ceratium hirundinella*, *Diplopsalis acuta* и *Aulacoseira granulata*, в ТСП – *Ceratium hirundinella*, *Aulacoseira granulata* и *Closterium pronum*, в ПП – исключительно динофитовые – *Ceratium hirundinella*, *Diplopsalis acuta* и *Peridinium cinctum*. Наибольшим сходством преобладающих по биомассе видов отличались сообщества ЧП и СП, СП и ПП, а между рекой и плесами водохранилища сходство отсутствовало (табл. 4.2.25). Минимальный средний уровень сходства со всеми участками исследованной акватории зарегистрирован для ФП реки, максимальный – СП.

Таблица 4.2.25. Индексы сходства доминирующих и субдоминирующих по биомассе видов фитопланктона участков исследованной акватории летом

Участок	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
2016 г. 8,2					
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	49,1	–	–	–
ТСП	0,0	0,0	0,0	–	–
ПП	0,0	0,0	0,0	32,7	–
Среднее	0,0	12,3	12,3	8,2	8,2
2017 г. 9,4					
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	13,7	–	–	–
ТСП	0,0	0,0	35,6	–	–
ПП	0,0	0,0	39,3	5,0	–
Среднее	0,0	3,4	22,2	10,2	11,1
2018 г. 7,1					
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	0,0	–	–	–
ТСП	0,0	0,0	23,4	–	–
ПП	0,0	0,0	8,4	39,4	–
Среднее	0,0	0,0	8,0	15,7	12,0
2019 г. 19,0					
ЧП	4,6	–	–	–	–
СП	0,0	5,1	–	–	–
ТСП	0,0	0,0	60,1	–	–
ПП	0,0	0,0	51,3	68,8	–
Среднее	1,2	2,4	29,1	32,2	30,0

В 2018 г. при снижении уровня, объемов притока и сброса биомасса ФП в ЧП была статистически значимо больше, чем в реке (p = 0,043), СП (p = 0,002), ТСП (p = 0,021) и ПП (p = 0,020) (рис. 4.2.21*г*). В реке обнаружена максимальная биомасса диатомовых и желтозеленых водорослей, в ЧП – зеленых, криптофитовых и эвгленовых, в ПП – динофитовых, а в ЧП, СП и ТСП – цианобактерий (табл. 4.2.24). Вдоль по продольному профилю исследованного участка в общей биомассе снижалась доля зеленых водорослей, возрастала – динофитовых, в реке, СП и ТСП зарегистрирована наибольшая доля диатомовых водорослей, в СП и ТСП – цианобактерий, в ЧП и СП – криптофитовых, а в ЧП – эвгленовых (рис. 4.2.22*г*). Доминировали в реке *Pediastrum duplex* и *Dictyosphaerium pulchellum*, в ЧП – *Trachelomonas* sp. 1 и *T.*

planctonica, в СП –*Aphanizomenon flosaquae* и *Stephanodiscus hantzschii*, в ТСП – *Ceratium hirundinella*, *Diplopsalis acuta* и *Aulacoseira granulata*, в ПП – *Ceratium hirundinella*, доля которого возросла с 8,4% в СП до 72,6% в ПП. Максимальное сходство лидирующих по биомассе видов наблюдалось между сообществами ТСП и ПП, при этом между рекой и плесами водохранилища, а также между ЧП и другими плесами сходство отсутствовало (табл. 4.2.25). Наибольший средний уровень сходства со всеми участками исследованной акватории зарегистрирован для сообществ ТСП и ПП.

При минимальном уровне воды, объемах притока и сброса, но максимальной сумме осадков в 2019 г. статистически значимых различий биомассы ФП не зафиксировано (рис. 4.2.21*г*). При этом в реке была статистически значимо больше биомасса зеленых водорослей, а в ЧП – криптофитовых, эвгленовых и желто-зеленых, в ПП – динофитовых (табл. 4.2.24). Фитопланктон реки характеризовался минимальной долей в общей биомассе диатомовых водорослей, ЧП – криптофитовых и эвгленовых, вниз по продольному профилю исследованного участка сокращалась доля зеленых водорослей, но возрастала доля динофитовых (рис. 4.2.22*г*). В реке доминировали *Pediastrum boryanum*, *P. duplex*, *Cymatopleura elliptica*, в ЧП – *Stephanodiscus hantzschii* и *Cyclotella* sp., СП – *Aulacoseira granulata*, в ТСП – *A. granulata*, *Ceratium hirundinella Diplopsalis acuta*, в ПП – *Aulacoseira granulata* и *Ceratium hirundinella.* Наибольшее сходство состава и обилия преобладающих по биомассе видов наблюдалось между ТСП и ПП, СП и ТСП, СП и ПП, а между сообществами реки и СП, ТСП, ПП, а также между ЧП и ТСП, ПП сходства не отмечено (табл. 4.2.25). Максимальный средний уровень сходства со всеми участками исследованной акватории зарегистрирован для сообществ СП, ТСП и ПП, минимальный – реки и ЧП.

В среднем за время изучения индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, в ЧП статистически значимо превышал значения в реке (p = 0,006), СП (p = 0,042), ТСП (p = 0,000) и ПП (p = 0,000), в реке он был выше, чем в ТСП (p = 0,007) и ПП (p = 0,002), а в СП больше, чем в ТСП (p = 0,002) и ПП (p = 0,000) (рис. 4.2.19*а*). В 2016 г. минимальное значение индекса зарегистрировано в ПП, где оно было статистически значимо меньше, чем в ЧП (p = 0,009), СП (p = 0,000) и ТСП (p = 0,005) (рис. 4.2.19*б*). В 2017 г. в ЧП и СП индекс Шеннона превышал значения в реке (соответственно p = 0,000 и 0,000), ТСП (p = 0,000 и 0,000) и ПП (p = 0,000 и 0,005), при этом также статистически значимо величины индекса различались между ЧП и СП (p = 0,040), а также между ТСП и ПП (p = 0,005) (рис. 4.2.19*в*). В 2018 г. минимальной величиной индекса отличалось сообщество ПП, а в реке, ЧП и СП его значения были статистически

чески достоверно выше, чем в ТСП и ПП ($p > 0,05$) (рис. 4.2.19*г*). В 2019 г. наибольшие индексы зарегистрированы в реке и ЧП, где значения были статистически достоверно больше, чем в СП ($p = 0,000$ и $0,000$), ТСП ($p = 0,000$ и $0,000$) и ПП ($p = 0,000$ и $0,000$) (рис. 4.2.19*д*).

За все время изучения, а также в 2017 и 2019 гг. максимальная биомасса миксотрофных таксонов в составе ФП регистрировалась в ПП и ЧП, а минимальная – в реке (рис. 4.2.20*а*, *в*, *д*). В 2016 г. наибольшей биомассой миксотрофов отличался ПП, а минимальной – река (рис. 4.2.20*б*). В 2018 г. минимальные их биомассы зафиксированы в реке и СП, а максимальные – в ПП, ЧП и ТСП (рис. 4.2.20*г*).

Наблюдались также пространственные изменения СИМ ФП. Так, в среднем за время изучения ее максимальная величина зарегистрирована в ПП, она была статистически достоверно больше, чем в реке ($p = 0,000$), ЧП ($p = 0,000$), СП ($p = 0,000$) и ТСП ($p = 0,010$) (рис. 4.2.23*а*).

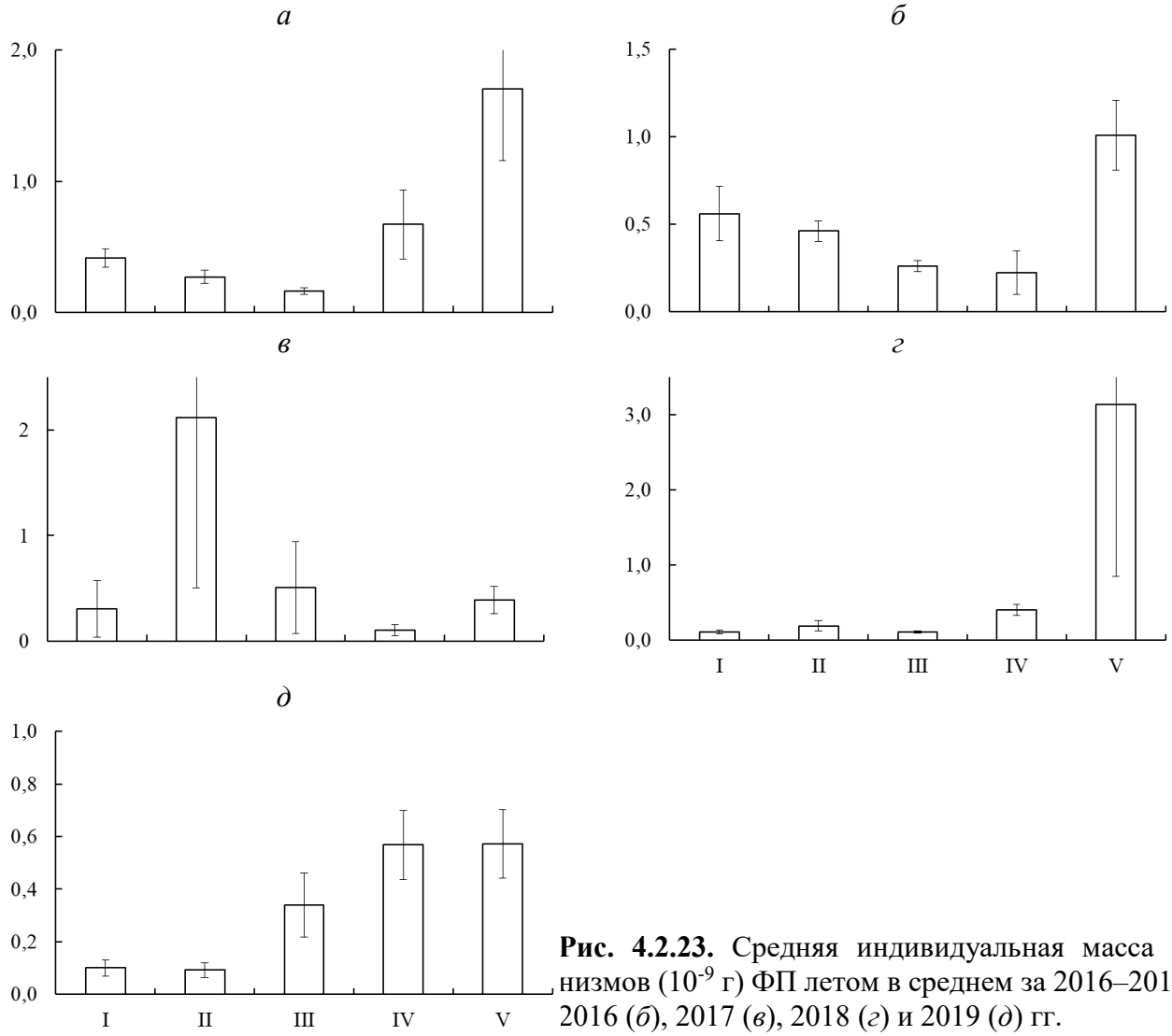

Рис. 4.2.23. Средняя индивидуальная масса организмов (10^{-9} г) ФП летом в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

В 2017 г. статистически значимые различия наблюдались лишь между СИМ в ТСП и ЧП (p = 0,030), а также в ТСП и СП (p = 0,026) (рис. 4.2.23*в*). В 2018 г. СИМ в ПП также была выше, чем на остальных участках: в реке (p = 0,002), ЧП (p = 0,004), СП (p = 0,003) и ТСП (p = 0,006) (рис. 4.2.23*г*). В 2019 г. наибольшая СИМ по сравнению с остальными участками зарегистрирована в ПП и ТСП (p > 0,05), при этом ее величина в СП была выше, чем в реке (p = 0,008) и ЧП (p = 0,009) (рис. 4.2.23*д*).

В 2016 и 2017 гг., а также в среднем за время изучения по продольному профилю акватории наблюдалось постепенное снижение значений индекса сапробности, а в 2018 и 2019 гг. максимальные значения отмечены в СП (табл. 4.2.26).

Таблица 4.2.26. Изменения величин индекса сапробности по продольному профилю исследованной акватории в разные годы

Годы	Река	ЧП	СП	ТСП	ПП
2016–2019	2,28±0,26	2,07±0,12	2,06±0,18	1,77±0,22	1,60±0,21
2016	2,50±0,04	2,05±0,02	1,97±0,14	1,68±0,07	1,46±0,04
2017	2,55±0,08	1,98±0,16	1,91±0,09	1,68±0,32	1,60±0,15
2018	1,99±0,05	2,04±0,04	2,10±0,17	1,68±0,05	1,41±0,03
2019	2,10±0,08	2,20±0,10	2,26±0,04	2,05±0,09	1,91±0,08

Также наблюдались изменения трофического статуса участков по продольному профилю изученной акватории. Так, и по шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976), и по шкале С.П. Китаева (2007), наиболее высоким трофическим статусом отличался участок р. Урал и ЧП (табл. 4.2.27). Лишь в 2017 г. по шкале С.П. Китаева трофический статус нижнего плеса был выше, чем в СП и ТСП, а в 2019 г. по шкале В.Н. Жукинского изменения трофического статуса исследованных участков были практически не выражены.

Таблица 4.2.27. Изменения трофического статуса по продольному профилю исследованной акватории в разные годы

Год	Река	ЧП	СП	ТСП	ПП
по: Жукинский и др., 1976					
2016	*β*-эвтрофный	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*α*-мезо-	*β*-мезо-
2017	*β*-эвтрофный	*α*-эвтрофный	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*β*-мезо-
2018	*β*-мезо-	*α*-эвтрофный	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*β*-мезо-
2019	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*α*-мезо-	*β*-мезо-
по: Китаев, 2007					
2016	поли-	*β*-мезо-	*β*-мезо-	олиго-	*β*-мезо-
2017	поли-	*α*-эвтрофный	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*α*-эвтрофный
2018	*α*-эвтрофный	*α*-эвтрофный	*α*-мезо-	*β*-мезо-	*β*-мезо-
2019	*α*-мезо-	*β*-мезо-	*α*-мезо-	олиго-	*α*-мезо-

Заключение к разделу 4.2.

Результаты изучения ФП р. Урал и русловых плесов Ириклинского водохранилища свидетельствуют о том, что колебания гидрологических и метеорологических параметров способствовали специфичным изменениям количественных характеристик ФП на разных участках исследованной акватории летом. Максимальное количество статистически достоверных изменений показателей ФП обнаружено в р. Урал (31) и в ЧП (30), в ПП и СП их было меньше – 21 и 18 соответственно, а минимальное зарегистрировано в ТСП – 12. Следовательно, наиболее стабильными условиями формирования ФП, как и весной, отличался самый большой по площади ТСП, наименее стабильными – река и верхний из исследованных плесов водохранилища – Чапаевский.

Фитопланктон р. Урал характеризовался высокими численностью и биомассой за счет Bacillariophyta и Chlorophyta. При этом уровень его количественной представленности в основном определялся водностью, минимальные величины которой наблюдались в 2018 и 2019 гг., о чем свидетельствуют данные об объеме притока, основу которого составляют воды Урала (Чибилев и др., 2006). В этот период снижались численность и биомасса ФП, индекс сапробности, увеличивался индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, возрастало количество доминирующих видов (2019 г.) или в их составе не было индикаторов α-мезосапробных вод (2018 г.), что характерно для сообществ, развивающихся в менее трофных условиях. Одновременно в 2019 г. отмечен ряд изменений, указывающих на повышение биогенной и органической нагрузки: возрастали численность и биомасса цианобактерий, а в 2018 и 2019 гг. – доля в общей численности и биомассе цианобактерий и зеленых водорослей, доля в общей биомассе эвгленовых водорослей, что может быть связано с увеличением суммы атмосферных осадков и поступлением дополнительного количества питательных веществ.

В верхнем из исследованных плесов водохранилища – Чапаевском – значительную роль в формировании количественных характеристик ФП играла температура воды, о чем свидетельствуют данные, полученные в 2017 и 2018 гг. Так, в 2017 г., который отличался наибольшими количеством атмосферных осадков в период с апреля по июль, уровнем водохранилища, объемами притока и сброса, в плес поступало большое количество питательных веществ, которые активно вовлекались в круговорот. В 2018 г., напротив, наблюдалось сокращение атмосферных

осадков, уровня водохранилища, объемов притока и сброса. Однако удельное видовое богатство, численность и биомасса ФП в эти годы не имели статистически достоверных различий, что свидетельствует о том, что меньшее поступление органических и биогенных веществ в 2018 г. компенсировалось высокой температурой воздуха и воды. Известно, что повышенные температуры воды могут вызывать термическое эвтрофирование, которое характерно для водоемов-охладителей электростанций (Безносов и др., 2002; Веригин, 1977; Сиренко, 1981). Аналогичные изменения наблюдались не только в зонах искусственного подогрева, но также в аномально жаркие периоды в водохранилищах (Копылов и др., 2012, 2019; Современное состояние …, 1993). В результате, и в 2017 г., и в 2018 г., показатели ФП характеризовали формирование наиболее трофных условий в плесе, о чем, помимо максимальных значений общей численности и биомассы, свидетельствуют наибольшие численность цианобактерий, биомасса криптофитовых и динофитовых водорослей, а в 2017 г. ФП отличался также максимальной биомассой цианобактерий и их долей в общей численности. О ведущей роли температуры воды свидетельствует и тот факт, что в условиях максимального объема притока и максимальных величин ХПК, $БПК_5$, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$, но минимальной температуре воды в 2016 г. ФП характеризовался наименьшими удельным видовым богатством, общей численностью и биомассой, численностью и биомассой миксотрофных организмов, индексами Шеннона, числом видов, численностью и биомассой зеленых водорослей. При максимальном сокращении уровня воды, объемов притока и сброса в 2019 г. наблюдались изменения, характерные для процессов деэвтрофирования: до минимальных величин, как и в 2016 г., снижались общие численность и биомасса ФП, но увеличивались численность диатомовых, а также их доля в общей численности и биомассе, что, очевидно, связано с сокращением поступления веществ с водосбора.

Фитопланктон СП в большей степени был зависим от количества атмосферных осадков и водообмена вследствие притока и сброса воды, и, как результат, дальности проникновения веществ, приносимых речными водами. Так, в 2017 г. при максимальных значениях этих параметров ФП плеса характеризовался наибольшей общей численностью за счет цианобактерий, плотностью миксотрофных таксонов, величиной индекса Шеннона, рассчитанного по численности, общей биомассой за счет динофитовых водорослей, а также минимальной СИМ. Сходные черты ФП отмечены также при наибольшем объеме притока, температуре воздуха, высоком уровне воды в 2016 г., когда сообщество характеризовалось высокой биомассой за

счет цианобактерий. При снижении и минимальных показателях уровня воды, объемах притока и сброса в 2018 и 2019 гг. ФП отличался наименьшими численностью и биомассой, численностью миксотрофных организмов, максимальной СИМ, но одновременно отмечено доминирование в общей биомассе цианобактерий, увеличение значений индекса сапробности, высокая степень доминирования одного вида (основу биомассы составляла *Aulacoseira granulata* (62% от общей)). Увеличение представленности цианобактерий может быть связано со снижением уровня воды и, как следствие, с более активным поступлением биогенных веществ из донных отложений, а также значительной суммой атмосферных осадков, увеличившим поступление питательных веществ с водосбора. Кроме этого, повышение биомассы цианобактерий может определяться жизнедеятельностью зоопланктеров-фильтраторов, которые в процессе питания способствуют элиминации организмов фитопланктона, конкурирующих с цианобактериями (Жолткевич и др., 2013), однако решение этого вопроса требует дополнительных комплексных исследований.

Наиболее специфичными чертами в Таналык-Суундукском плесе ФП характеризовался при снижении уровня воды, объемов притока и сброса, относительно высокой температуре воды и минимальной сумме атмосферных осадков в 2018 г. В этих условиях отмечено увеличение удельного видового богатства ФП, общей численности за счет динофитовых водорослей, биомассы за счет цианобактерий и динофитовых, биомассы миксотрофных таксонов, индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе. Мы полагаем, что в этот год в плесе создалось оптимальное соотношение уровня воды, суммы осадков и объема сброса, а также температуры воды, что в комплексе обеспечивало наибольшее проникновение питательных веществ с водами питающих рек и оптимальные условия среды для развития ФП.

В ПП стимуляция ФП отмечена в условиях максимальной суммы атмосферных осадков, уровня водохранилища и объема сброса в 2017 г. В частности, он отличался наибольшими общей численностью и биомассой, численностью и биомассой цианобактерий и зеленых водорослей, биомассой криптофитовых водорослей и миксотрофных таксонов, долей *Aphanizomenon flosaquae* в общей численности ФП (65,3%), наименьшим значением индекса, рассчитанного по численности, но наибольшим значением индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе. Практически противоположные изменения зарегистрированы при максимальной сумме осадков и минимальном уровне воды, объемах притока и сброса в 2019 г.

Таким образом, количественные характеристики ФП части исследованных участков – р. Урал, СП, ТСП и ПП – в большей степени зависели от количества атмосферных осадков, способствующих поступлению биогенных и органических веществ с водосбора, а также от соотношения объемов притока и сброса, уровня воды, определяющего дальность проникновения питательных веществ. В верхнем из исследованных плесов – Чапаевском – ведущее значение для развития ФП летом в период изучения имела температура воды. Необходимо указать, что в реке максимумы количественных показателей формировались за счет диатомовых и зеленых водорослей, в отдельные годы численность также за счет криптофитовых (2016 г.) и стрептофитовых (2017 г.). В ЧП наибольшие количественные характеристики ФП формировались цианобактериями, зелеными, криптофитовыми, динофитовыми, эвгленовыми, желто-зелеными и стрептофитовыми, в СП и ТСП – цианобактериями, датомовыми и динофитовыми, в ПП – цианобактериями, зелеными, криптофитовыми и динофитовыми водорослями.

Регрессионные модели также указывают на ключевую роль суммы атмосферных осадков и связанных с ней гидрологических и гидрохимических параметров воды в формировании численности и биомассы фитопланктона, они объясняют от 38,9 до 92,7% их вариаций (табл. 4.2.28).

Таблица 4.2.28. Регрессионные модели зависимости численности и биомассы фитопланктона от факторов среды на разнотипных участках акватории летом

Уч-к	Уравнение регрессии	F	R^2, %	p
Р	N = -36,2389 + 1,2303 *ХПК* + 10,8201 *Si*	7,1	38,9	0,006
	B = -16,2605 + 0,7758 *ХПК*	29,8	60,3	0,000
ЧП	N = -179,062 + 0,503 *Осадки* + 5,663 *Тводы*	61,7	89,1	0,000
	B = -30,6351 + 1,0434 *Тводы* + 0,1346 *Осадки* + 12,6570 *N-NO₃* + 0,0466 *Приток* - 0,6921 *Цветн.*	20,9	86,9	0,000
СП	N = -18,9532 + 0,2495 *Осадки*	14,5	47,5	0,002
	B = 0,630317 + 0,019480 *Приток*	17,5	52,4	0,000
ТСП	N = 82,44468 - 8,92800 O_2	15,8	49,7	0,001
	B = 23,4673 + 73,0838 *P-PO₄* - 19,3199 *N-NO₃* - 2,5159 O_2	15,1	73,8	0,000
ПП	N = 49,5019 + 0,1528 *Сброс* - 0,3423 *Цветн.* + 16,1064 *Fe* - 2,1602 $T_{воды}$ + 26,8521 *N-NO₃* - 12,1877 *P-PO₄*	32,6	92,7	0,000
	B = -37,0225 + 0,0681 *Сброс* + 2,0370 $T_{воды}$ - 49,4315 *N-NO₃* - 0,4468 *Цветн.*	19,3	82,9	0,000

Поступление и аккумуляция питательных веществ определяли ряд закономерностей распределения ФП по продольному профилю исследованной акватории. В целом, наиболее часто в годы изучения максимальное удельное видовое богатство и численность ФП наблюдались в реке и верхнем из исследованных плесов (ЧП), биомасса – в реке, что свидетельствует

о ведущей роли биогенных и органических веществ, поступающих в водоток с водосбора, а также аккумулирующихся в верхних плесах водохранилища. Кроме этого, в реке и ЧП, как правило, фиксировалась максимальная температура воды. Минимальные удельное видовое богатство и численность ФП ежегодно обнаруживались в нижних плесах водохранилища. Аналогично изменялись и значения индекса Шеннона: наибольшие величины регистрировались в реке и ЧП, наименьшие – в ТСП и ПП. По продольному профилю исследованной акватории также наблюдалось снижение доли диатомовых и зеленых водорослей в общей численности, увеличение доли криптофитовых и динофитовых. Схожие изменения фиксировались и по доле таксономических групп в общей биомассе ФП: вниз по продольному профилю сокращалась доля зеленых и диатомовых водорослей, возрастала доля динофитовых. Кроме этого, для водохранилища была характерна более высокая доля цианобактерий в общей численности и биомассе, которая, как правило, снижалась к нижним плесам. Кроме этого, в ЧП практически ежегодно отмечалась максимальная численность миксотрофных таксонов, а биомасса – в ЧП и ПП, в то время как минимальные значения – в реке. Наибольшая СИМ наблюдалась в ПП, лишь в 2017 г. – в ЧП.

Однако в период изучения также отмечены межгодовые особенности распределения сообществ по продольному профилю исследованной акватории, связанные с межгодовыми колебаниями метеорологических и гидрологических условий, формирующих важнейшие для развития первичных продуцентов факторы среды. В условиях наибольшего количества атмосферных осадков, объемов притока и сброса воды на участке от реки до СП не фиксировалось различий удельного видового богатства (2016 г.) или численности (2017 г.). При снижении уровня воды, суммы осадков, объемов притока и сброса в 2018 г. наибольшие численность, удельное видовое богатство и биомасса ФП отмечены в ЧП, а в 2019 г. при минимальном уровне воды, объемах притока и сброса, но максимальной сумме осадков, статистически значимых различий общей биомассы ФП на всем протяжении исследованной акватории не отмечено.

Кроме этого, при наибольших объемах притока и уровне воды (2016 и 2017 гг.) по продольному профилю исследованной акватории снижались значения индекса сапробности, а при снижении и минимальных величинах этих параметров (2018 и 2019 гг.) максимальными значениями характеризовался СП. Также наблюдалось снижение трофического статуса участков.

В целом, значительный ряд показателей свидетельствует о том, что исследованные участки отличались друг от друга специфичными условиями среды и сообществами ФП. Это также подтверждает низкий уровень сходства доминирующих и субдоминирующих видов. В пределах исследованной акватории максимальным сходством преобладающих по численности видов характеризовались сообщества ЧП и СП, лишь в 2019 г. – ТСП и ПП. Наибольшее сходство доминирующих по биомассе видов зарегистрировано между ТСП и ПП (2018 и 2019 гг.), СП и ТСП (2017, 2019 гг.), СП и ПП (2017, 2019 гг.). Необходимо отметить, что между ФП реки и плесов водохранилища практически отсутствовало сходство лидирующих по численности и биомассе видов, кроме этого, не наблюдалось сходства между ЧП и ТСП, ЧП и ПП, а в 2018 г. доминирующие и субдоминирующие виды ФП верхнего плеса не имели сходства ни с одним участком.

Наименьший средний уровень сходства между всеми участками зарегистрирован в условиях максимального объема притока в 2016 г. – 7,9%, а в условиях наибольшего уровня воды и суммы атмосферных осадков в 2017 г. среднее сходство было максимальным – 16,4%, в остальные годы оно составляло 10,4% (2018 г.) и 11,5% (2019 г.). Уровень среднего сходства лидирующих по биомассе видов в 2016–2018 гг. отличался малыми величинами – 7,1–9,4%, а в условиях минимального уровня воды, объемов притока и стока в 2019 г. был максимальным – 19,0% за счет высокого сходства между СП–ТСП–ПП.

4.3. Осенний сезон

Фитопланктонное сообщество реки Урал

В течение времени исследования наблюдались изменения физико-химических параметров воды. Так, наибольшая температура воды зарегистрирована в 2017 г., наименьшая – в 2018 г. (табл. 4.3.1). Кроме этого, в 2017 г. воды реки характеризовались минимальным значением ХПК и $БПК_5$, но наибольшей концентрацией $P\text{-}PO_4$. В 2016 г. отмечено максимальное содержание $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, а в 2019 г. – ПО, ХПК, $БПК_5$, $N\text{-}NH_4$ и Fe.

Таблица 4.3.1. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища осенью

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	4,5[*b,c]	0,0	6,3[*c]	–	2,5[*d]	0,1	6,6	0,2	**949,6**	**0,000**
Прозрачность, м	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,1	0,4	0,1	1,4	0,302
Скорость течения, м/сек	0,3	0,2	0,6	0,3	0,6	0,3	0,3	0,2	0,5	0,671
Цветность, град	4,9	–	16,5	–	21,3	–	18,0	–	–	–
O_2, мг/л	11,4	–	8,8	–	14,3	–	13,1	–	–	–
ПО, $мгO_2$/л	4,8	–	5,0	–	4,1	–	11,7	–	–	–
ХПК, $мгO_2$/л	34,0	–	30,0	–	36,0	–	40,0	–	–	–
$БПК_5$, $мгO_2$/л	2,0	–	0,4	–	5,2	–	7,4	–	–	–
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,100	–	0,080	–	0,110	–	1,370	–	–	–
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,012	–	0,009	–	0,009	–	0,003	–	–	–
$N\text{-}NO_3$, мг/л	1,010	–	0,600	–	0,470	–	0,040	–	–	–
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,059	–	0,110	–	0,058	–	0,056	–	–	–
Si, мг/л	1,900	–	0,900	–	0,400	–	0,600	–	–	–
Fe, мг/л	0,070	–	0,140	–	0,090	–	0,290	–	–	–

Максимальное удельное видовое богатство в реке обнаружено в 2016 г., в 2017–2019 гг. различия были незначительные (рис. 4.3.1). Однако в 2019 г. ФП отличался наибольшим числом видов эвгленовых водорослей и цианобактерий, а 2016 г. – диатомовых и зеленых (табл. 4.3.2).

Наибольшая численность ФП отмечена в 2016 и 2019 гг., причем в 2019 г. была больше, чем в 2017 и 2018 гг. (p = 0,020 и 0,023 соответственно) (рис. 4.3.2) за счет диатомовых и эвгленовых водорослей (табл. 4.3.2). Основу численности составляли диатомовые и зеленые водоросли, при этом в 2019 г. отмечена наибольшая доля диатомовых и эвгленовых, а также наименьшая доля зеленых, а в 2018 г. была минимальной доля диатомовых, максимальной – зеленых (табл. 4.3.2). В 2016 г. доминировали по численности *Stephanodiscus hantzschii* (21,6%), *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii* (18,7%), *Aphanocapsa incerta* (13,9%), в 2017 г. – *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii* (18,7%), *Nitzschia* sp. 1 (13,4%), в 2018 г. – *Diatoma monili-*

formis (13,3%), *Fragilaria capucina* (10%), в 2019 г. – *Stephanodiscus hantzschii* (65,7%) и *Cyclotella* sp. (12,2%).

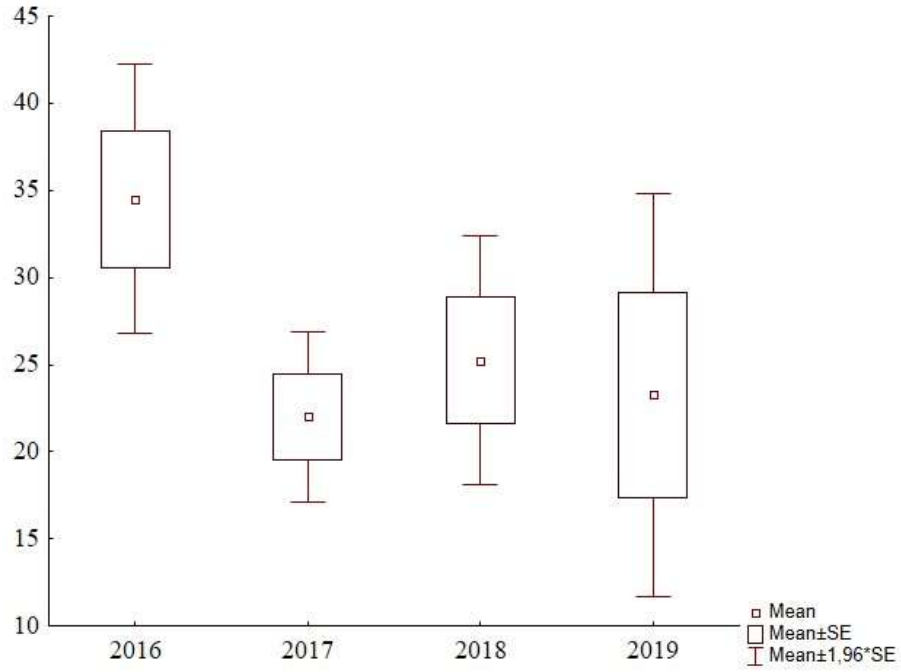

Рис. 4.3.1. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища осенью.

Таблица 4.3.2. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища осенью

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	20,5*b	1,3	11,3	1,9	14,8	2,7	14,3	8,5	2,0	0,174
	Cyanobacteria	0,5*d	0,3	0,8*c	0,3	0,0*d	–	1,3	0,6	**4,8**	**0,022**
	Chlorophyta	10,5*d	2,5	7,5	0,3	8,8	0,9	4,5	2,5	3,0	0,075
	Cryptophyta	1,5	0,3	2,0	0,4	1,0	0,4	1,8	1,5	0,7	0,546
	Dinophyta	0,0	–	0,0	–	0,3	0,3	0,0	0,0	1,0	0,426
	Euglenophyta	0,3*d	0,3	0,0*d	–	0,0*d	–	1,0	0,0	**10,7**	**0,001**
	Streptophyta	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,8	0,5	0,5	0,674
	Chrysophyta	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,2	0,873
	Xanthophyta	0,3	0,3	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	1,0	0,426
Численность, млн кл/л	Bacillariophyta	2,0	0,7	0,3*d	0,1	0,3*d	0,1	3,2	2,2	**4,3**	**0,028**
	Cyanobacteria	0,4	0,4	0,1	0,0	0,0	–	0,2	0,2	1,0	0,425
	Chlorophyta	0,7	0,3	0,2	0,0	0,4	0,1	0,3	0,3	1,6	0,241
	Cryptophyta	0,1	0,02	0,05	0,02	0,03	0,02	0,1	0,1	0,9	0,480
	Dinophyta	0,000	–	0,000	–	0,001	0,001	0,000	0,000	1,0	0,426
	Euglenophyta	0,002	0,002	0,000*d	–	0,000*d	–	0,005	0,004	**3,7**	**0,043**
	Streptophyta	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003	0,003	0,2	0,895
	Chrysophyta	0,020	0,012	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,004	1,8	0,206
	Xanthophyta	0,001	0,001	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	1,0	0,426
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	65,5*c	10,3	45,9*d	4,2	40,4*d	8,8	83,2	1,6	**7,5**	**0,004**
	Cyanobacteria	10,1	7,5	12,2	4,5	0,0	–	5,4	3,9	1,5	0,272
	Chlorophyta	19,1*c	4,4	34,4*c	1,8	55,7*d	9,0	7,6	2,8	**16,5**	**0,000**
	Cryptophyta	3,9	1,5	7,0	2,6	3,2	3,0	3,6	5,6	0,5	0,707
	Dinophyta	0,00	–	0,00	–	0,07	0,07	0,0	0,0	1,0	0,426
	Euglenophyta	0,04*d	0,04	0,00*d	–	0,00*d	–	0,2	0,1	**5,9**	**0,010**
	Streptophyta	0,05	0,05	0,25	0,25	0,12	0,12	0,1	0,0	0,4	0,748
	Chrysophyta	1,32	1,00	0,25	0,25	0,42	0,42	0,0	0,0	1,0	0,410
	Xanthophyta	0,03	0,03	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0	1,0	0,426

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	2,894*b,c	1,210	0,475*d	0,086	0,145*d	0,026	3,137	2,483	3,3	0,059
	Cyanobacteria	0,000*d	0,000	0,000*d	0,000	0,000*d	–	0,011	0,011	**3,9**	**0,037**
	Chlorophyta	0,097	0,033	0,032	0,009	0,036	0,013	0,052	0,054	1,7	0,213
	Cryptophyta	0,006	0,003	0,003*d	0,001	0,003*d	0,001	0,014	0,011	3,0	0,074
	Dinophyta	0,000	–	0,000	–	0,014	0,014	0,000	0,000	1,0	0,426
	Euglenophyta	0,002*d	0,002	0,000*d	–	0,000*d	–	0,032	0,023	**7,2**	**0,005**
	Streptophyta	0,003	0,003	0,014	0,014	0,002	0,002	0,028	0,021	1,8	0,202
	Chrysophyta	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,3	0,818
	Xanthophyta	0,0003	0,0003	0,0000	–	0,0000	–	0,000	0,000	1,0	0,426
Доля в общей биомассе, %	Bacillariophyta	96,3*c	1,0	90,8*c	3,7	76,9*d	5,9	94,0	4,2	**5,7**	**0,012**
	Cyanobacteria	0,01*d	0,01	0,07*d	0,03	0,00*d	–	0,3	0,2	**5,3**	**0,015**
	Chlorophyta	3,2*c	0,9	5,9*c	1,3	15,9*d	3,3	2,2	3,1	**9,8**	**0,001**
	Cryptophyta	0,3	0,1	0,6	0,1	1,2	0,6	0,6	0,5	1,6	0,238
	Dinophyta	0,00	–	0,00	–	4,30	4,30	0,0	0,0	1,0	0,426
	Euglenophyta	0,06*d	0,06	0,00*d	–	0,00*d	–	1,6	1,2	**7,2**	**0,005**
	Streptophyta	0,05	0,05	2,58	2,58	1,48	1,48	1,3	1,3	0,5	0,713
	Chrysophyta	0,07	0,04	0,04	0,04	0,22	0,22	0,0	0,0	0,6	0,610
	Xanthophyta	0,00	0,00	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0	1,0	0,426
Индекс Шеннона, бит/кл.		3,66*d	0,14	3,68*d	0,15	3,64*d	0,16	1,87	0,26	**37,9**	**0,000**
Индекс Шеннона, бит/мг		3,00*b,d	0,10	1,67*c	0,17	3,17*d	0,57	1,39	0,36	**8,4**	**0,003**
Индекс сапробности		2,2*b-d	0,03	2,0*d	0,01	1,9*d	0,1	2,61	0,07	**34,5**	**0,000**
СИМ, 10^{-9} г		0,95*c	0,17	0,83*c	0,03	0,30*d	0,04	0,839	0,295	**6,5**	**0,007**

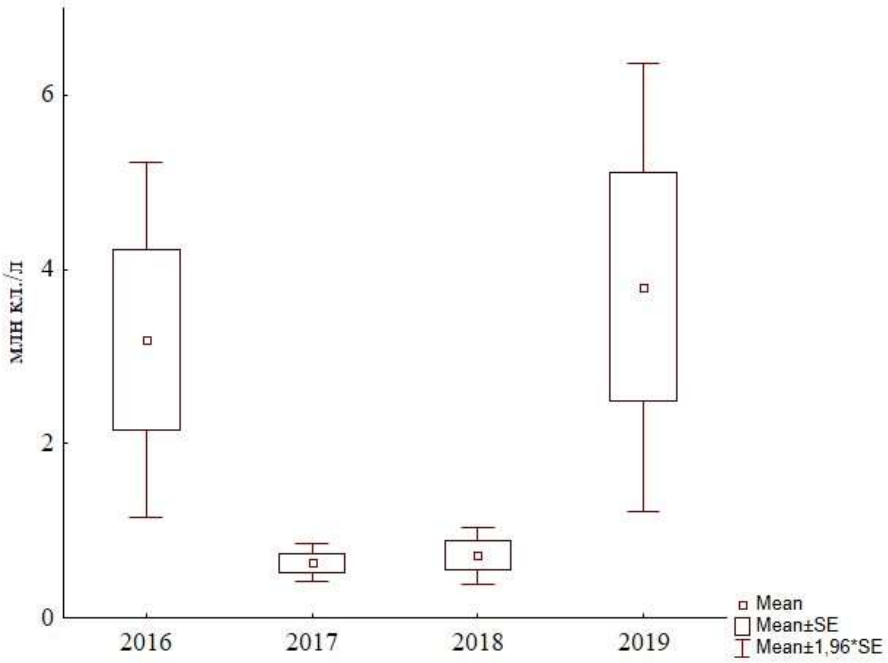

Рис. 4.3.2. Средняя численность фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища осенью.

В 2019 г. также обнаружена минимальная величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности, а в 2016–2018 гг. статистически значимых различий не зафиксировано (табл. 4.3.2). В 2016 г. зарегистрирована максимальная численность миксотрофных таксонов, в 2018 г. – минимальная, хотя статистически значимые различия отсутствовали (табл. 4.3.3).

В 2016 г. биомасса ФП статистически значимо превышала величину в 2018 г. (p = 0,043), а в 2019 г. была больше, чем в 2017 и 2018 гг. (p = 0,047 и 0,029) (рис. 4.3.3). При этом в 2016 и 2019 гг. отмечена наибольшая биомасса диатомовых водорослей, а в 2019 г. ФП отличался максимальной биомассой цианобактерий, криптофитовых и эвгленовых (табл. 4.3.2).

Таблица 4.3.3. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора водохранилища осенью

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,11	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02	0,10	0,12	1,2	0,360
Доля в общей численности, %	5,3	2,5	7,3	2,7	3,7	2,8	3,8	5,5	0,4	0,774
Биомасса, мг/л	0,009[*d]	0,005	0,004[*d]	0,001	0,017	0,013	0,047	0,029	**3,6**	**0,047**
Доля в общей биомассе, %	0,4	0,2	0,6	0,1	5,8	4,1	2,3	1,5	1,4	0,283

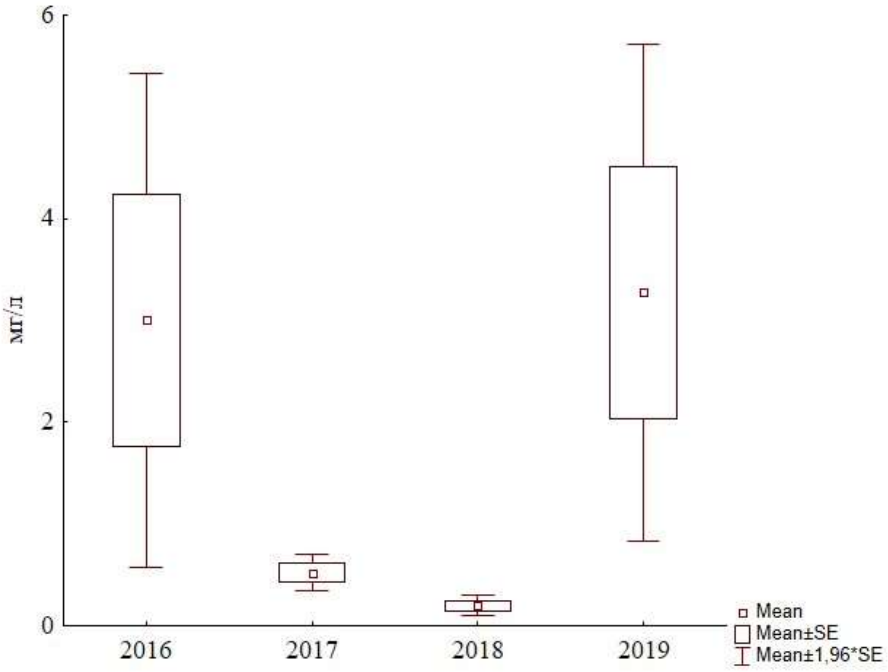

Рис. 4.3.3. Средняя биомасса фитопланктона р. Урал выше зоны выклинивания подпора Ириклинского водохранилища осенью.

Основу биомассы всегда составляли диатомовые водоросли, однако в 2018 г. их доля была статистически достоверно меньше, а доля зеленых больше, чем в остальные годы (табл. 4.3.2). Кроме этого, в 2019 г. ФП отличался наибольшей долей в общей биомассе цианобактерий и эвгленовых водорослей. Доминировали по биомассе в 2016 г. *Surirella brebissonii var. kuetzingii* (37,1%), *Stephanodiscus hantzschii* (23,3%), в 2017 г. – *Surirella brebissonii var. kuetzingii* (73,5%), в 2018 г. – *Fragilaria capucina* (11,9%), *Gyrosigma kuetzingii* (20%), в 2019 г. – *Stephanodiscus hantzschii* (78,4%).

Минимальная величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, обнаружена в 2017 и 2018 гг. (табл. 4.3.2). В 2018 г. зарегистрирована наименьшая СИМ (табл. 4.3.2).

В 2019 г. ФП реки отличался максимальной биомассой миксотрофных таксонов, которая была статистически значимо больше, чем в 2016 и 2017 гг. (табл. 4.3.3).

По шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976) трофический статус реки в 2016 и 2019 гг. характеризовался как *β*-мезотрофный, 2017, 2018 гг. – *α*-мезотрофный, по шкале С.П. Китаева (2007) – 2016 и 2019 гг. – *β*-мезотрофный, 2017 г. – олиготрофный, 2018 г. – ультраолиготрофный.

По значениям индекса сапробности воды реки в 2016–2018 гг. характеризовались *β*-мезосапробными условиями, а в 2019 г. величина индекса соответствовала *α*-мезосапробным водам (табл. 4.3.2). Однако по химическим параметрам *β*-мезосапробными условиями характеризовались воды реки по ПО в 2019 г., по $БПК_5$ – в 2016 г., по $N\text{-}NH_4$ – в 2018 г., а по $P\text{-}PO_4$ – в 2016, 2018 и 2019 гг. (табл. 4.3.1). При этом, по показателям $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$ на протяжение всего периода исследований, а также по ПО в 2016–2018 гг., $БПК_5$ в 2017 г. и $N\text{-}NH_4$ в 2016 и 2017 гг. воды реки имели статус ксено- и олигосапробных, а в 2019 г. по $N\text{-}NH_4$ и $БПК_5$ – полисапробных, в 2017 г. по $P\text{-}PO_4$ – *α*-мезосапробных.

Численность и биомасса фитопланктона (r = 0,58 и 0,56), численность миксотрофов (r = 0.66) положительно коррелировали с Si и отрицательно с цветностью воды (r = -0.59 – -0,66), соответственно максимум и минимум которых отмечен в 2016 г. Кроме этого, при увеличении температуры воды возрастало число видов цианобактерий (r = 0,69) и их доля в общей биомассе (r = 0,60), снижался индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе (r = -0,75).

Резюме

Наиболее яркие межгодовые различия ФП отмечены в 2016 и 2019 гг. по сравнению с данными, полученными в 2017 и 2018 гг. В эти годы ФП характеризовался наибольшими численностью и биомассой, а также величинами индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе. Кроме этого, в 2016 и 2019 гг. наблюдалась максимальная биомасса диатомовых, в 2019 г. – цианобактерий, криптофитовых, эвгленовых, миксотрофных организмов, минимальное значение индекса Шеннона, рассчитанного по численности. В 2016 г. обнаружено наибольшее удельное видовое богатство за счет диатомовых и зеленых водорослей, а в 2019 г. возрастало число видов эвгленовых и цианобактерий. В 2016 г. ФП характеризовался максимальной численностью миксотрофных организмов и СИМ. Необходимо отметить, что

воды реки в 2016 г. по индексу сапробности соответствовали β-мезосапробным, а в 2019 г. – α-мезосапробным, а по биомассе ФП трофический статус реки в эти годы характеризовался как β-мезотрофный, в остальные годы – олиго- и ультра-олиготрофный. В 2019 г. ФП также отличался наибольшим обилием среди доминантов вида-индикатора α-мезосапробных вод – *Stephanodiscus hantzschii*.

Следовательно, наиболее благоприятные условия для развития ФП формировались в годы, характеризующиеся наибольшими (2016 г.) и наименьшими (2019 г.) среднесуточной температурой воздуха и объемом притока, а также максимальными показателями $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$ (2016 г.), ПО, ХПК, $БПК_5$, $N\text{-}NH_4$ и Fe (2019 г.) воды. При этом, на фоне снижения объема притока и температуры воздуха, а также при увеличении концентрации органических веществ, железа и аммония в 2019 г., изменения ФП имели направления, наблюдаемые при интенсификации эвтрофирования, что могло определяться большой суммой атмосферных осадков в июле–сентябре.

Фитопланктонное сообщество Чапаевского плеса

Обнаружены межгодовые различия ряда физико-химических характеристик воды ЧП осенью. В 2016 г. отмечена максимальная температура воды, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, минимальные – цветность, содержание O_2 и Si (табл. 4.3.5). Наименьшие температура и прозрачность воды, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, Si, а также наибольшее содержание O_2 и Fe зарегистрированы в 2019 г., в 2018 г. вода плеса отличалась максимальной цветностью воды, а в 2017 г. – концентрацией Si.

Таблица 4.3.5. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Чапаевского плеса осенью

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	8,9*[b–d]	0,2	8,0*[c,d]	0,1	7,6*[d]	0,1	6,8	0,1	**67,1**	**0,000**
Прозрачность, м	1,1*[b–d]	0,1	1,5*[d]	0,1	1,5*[d]	0,1	0,6	0,1	**31,8**	**0,000**
Цветность, град	11,1*[b,c]	0,6	21,5	2,1	25,3*[d]	2,1	16,0	3,6	**11,4**	**0,003**
O_2, мг/л	9,2*[b–d]	0,1	9,9*[c,d]	0,1	12,5*[d]	0,0	12,8	0,2	**467,5**	**0,000**
O_2, %	79,7*[c,d]	0,9	81,4*[c,d]	0,2	97,7*[d]	0,3	104,0	1,0	**458,1**	**0,000**
ПО, мгO_2/л	5,2	0,6	5,0	–	5,0	–	4,8	0,7	0,3	0,815
ХПК, мгO_2/л	31,0	–	22,0	–	32,0	–	34,0	0,0	–	–
$БПК_5$, мгO_2/л	2,6	–	1,9	–	5,8	–	1,8	0,0	–	–
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,140*[b,c]	0,015	0,083	0,023	0,073	0,009	0,100	0,020	3,5	0,070
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,007*[c,d]	0,001	0,007*[c,d]	0,001	0,004	0,001	0,002	0,001	**17,8**	**0,001**
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,090	0,060	0,117	0,037	0,267*[d]	0,088	0,060	0,026	2,6	0,123
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,087	0,001	0,080*[c,d]	0,006	0,095	0,004	0,092	0,005	3,3	0,076
Si, мг/л	3,533*[b,c]	0,240	5,200*[d]	0,153	4,767*[d]	0,067	3,600	0,100	**31,5**	**0,000**
Fe, мг/л	0,170*[d]	0,015	0,177*[d]	0,013	0,160*[d]	0,026	0,327	0,105	**5,2**	**0,027**

С количеством атмосферных осадков и гидрологическими параметрами водохранилища прямую связь имели прозрачность и температура воды, $N\text{-}NO_3$, обратную – концентрация O_2, ПО, $БПК_5$, Si и pH (табл. 4.3.6). Со средней за вегетационный период температурой воздуха обнаружены положительные коэффициенты корреляции температуры воды, прозрачности, $N\text{-}NO_3$, отрицательные – O_2 и ПО.

Удельное видовое богатство ФП в 2016 и 2019 гг. статистически значимо превышало данные 2017 и 2018 гг. (p = 0,000) (рис. 4.3.4) за счет цианобактерий и зеленых водорослей (табл. 4.3.7). При этом в 2016 г. ФП отличался максимальным удельным числом видов динофитовых, эвгленовых и стрептофитовых.

В 2016 и 2019 гг. численность ФП превышала значения 2017 г. (соответственно p = 0,006 и 0,000) и 2018 г. (p = 0,003 и 0,000), но в 2019 г. она была выше, чем в 2016 г. (p = 0,003) (рис. 4.3.5). При этом, в 2016 г. обнаружена максимальная численность диатомовых, криптофитовых и стрептофитовых водорослей, а в 2019 г. – цианобактерий и зеленых (табл. 4.3.7).

Таблица 4.3.6. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Чапаевского плеса осенью

Показатель		Температура воды	Прозрачность	Цветность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	0,42	-0,34	**-0,90**	0,26	-0,33	-0,01	0,41	**0,79**	0,01	-0,34	-0,06	**-0,63**
Прозрачность		0,42	–	0,48	-0,36	0,10	**-0,63**	0,47	-0,40	0,47	0,43	-0,06	**0,75**	**-0,70**
Уровень воды	Средний апрель–октябрь	**0,77**	**0,83**	0,16	**-0,78**	0,25	**-0,74**	0,15	0,02	**0,86**	0,21	-0,46	0,55	**-0,75**
Объем притока	Средний апрель–октябрь	**0,95**	**0,58**	-0,21	**-0,92**	0,31	-0,53	0,00	0,33	**0,90**	0,03	-0,44	0,17	**-0,68**
Объем сброса	Средний апрель–октябрь	**0,74**	**0,64**	-0,04	**-0,90**	0,22	**-0,87**	-0,25	0,12	**0,90**	-0,05	**-0,65**	0,45	-0,57
Сумма атмосферных осадков	Сумма апрель–октябрь	0,06	0,09	-0,07	-0,46	-0,04	**-0,81**	**-0,79**	-0,03	0,41	-0,40	**-0,67**	0,33	0,08
Температура воздуха	Октябрь	**-0,85**	-0,29	0,44	**0,99**	-0,24	**0,62**	0,47	-0,44	**-0,88**	0,28	**0,62**	-0,02	0,41
	Средняя апрель–октябрь	**0,86**	**0,77**	0,07	**-0,73**	0,30	-0,46	0,36	0,13	**0,79**	0,29	-0,26	0,35	**-0,79**

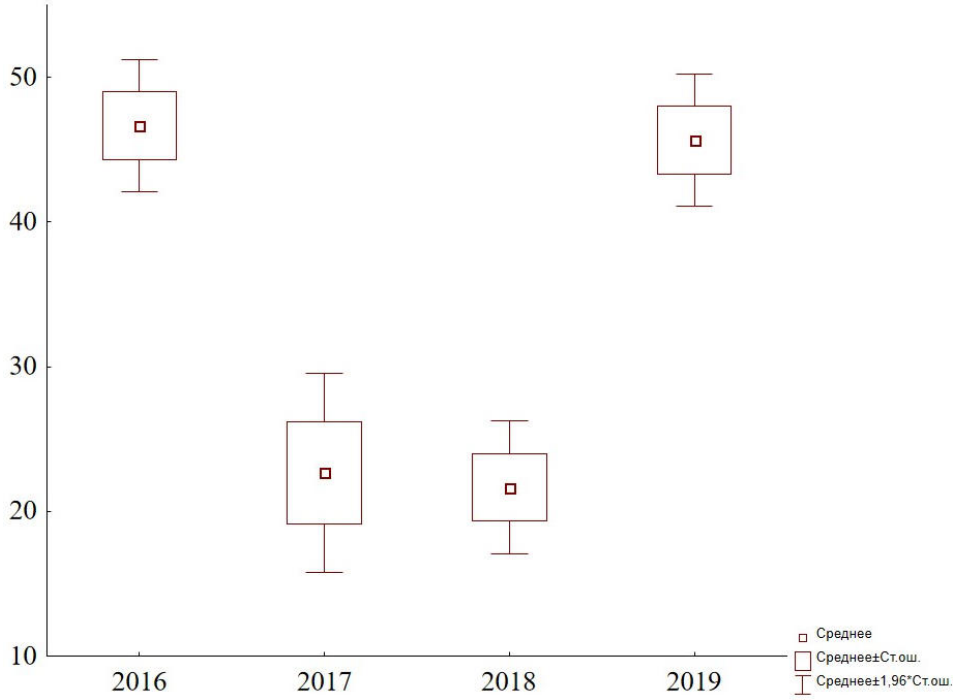

Рис. 4.3.4. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона Чапаевского плеса осенью.

Таблица 4.3.7. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Чапаевского плеса осенью

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	7,3	0,9	5,0		4,7	1,7	6,0	1,0	1,5	0,293
	Cyanobacteria	5,7*[b,c]	0,7	0,7*[d]	0,3	1,7*[d]	0,7	5,7	1,2	**19,2**	**0,001**
	Chlorophyta	18,0*[b-d]	2,1	9,0*[d]	3,1	8,7*[d]	0,9	27,7	2,3	**20,0**	**0,000**
	Cryptophyta	7,7*[c,d]	0,3	6,3*[d]	0,3	5,7*[d]	0,3	3,3	1,2	**16,9**	**0,001**
	Dinophyta	1,7*[c,d]	0,3	0,7	0,7	0,3	0,3	0,0	0,0	3,1	0,089
	Euglenophyta	3,0*[b-d]	–	0,0*[d]	–	0,3*[d]	0,3	1,7	0,6	**33,8**	**0,000**
	Streptophyta	3,3*[b-d]	0,3	0,7	0,3	0,0	–	0,7	0,6	**26,2**	**0,000**
	Chrysophyta	0,0	–	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,6	0,9	0,487
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Численность, млн кл/л	Bacillariophyta	0,95*[b-d]	0,17	0,23	0,14	0,03*[d]	0,01	0,53	0,23	**10,0**	**0,004**
	Cyanobacteria	7,14*[b-d]	1,82	0,44*[d]	0,38	0,18*[d]	0,09	12,33	3,89	**16,0**	**0,001**
	Chlorophyta	1,14*[d]	0,26	0,48*[d]	0,29	0,25*[d]	0,06	7,10	4,26	**6,8**	**0,013**
	Cryptophyta	1,10*[c,d]	0,27	0,74	0,21	0,20	0,05	0,23	0,17	**5,8**	**0,020**
	Dinophyta	0,01*[d]	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	2,8	0,107
	Euglenophyta	0,02*[b,c]	0,00	0,00*[d]	–	0,00*[d]	0,00	0,02	0,01	**38,0**	**0,000**
	Streptophyta	0,04*[b-c]	0,01	0,00	0,00	0,00	–	0,01	0,00	**9,4**	**0,005**
	Chrysophyta	0,00	–	0,03	0,03	0,00	0,00	0,07	0,06	2,0	0,196
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	10,4	3,4	10,8	4,8	4,4	2,0	2,5	0,8	1,8	0,227
	Cyanobacteria	67,1	4,8	26,6	22,3	27,0	13,5	61,6	16,7	2,4	0,145
	Chlorophyta	11,4	2,9	21,9	9,4	37,7	8,4	34,2	16,7	2,2	0,163
	Cryptophyta	10,4*[b]	1,5	39,1*[c]	10,8	30,5*[d]	7,2	1,1	0,6	**7,3**	**0,011**
	Dinophyta	0,2	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,5	0,717
	Euglenophyta	0,2*[b]	0,1	0,0	–	0,1	0,1	0,1	0,0	2,6	0,124
	Streptophyta	0,4*[c,d]	0,1	0,2*[c]	0,1	0,0	–	0,0	0,0	**8,4**	**0,008**
	Chrysophyta	0,0	–	1,1	1,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,8	0,537
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	0,701*[b-d]	0,157	0,145	0,072	0,028	0,017	0,111	0,048	**12,3**	**0,002**
	Cyanobacteria	0,144*[b,c]	0,058	0,001	0,000	0,002	0,000	0,050	0,014	**5,3**	**0,026**
	Chlorophyta	0,182*[c]	0,074	0,035*[d]	0,013	0,018*[d]	0,006	0,325	0,171	**5,3**	**0,026**
	Cryptophyta	1,154*[b-d]	0,146	0,560	0,227	0,347	0,142	0,085	0,075	**8,8**	**0,007**
	Dinophyta	0,082	0,023	0,364	0,364	0,004	0,004	0,000	0,000	0,9	0,487
	Euglenophyta	0,183*[b-d]	0,037	0,000	–	0,001	0,001	0,058	0,024	**19,5**	**0,000**
	Streptophyta	0,049*[b-d]	0,011	0,002	0,001	0,000	–	0,003	0,003	**18,8**	**0,001**

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Доля в общей биомассе, %	Chrysophyta	0,000	–	0,005	0,005	0,003	0,003	0,009	0,008	1,2	0,385
	Xanthophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
	Bacillariophyta	27,3*[c]	3,5	18,7	8,5	6,0	1,4	17,5	3,4	3,4	0,073
	Cyanobacteria	5,9*[b,c]	2,2	0,2*[d]	0,1	0,5*[d]	0,2	8,7	3,5	**7,7**	**0,010**
	Chlorophyta	8,2*[d]	4,3	4,0*[d]	0,9	4,9*[d]	2,1	49,9	13,9	**22,2**	**0,000**
	Cryptophyta	46,2*[c,d]	1,2	59,0*[c,d]	15,9	86,4*[d]	0,3	12,4	7,9	**13,7**	**0,002**
	Dinophyta	3,1	0,6	17,0	17,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,9	0,488
	Euglenophyta	7,2*[b-d]	0,8	0,0*[d]	–	0,3*[d]	0,3	9,0	0,7	**98,4**	**0,000**
	Streptophyta	2,1*[c]	0,6	0,8	0,8	0,0	–	0,6	0,6	2,7	0,120
	Chrysophyta	0,0	–	0,2	0,2	1,3	1,3	1,9	2,1	1,0	0,444
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Индекс Шеннона, бит/экз.		3,21	0,32	2,97	0,67	3,48	0,16	3,17	0,49	0,3	0,851
Индекс Шеннона, бит/мг		3,62*[b-d]	0,22	2,73*[d]	0,36	2,26*[d]	0,19	4,48	0,28	**16,1**	**0,001**
Индекс сапробности		2,00	0,11	1,83	0,02	2,05	0,09	1,97	0,06	1,6	0,258
СИМ, 10^{-9} г		0,27	0,07	0,54*[d]	0,21	0,59*[d]	0,21	0,031	0,006	2,9	0,102

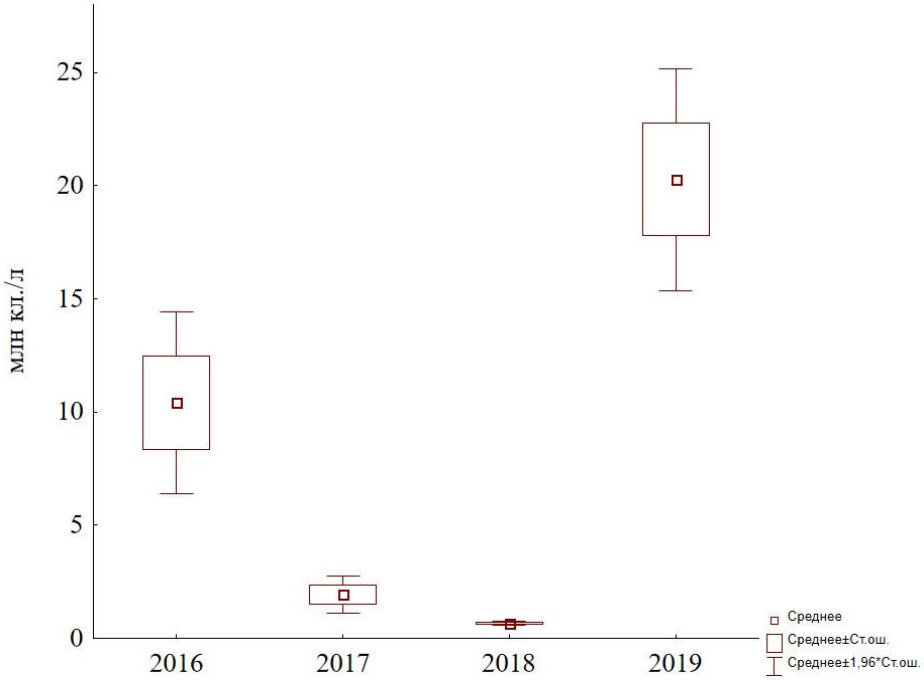

Рис. 4.3.5. Средняя численность фитопланктона Чапаевского плеса осенью.

Наибольшую долю в общей численности ФП в 2016 и 2019 гг. составляли цианобактерии, а в 2017 и 2018 гг. основу численности составляли криптофитовые и зеленые водоросли, а также цианобактерии (табл. 4.3.7). В 2016 г. По численности доминировали *Aphanocapsa incerta* (30%), *Aphanizomenon flosaquae* (24,7%), в 2017 г. – *Aphanocapsa incerta* (20,8%), *Komma caudata* (15,6%), в 2018 г. – *Aphanocapsa* sp. (12,4%), *Limnothrix redekei* (11.5%), в 2019 г. – *Snowella lacustris* (45,1%), *Monoraphidium contortum* (12,1%).

Статистически значимых различий величин индекса Шеннона, рассчитанного по численности, не обнаружено, хотя максимальное значение наблюдалось в 2018 г., минимальное – в 2017 г. (табл. 4.3.7). Наибольшая численность миксотрофных организмов в составе ФП

отмечена в 2016 г., наименьшая – в 2018 и 2019 гг., а максимальная доля в общей численности – в 2017 г., минимальная – в 2019 г. (табл. 4.3.8).

Таблица 4.3.8. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Чапаевского плеса осенью

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	1,13*[c,d]	0,27	0,77	0,24	0,20	0,05	0,32	0,19	**5,1**	**0,029**
Доля в общей численности, %	10,8*[b]	1,4	40,5*[d]	10,8	31,0*[d]	7,1	1,6	0,8	**7,5**	**0,010**
Биомасса, мг/л	1,419*[c,d]	0,203	0,929	0,489	0,354	0,144	0,152	0,096	**4,3**	**0,043**
Доля в общей биомассе, %	56,5*[b-d]	2,0	76,2*[d]	9,7	88,5*[d]	1,1	23,3	8,9	**25,6**	**0,000**

Биомасса ФП в 2016 г. статистически значимо превышала величины в 2017 г. (p = 0,018), 2018 г. (p = 0,002) и 2019 г. (p = 0,004) (рис. 4.3.6) за счет диатомовых, цианобактерий, криптофитовых, эвгленовых и стрептофитовых, а в 2019 г. отмечена наибольшая биомасса зеленых водорослей (табл. 4.3.7).

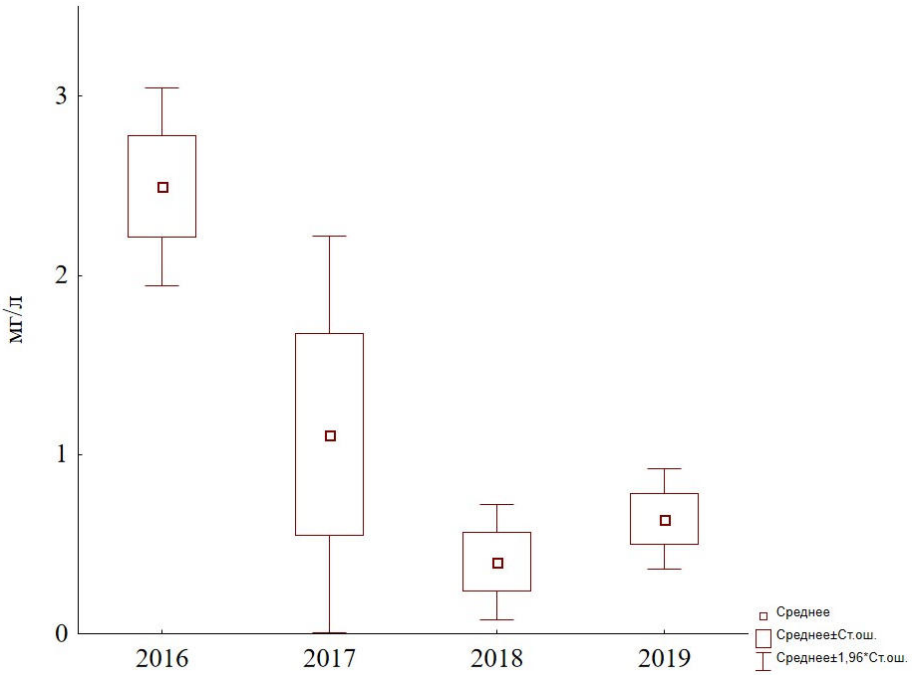

Рис. 4.3.6. Средняя биомасса фитопланктона Чапаевского плеса осенью.

Основу биомассы в 2016–2018 гг. составляли криптофитовые водоросли, доля которых в 2018 г. достигала максимума (табл. 4.3.7). В 2016 г. максимальную долю в общей биомассе ФП составляли диатомовые, цианобактерии и стрептофитовые водоросли, в 2019 г. – зеленые и эвгленовые. Доминировали по биомассе в 2016 г. *Cryptomonas reflexa* (15,3%), *C. curvata* (12,2%), *Aulacoseira granulata* (11,2%), в 2017 г. – *Cryptomonas curvata* (29,9%), *Peridinium cinctum* (21,5%), *Ceratium hirundinella* (11,3%), в 2018 г. – *Cryptomonas curvata* (53,2%), *C. ovata* (23,7%), в 2019 г. виды, доля которых была выше 10% от общей биомассы, отсутствовали.

Наибольшая величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, отмечена в 2019 г., наименьшая – в 2017 и 2018 гг., а средняя индивидуальная масса организмов – соответственно в 2017, 2018 гг. и в 2019 г. (табл. 4.3.7). В составе ФП максимальная биомасса миксотрофных таксонов зарегистрирована в 2016 г., минимальная – в 2019 г., а наибольшая их доля в общей биомассе отмечена в 2018 и 2017 гг., наименьшая – в 2019 г. (табл. 4.3.8).

По шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976) трофический статус ЧП по биомассе в 2016 и 2017 гг. характеризовался как β-мезотрофный, в 2018 и 2019 гг. – α-мезотрофный; по шкале С.П. Китаева (2007) – в 2016 г. – β-мезотрофный, 2017 г. – α-мезотрофный, 2018 г. – ультраолиготрофный, 2019 г. – олиготрофный.

По значениям индекса сапробности воды плеса в течение всего времени изучения характеризовались β-мезосапробными условиями (табл. 4.3.7). Аналогично воды плеса на протяжение периода исследования характеризовались концентрацией $P\text{-}PO_4$, в 2016 и 2019 гг. – $N\text{-}NH_4$, в 2017 и 2019 гг. – $БПК_5$. Одновременно величины ПО, $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$ во все исследованные годы соответствовали ксено- и олигосапробным водам, а по значению $БПК_5$ в 2016 г. – α-мезосапробным водам, в 2018 г. – полисапробным.

Значительная часть показателей фитопланктона положительно коррелировала с объемом притока, при увеличении которого возрастала Т и прозрачность воды. С уровнем воды отрицательно связаны общая численность (r = -0,79), удельное видовое богатство, численность и биомасса зеленых (r = -0,66 – -0,78), численность цианобактерий (r = -0.73), положительно – удельное видовое богатство (r = 0,83) и биомасса (r = 0,60) криптофитовых, биомасса миксотрофов (r = 0,59).

Резюме

Наибольшие различия обнаружены между показателями ФП в 2016, 2019 гг. и в 2017, 2018 гг. Так, в 2016 и 2019 гг. ФП отличался максимальным удельным видовым богатством за счет цианобактерий и зеленых водорослей. По численности первенствовал ФП в 2019 г., когда отмечены максимальные плотности цианобактерий и зеленых, а высокая численность ФП в 2016 г. обеспечивалась диатомовыми, криптофитовыми и стрептофитовыми. Максимальная биомасса ФП за счет диатомовых, цианобактерий, криптофитовых, эвгленовых и стрептофитовых обнаружена 2016 г., когда также зарегистрирована наибольшая биомасса

миксотрофных организмов. Фитопланктон в 2019 г. отличался наибольшей величиной индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, минимальной биомассой миксотрофных таксонов и СИМ.

В целом, необходимо отметить несколько парадоксальную ситуацию, когда часть и минимальных, и максимальных количественных характеристик ФП формировалась в совершенно разных условиях: наибольших и наименьших уровне воды, объемах притока и сброса, концентрации органических и биогенных веществ. При этом, в 2016 г. при максимальной температуре воздуха и воды, а также объеме притока отмечена наибольшая биомасса ФП, а в 2019 г. в условиях снижения уровня воды и, очевидно, возвращении в трофогенный слой биогенных веществ из донных отложений, ФП отличался максимальной численностью за счет мелкоклеточных цианобактерий и зеленых водорослей.

Фитопланктонное сообщество Софинского плеса

В 2019 г. наблюдалась минимальная температура воды, максимальная концентрация O_2, $P\text{-}PO_4$, а также, как и в 2018 г., концентрации Si и Fe (табл. 4.3.9). В 2016 г. воды плеса отличались минимальной цветностью, содержанием O_2, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, в 2017 г. – максимальной прозрачностью, цветностью, ПО и $N\text{-}NH_4$.

Таблица 4.3.9. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Софинского плеса осенью

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °C	10,5*d	0,7	10,1*d	0,0	9,7*d	0,2	8,1	0,2	**7,4**	**0,011**
Прозрачность, м	1,8	0,5	2,4*c,d	0,1	1,0	0,0	1,2	0,2	**5,5**	**0,024**
Цветность, град	9,6*b-d	0,4	24,6*c,d	0,4	16,4	1,4	16,0	3,6	**23,0**	**0,000**
O_2, мг/л	9,7*b-d	0,1	10,8*c,d	0,2	11,6*d	0,1	12,8	0,2	**87,4**	**0,000**
O_2, %	87,7*b-d	1,2	125,3*c,d	2,7	102,7	2,7	104,0	1,0	**60,0**	**0,000**
ПО, мгO_2/л	5,2*b	0,1	6,9*c,d	0,4	5,6	0,1	4,8	0,7	**11,1**	**0,003**
ХПК, мгO_2/л	34,0	–	29,0	–	26,0	–	34,0	–	–	–
$БПК_5$, мгO_2/л	2,0	–	0,5	–	2,2	–	1,8	–	–	–
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,080*b	0,006	0,260*c,d	0,044	0,103	0,015	0,100	0,020	**12,2**	**0,002**
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,008*b-d	0,001	0,003		0,003	0,002	0,002	0,001	**11,2**	**0,003**
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,163*b,d	0,038	0,033	0,003	0,097	0,024	0,060	0,026	**5,7**	**0,022**
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,065*b,d	0,003	0,036*c,d	0,005	0,076*d	0,005	0,092	0,005	**34,5**	**0,000**
Si, мг/л	1,867*c,d	0,267	2,167*c,d	0,328	3,833	0,120	3,600	0,100	**20,1**	**0,000**
Fe, мг/л	0,153*c,d	0,028	0,043*c,d	0,013	0,300	0,040	0,327	0,105	**11,1**	**0,003**

Коэффициенты корреляции указывают на положительную связь температуры воды с температурой воздуха, уровнем водохранилища, объемами притока и сброса, количеством атмосферных осадков (табл. 4.3.10). Кроме этого, с этим рядом параметров обнаружена положительная корреляционная связь pH и прозрачности воды, ПО, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_2$, а также отрицательная O_2, $БПК_5$, $P\text{-}PO_4$, Si и Fe.

Удельное видовое богатство в 2016 и 2019 гг. было больше, чем в 2017 г. (p = 0,000 и 0,004) и 2018 г. (p = 0,004 и 0,039) (рис. 4.3.7) за счет цианобактерий, зеленых и диатомовых водорослей (табл. 4.3.11). Кроме этого, в 2016 г. отмечено наибольшее удельное видовое богатство стрептофитовых, а в 2017 г. ФП отличался минимальным числом видов диатомовых, зеленых и цианобактерий.

Средняя численность ФП в 2016 и 2019 гг. была выше, чем в 2017 г. (p = 0,000 и 0,000) и 2018 г. (p = 0,002 и 0,000) (рис. 4.3.8). В 2016 и 2019 гг. ФП отличался наибольшей численностью цианобактерий, зеленых и криптофитовых водорослей, в 2016 г. также диатомовых и стрептофитовых (табл. 4.3.11).

Таблица 4.3.10. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Софинского плеса осенью

Показатель		Температура воды	Прозрачность	Цветность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	**0,59**	-0,05	**-0,83**	0,40	-0,23	-0,15	0,17	0,53	0,57	-0,56	**-0,69**	-0,49
Прозрачность		**0,59**	–	0,38	-0,48	**0,59**	0,05	**-0,70**	0,57	0,21	0,10	**-0,68**	**-0,73**	**-0,75**
Уровень воды	Средний апрель–октябрь	**0,82**	0,58	0,22	**-0,83**	**0,68**	-0,43	-0,42	0,46	0,46	0,15	**-0,84**	**-0,64**	**-0,74**
Объем притока	Средний апрель–октябрь	**0,84**	0,54	-0,13	**-0,98**	0,42	-0,06	-0,22	0,20	**0,74**	0,42	**-0,70**	**-0,79**	**-0,70**
Объем сброса	Средний апрель–октябрь	**0,72**	**0,76**	0,32	**-0,80**	**0,71**	-0,15	**-0,66**	**0,60**	0,43	0,02	**-0,93**	**-0,81**	**-0,88**
Сумма атмосферных осадков	Сумма апрель–октябрь	0,07	**0,71**	**0,65**	-0,11	**0,59**	0,17	**-0,96**	**0,77**	-0,15	-0,50	**-0,68**	-0,53	**-0,68**
Температура воздуха	Средняя апрель–октябрь	**0,84**	0,38	-0,09	**-0,89**	0,45	-0,38	-0,08	0,16	**0,62**	0,40	**-0,63**	-0,56	-0,55

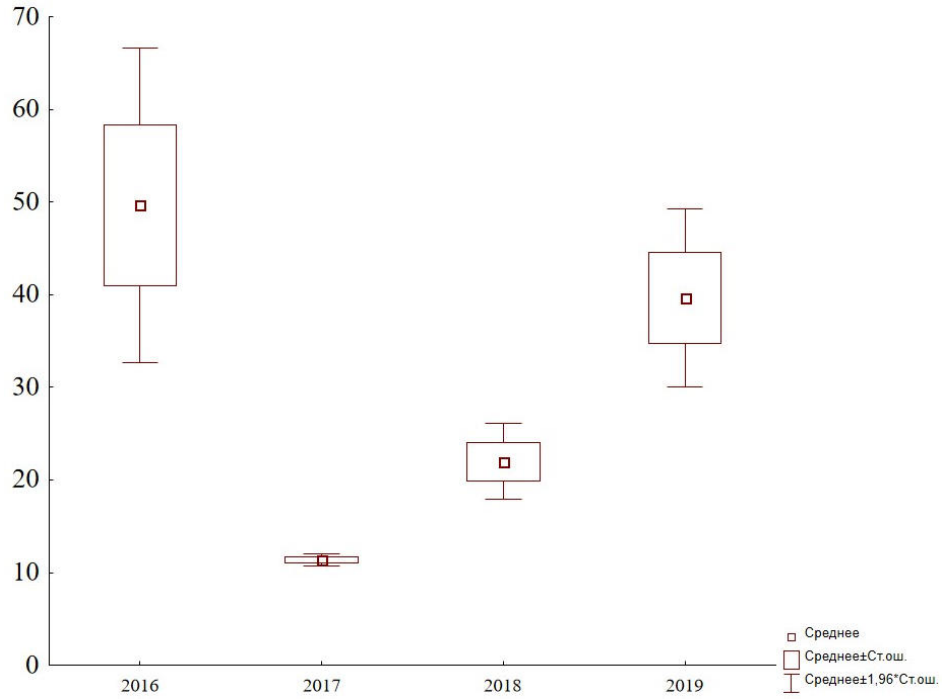

Рис. 4.3.7. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона Софинского плеса осенью.

Таблица 4.3.11. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Софинского плеса осенью

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	17,3*b,c	6,4	3,7	0,3	5,7	1,5	7,3	2,3	3,3	0,081
	Cyanobacteria	5,7*b,c	0,9	0,7*d	0,7	3,0*d	0,6	5,7	1,5	**10,0**	**0,004**
	Chlorophyta	15,3*b,c	1,8	1,0*c,d	–	7,3*d	0,3	18,7	5,1	**21,1**	**0,000**
	Cryptophyta	5,3	0,7	4,0*d	0,6	4,3	0,3	5,7	0,6	2,5	0,132
	Dinophyta	0,0	–	0,3	0,3	0,0	–	0,0	0,0	1,0	0,441
	Euglenophyta	2,3	1,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,6	2,1	0,184
	Streptophyta	3,7*b-d	0,3	1,3	0,3	1,3	0,3	1,3	0,6	**12,3**	**0,002**
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,3	0,6	1,0	0,441
Численность, млн кл/л	Bacillariophyta	2,35*b-d	0,28	0,21	0,05	0,10	0,05	0,19	0,09	**56,6**	**0,000**
	Cyanobacteria	5,32*b,c	0,69	0,02*d	0,02	1,64*d	1,03	7,82	2,16	**16,1**	**0,001**
	Chlorophyta	1,50*b,c	0,41	0,00*d	0,00	0,28*d	0,04	2,41	0,78	**13,4**	**0,002**
	Cryptophyta	0,59*b	0,16	0,07*d	0,01	0,35	0,04	0,50	0,25	**4,3**	**0,044**
	Dinophyta	0,00	–	0,00	0,00	0,00	–	0,00	0,00	1,0	0,441
	Euglenophyta	0,03*b,c	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	2,5	0,129
	Streptophyta	0,08*b-d	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,02	**9,0**	**0,006**
	Chrysophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,01	1,0	0,441
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	24,34*b-d	3,40	65,59*c,d	7,75	4,25	0,05	1,8	0,8	**48,5**	**0,000**
	Cyanobacteria	53,72*b	1,49	7,24*c,d	7,24	52,58	19,85	71,5	5,4	**6,6**	**0,015**
	Chlorophyta	14,83	2,72	1,20*d	0,22	20,55	12,13	21,8	2,8	2,3	0,159
	Cryptophyta	6,00*b,c	1,24	23,44*d	1,07	20,91*d	7,29	4,5	2,0	**6,8**	**0,014**
	Dinophyta	0,00	–	0,34	0,34	0,00	–	0,0	0,0	1,0	0,441
	Euglenophyta	0,29*b,c	0,17	0,34	0,34	0,10	0,10	0,1	0,1	0,4	0,753
	Streptophyta	0,82*b-d	0,11	1,85	0,12	1,60	0,78	0,2	0,1	3,4	0,073
	Chrysophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,0	0,1	1,0	0,441
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	2,250*b-d	0,312	0,129	0,041	0,199	0,094	0,277	0,169	**35,9**	**0,000**
	Cyanobacteria	0,026	0,007	0,000	0,000	0,067	0,065	0,129	0,156	1,0	0,429
	Chlorophyta	0,122	0,037	0,001*d	0,000	0,071	0,045	0,161	0,107	2,7	0,117
	Cryptophyta	0,265*b	0,099	0,036*d	0,015	0,077*d	0,010	0,399	0,166	**5,9**	**0,020**
	Dinophyta	0,000	–	0,110	0,110	0,000	–	0,000	0,000	1,0	0,441
	Euglenophyta	0,070	0,036	0,031	0,031	0,003	0,003	0,012	0,011	1,5	0,278
	Streptophyta	0,055	0,019	0,044	0,043	0,008	0,002	0,008	0,006	1,1	0,406

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Доля в общей биомассе, %	Chrysophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000		
	Xanthophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,002	0,003	1,0	0,441
	Bacillariophyta	80,56*b-d	5,99	40,71	8,45	47,29*d	3,81	26,5	9,2	**14,0**	**0,002**
	Cyanobacteria	0,92	0,21	0,29	0,29	8,55	7,40	14,9	19,0	1,1	0,404
	Chlorophyta	4,54	1,38	0,23*c,d	0,09	14,28	2,44	16,9	13,1	3,8	0,057
	Cryptophyta	9,33	3,23	22,12	17,13	25,51	8,63	39,4	7,2	1,5	0,277
	Dinophyta	0,00	–	18,38	18,38	0,00	–	0,0	0,0	1,0	0,441
	Euglenophyta	2,70	1,35	5,11	5,11	1,19	1,19	1,2	1,2	0,5	0,722
	Streptophyta	1,95	0,61	13,16	12,56	3,18	1,33	0,9	0,8	0,8	0,528
	Chrysophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,0	0,0		
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,2	0,3	1,0	0,441
Индекс Шеннона, бит/экз.		3,55*b	0,26	2,51	0,14	2,65	0,37	2,84	0,55	2,6	0,121
Индекс Шеннона, бит/мг		2,83	0,72	2,17*d	0,08	2,97	0,14	3,81	0,33	3,1	0,087
Индекс сапробности		2,28*b	0,08	1,93	0,17	2,07	0,04	2,00	0,13	2,2	0,169
СИМ, 10^{-9} г		0,285*b	0,015	1,019*c,d	0,309	0,182	0,028	0,094	0,028	**7,4**	**0,011**

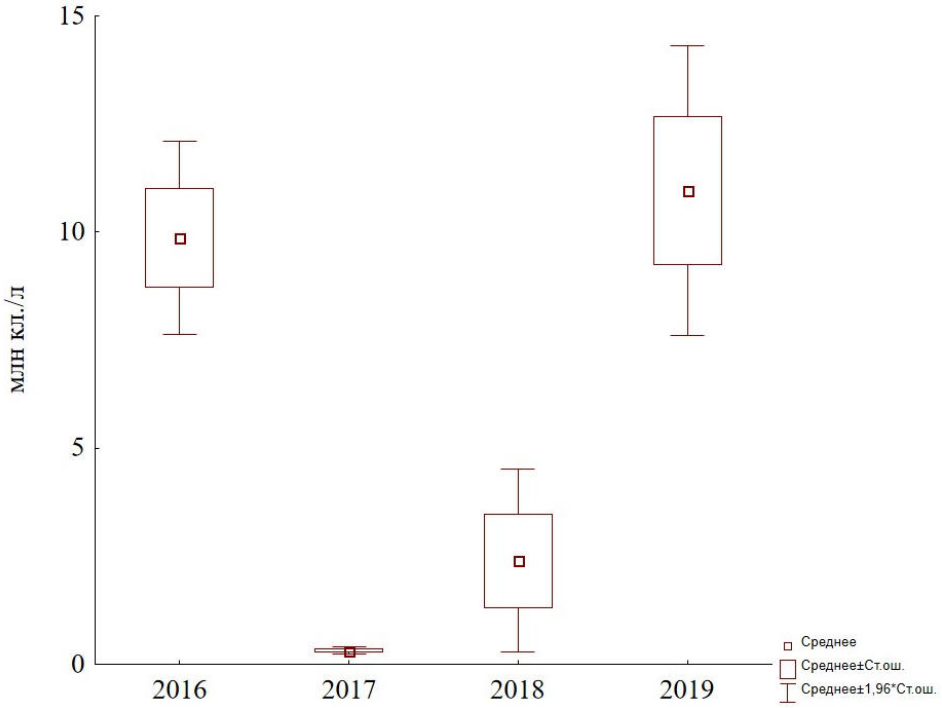

Рис. 4.3.8. Средняя численность фитопланктона Софинского плеса осенью.

Основу численности ФП в 2016, 2018 и 2019 гг. составляли цианобактерии, в 2017 г. – диатомовые водоросли (табл. 4.3.11). Кроме этого, в 2017 г. обнаружена минимальная доля цианобактерий и зеленых водорослей, а также, как и в 2018 г., максимальная доля криптофитовых. Доминировали по численности в 2016 г. *Aphanocapsa incerta* (20,7%), *Aphanocapsa* sp. (15%), *Aulacoseira granulata* (14,8%), в 2017 г. – *A. granulata* (26,7%), *Fragilaria crotonensis* (24,9%), *Asterionella formosa* (14,8%), *Komma caudata* (13,4%), в 2018 г. – *Microcystis aeruginosa* (42,9%), *Aphanocapsa incerta* (13,9%), *Komma caudata* (11,7%), в 2019 г – *Snowella lacustris* (54,1%).

Максимальной величиной индекса Шеннона, рассчитанного по численности, отличался ФП в 2016 г., минимальной – в 2017 г. (табл. 4.3.11). Одновременно, в 2017 г. отмечена наименьшая численность миксотрофных таксонов, а их доля в общей численности – в 2016 и 2019 гг. (табл. 4.3.12).

Таблица 4.3.12. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Софинского плеса осенью

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*P*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,621*b	0,166	0,077*d	0,013	0,351	0,042	0,51	0,25	**4,4**	**0,041**
Доля в общей численности, %	6,3*b,c	1,4	24,1*d	1,5	21,0*d	7,3	4,6	2,0	2,2	0,172
Биомасса, мг/л	0,335*c	0,121	0,177	0,134	0,080*d	0,008	0,412	0,168	**6,8**	**0,014**
Доля в общей биомассе, %	12,0	4,0	45,6	20,2	26,7	8,6	40,6	6,6	1,8	0,229

В 2016 г. биомасса ФП статистически значимо превышала величины в 2017 г. (p = 0,000), в 2018 г. (p = 0,000) и 2019 г. (p = 0,000) (рис. 4.3.9) за счет диатомовых водорослей (табл. 4.3.11).

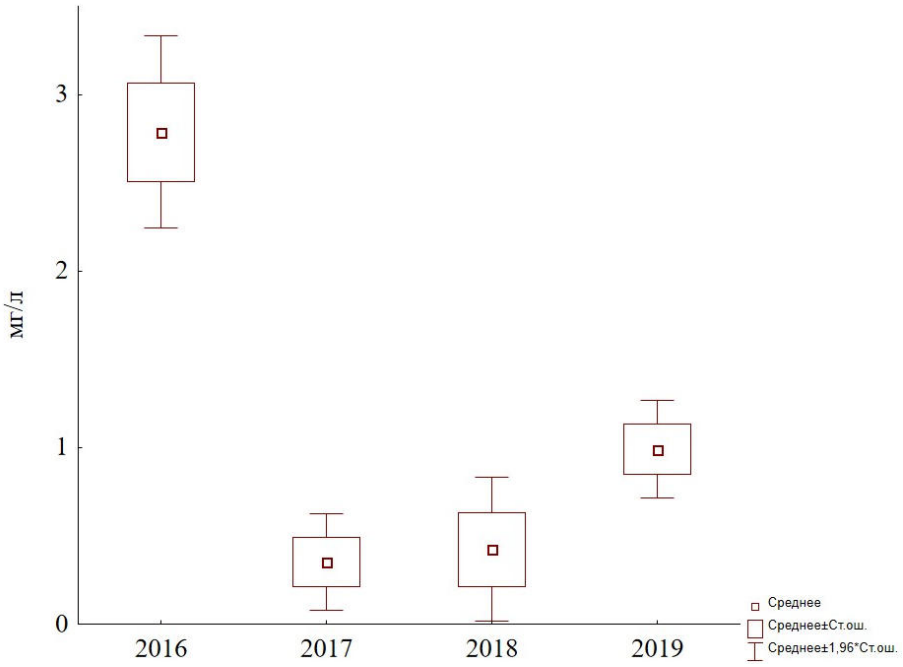

Рис. 4.3.9. Средняя биомасса фитопланктона Софинского плеса осенью.

Основу биомассы в 2016–2018 гг. составляли диатомовые водоросли при максимальной доле в 2016 г., а в 2019 г. наибольшей доли достигали цианобактерии, зеленые и криптофитовые водоросли (табл. 4.3.11). Доминировали по биомассе в 2016 г. *Aulacoseira granulata* (50,4%), *Stephanodiscus neoastraea* (12,6%), в 2017 г. – *Peridinium cinctum* (31,4%), *Aulacoseira granulata* (26,7%), *Cosmarium* sp.3 (10,7%), в 2018 г. – *Stephanodiscus neoastraea* (30,8%), *Microcystis aeruginosa* (15,4%), *Pediastrum simplex* (10,6%), *Cryptomonas ovata* (10,2%), в 2019 г. – *Cryptomonas erosa* (19,9%) и *Stephanodiscus neoastraea* (12,3%).

Наибольший индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, отмечен в 2019 г., наименьший – в 2017 г. (табл. 4.3.11). Также в 2017 г. ФП отличался максимальной средней индивидуальной массой, а в 2019 г. – минимальной (табл. 4.3.11). Наибольшая биомасса миксотрофных таксонов зарегистрирована в 2016 и 2019 гг., наименьшая – в 2018 г. (табл. 4.3.12).

По шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976) трофический статус плеса по биомассе ФП в 2016 г. характеризовался как *β*-мезотрофный, в 2017–2018 гг. – *α*-мезотрофный, в 2019 г. – на границе *α*-мезо- и *β*-мезотрофных вод, по шкале С.П. Китаева (2007) – в 2016 г. – *β*-мезотрофный, в 2017 и 2018 гг. – ультраолиготрофный, в 2019 – на границе олиго- и *α*-мезотрофных вод.

По значениям индекса сапробности воды плеса во все годы характеризовались *β*-мезосапробными условиями при максимальной величине индекса в 2016 г. и минимальной в 2017 г. (табл. 4.3.11). Концентрация $P\text{-}PO_4$ также свидетельствовала о *β*-мезосапробном статусе вод, как и значения $БПК_5$ в 2016 и 2019 гг. и $N\text{-}NH_4$ в 2017–2019 гг. (табл. 4.3.9). Однако ПО, $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$ характеризовали воды плеса как ксено- и олигосапробные.

Значительная часть характеристик фитопланктона – общие удельное видовое богатство (r = -0,74), численность (r = -0.63) и биомасса (r = -0.79), удельное видовое богатство, численность и биомасса Bacillariophyta (r = -0,61, -0,70 и -0,75), удельное видовое богатство Cyanobacteria (r = -0.73) и Chlorophyta (r = -0,62), численность Cryptophyta (r = -0,68) и Euglenophyta (r = -0,58) – коррелировали с цветностью воды, которые соответственно прямо связаны с суммой атмосферных осадков.

Резюме

Наиболее специфичными чертами отличался ФП в 2017 г., который характеризовался максимальным количеством атмосферных осадков, уровнем воды, объемом сброса. В этих условиях обнаружены минимальные удельное видовое богатство, численность и биомасса ФП, основу которых составляли диатомовые водоросли при наименьших количественных характеристиках цианобактерий и зеленых водорослей, минимальные численность миксотрофных таксонов, величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, индекса сапробности, а также максимальная СИМ.

Повышение количественных характеристик ФП отмечено в весьма различающихся условиях среды в 2016 и 2019 гг. Так, 2016 г. отличался наибольшей среднесуточной температурой воздуха, объемом притока, а в воде зарегистрирована минимальная цветность и содержание O_2, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, а 2019 г. – минимальными уровнем воды, объемом сброса, температурой воды, а также максимальными концентрациями O_2 и $P\text{-}PO_4$. В этих условиях отмечены максимальные удельное видовое богатство и численность ФП за счет цианобактерий и зеленых водорослей, а также биомасса миксотрофных таксонов. Одновременно наблюдались и различия характеристик ФП в эти годы. Так, в 2016 г. ФП отличался наибольшей биомассой за счет диатомовых водорослей, величиной индекса Шеннона, рассчитанного по численности, значением индекса сапробности, а в 2019 г. зарегистрирована максимальная доля в общей биомассе цианобактерий, зеленых и криптофитовых водорослей, наибольшая величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, минимальная СИМ, а также высокой степенью доминирования одного вида по численности.

Фитопланктонное сообщество Таналык-Суундукского плеса

В 2016 г. зарегистрированы наибольшие температура и pH воды, наименьшие – в 2019 г. (табл. 4.3.12). Обнаружены значительные изменения цветности воды: максимальная отмечена в 2017 г., минимальная – в 2016 и 2019 гг. Кроме того, в 2017 г. наблюдались наибольшая ПО, наименьшие $БПК_5$ и $N\text{-}NH_4$, максимумы которых зарегистрированы в 2018 г. В 2016 г. воды плеса характеризовались минимальной концентрацией Si и ПО, а 2019 г. – максимальными $N\text{-}NO_3$ и Si.

Таблица 4.3.12. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Таналык-Суундукского плеса осенью

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °C	12,4*[c,d]	0,3	11,7*[d]	0,0	11,1*[d]	0,2	9,5	0,6	**27,5**	**0,000**
Прозрачность, м	1,9	0,1	1,8	0,4	1,7	–	1,5	0,5	0,4	0,780
Цветность, град	6,9*[b,c]	0,1	22,0*[c,d]	1,5	12,4*[d]	0,7	9,3	0,4	**48,7**	**0,000**
O_2, мг/л	9,3	–	10,0	1,3	12,1	0,0	11,8	0,4	2,4	0,165
O_2, %	84,0	–	89,3	12,4	99,0	0,6	101,0	3,6	1,2	0,378
ПО, мгO_2/л	3,7*[b]	0,2	5,3	0,3	4,8	0,2	4,6	0,9	3,4	0,082
ХПК, мгO_2/л	27,0	–	25,0	–	24,0	–	28,0	0,0	–	–
$БПК_5$, мгO_2/л	1,1*[b,c]	–	0,6*[c]	–	2,8*[d]	–	0,8	0,4	**66,6**	**0,000**
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,090*[b,d]	–	0,000*[c,d]	–	0,103*[d]	0,003	0,050	0,020	**49,8**	**0,000**
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,002	0,001	0,002	0,000	0,005	0,003	0,002	0,001	1,4	0,323
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,005*[d]	0,005	0,044	0,038	0,077	0,019	0,120	0,044	2,9	0,114
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,017*[b]	0,001	0,025	0,001	0,021	0,002	0,034	0,013	2,6	0,139
Si, мг/л	0,850*[b-d]	0,050	1,933*[d]	0,240	2,000*[d]	–	2,800	0,529	**11,7**	**0,004**
Fe, мг/л	0,130	0,020	0,120*[d]	0,010	0,157	0,012	0,207	0,076	2,2	0,180

Полученные коэффициенты корреляции показывают, что температура, цветность и pH воды положительно, а концентрации O_2, ХПК, $БПК_5$, $N\text{-}NO_3$, Si и Fe были отрицательно связаны с зависимыми друг от друга уровнем воды, объемами притока и сброса, количеством атмосферных осадков (табл. 4.3.12). Кроме этого, с температурой воздуха положительно коррелировали температура и pH воды, отрицательно – ХПК, $P\text{-}PO_4$, $N\text{-}NO_3$, Si, Fe.

Статистически значимых различий удельного числа видов ФП не обнаружено, хотя их наибольшее количество зарегистрировано в 2016 г. (рис. 4.3.10). В 2017 г. было статистически достоверно меньше число видов цианобактерий по сравнению с данными 2019 г., а в 2018 г. – было больше число видов криптофитовых (табл. 4.3.14).

Статистически значимых различий общей численности ФП в исследованные годы не обнаружено, но в 2019 г. она была выше, чем в 2016–2018 гг. в 1.5–3.0 раза (рис. 4.3.11). При этом в 2017 г. статистически значимо больше, чем в другие годы, была численность диатомовых и криптофитовых водорослей, а в 2019 г. – цианобактерий по сравнению с 2017 и 2018 гг. (табл. 4.3.14).

Таблица 4.3.13. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Таналык-Суундукского плеса осенью

Показатель		Температура воды	Прозрачность	Цветность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	0,51	0,28	-0,59	-0,05	-0,48	0,07	0,02	0,09	**-0,75**	-0,54	**-0,75**	-0,51
Прозрачность		0,51	–	0,01	-0,42	0,11	-0,20	0,13	0,05	0,11	-0,43	0,02	-0,29	0,06
Уровень воды	Средний апрель–октябрь	**0,91**	0,35	0,57	-0,54	0,11	**-0,71**	0,04	-0,20	0,01	**-0,65**	-0,55	**-0,68**	**-0,71**
Объем притока	Средний апрель–октябрь	**0,96**	0,37	0,29	**-0,65**	-0,16	-0,44	-0,04	-0,03	-0,09	**-0,74**	-0,61	**-0,85**	**-0,66**
Объем сброса	Средний апрель–октябрь	**0,85**	0,33	**0,67**	**-0,63**	0,17	-0,50	-0,30	-0,47	-0,14	-0,62	-0,38	-0,60	**-0,65**
Сумма атмосферных осадков	Сумма апрель–октябрь	0,20	0,09	**0,78**	-0,38	0,47	-0,01	**-0,80**	**-0,94**	-0,29	-0,12	0,26	0,07	-0,22
Температура воздуха	Средняя апрель–октябрь	**0,93**	0,36	0,29	-0,50	-0,11	**-0,68**	0,26	0,12	0,07	**-0,69**	**-0,68**	**-0,80**	**-0,68**

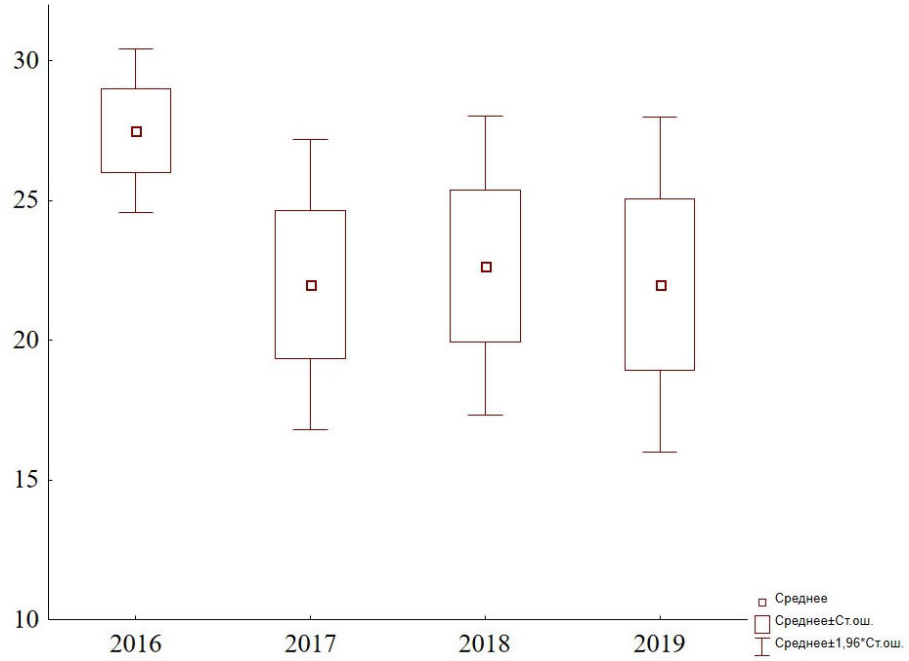

Рис. 4.3.10. Среднее удельное число видов фитопланктона Таналык-Суундукского плеса осенью.

Таблица 4.3.11. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Таналык-Суундукского плеса осенью

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	11,0	2,0	8,3	1,8	9,3	1,5	5,7	1,5	2,0	0,196
	Cyanobacteria	2,5	0,5	2,0	0,6	2,0	0,6	3,7	2,1	1,0	0,453
	Chlorophyta	7,0	1,0	4,0*d	1,2	4,7	0,3	8,7	3,8	2,4	0,152
	Cryptophyta	4,5	0,5	4,3	0,3	4,7*d	0,3	3,3	0,6	2,9	0,109
	Dinophyta	0,5	0,5	1,0	0,6	0,0	–	0,0	0,0	1,9	0,217
	Euglenophyta	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0	–	0,0	0,0	0,9	0,471
	Streptophyta	1,5	0,5	1,7	0,3	2,0	0,6	0,7	0,6	1,8	0,242
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,0	–	0,3	0,3	0,0	–	0,0	0,0	0,8	0,510
Численность, млн кл/л	Bacillariophyta	0,29*b	0,02	1,29*c,d	0,37	0,12	0,04	0,12	0,04	**8,0**	**0,012**
	Cyanobacteria	1,48	0,20	0,52*d	0,18	0,53*d	0,03	2,93	2,11	3,0	0,108
	Chlorophyta	0,15	0,09	0,06	0,03	0,48	0,26	0,62	0,45	1,7	0,252
	Cryptophyta	0,17*b	0,03	0,70*c,d	0,15	0,17	0,05	0,29	0,16	**6,1**	**0,023**
	Dinophyta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	–	0,00	0,00	2,3	0,170
	Euglenophyta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	–	0,00	0,00	0,8	0,510
	Streptophyta	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,6	0,629
	Chrysophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	0,00	0,00	–	0,00	0,00	0,8	0,510
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	13,7*b	1,2	48,5*c,d	3,6	9,5	4,1	3,8	2,1	**45,4**	**0,000**
	Cyanobacteria	70,4*b,c	7,4	20,2*c,d	5,4	42,4*d	5,3	68,8	13,3	**13,8**	**0,003**
	Chlorophyta	7,1	4,6	2,6*c	1,2	32,7	12,1	18,6	10,0	3,2	0,093
	Cryptophyta	8,3*b	1,5	27,9*d	5,4	14,5	5,2	8,7	4,5	4,3	0,052
	Dinophyta	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	–	0,0	0,0	2,4	0,154
	Euglenophyta	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	–	0,0	0,0	1,1	0,402
	Streptophyta	0,3	0,0	0,6	0,2	0,9*d	0,3	0,1	0,1	2,4	0,153
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0		
	Xanthophyta	0,0	–	0,1	0,1	0,0	–	0,0	0,0	0,8	0,510
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	0,244*b	0,001	0,945*c,d	0,268	0,132	0,041	0,181	0,086	**6,6**	**0,019**
	Cyanobacteria	0,003	0,002	0,005	0,002	0,002	0,001	0,012	0,012	1,2	0,375
	Chlorophyta	0,024	0,015	0,039	0,015	0,006	0,004	0,020	0,016	1,6	0,271
	Cryptophyta	0,056*b	0,006	0,162*c,d	0,037	0,050	0,017	0,049	0,017	**6,1**	**0,023**
	Dinophyta	0,009	0,009	0,203	0,121	0,000	–	0,000	0,000	2,3	0,160
	Euglenophyta	0,001	0,001	0,011	0,011	0,000	–	0,000	0,000	0,8	0,526
	Streptophyta	0,008	0,006	0,071	0,061	0,020	0,009	0,002	0,002	0,9	0,502

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Доля в общей биомассе, %	Chrysophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
	Xanthophyta	0,000	–	0,002	0,002	0,000	–	0,000	0,000	0,8	0,510
	Bacillariophyta	71,3	5,2	64,9	1,9	60,7	4,1	67,9	4,2	1,7	0,256
	Cyanobacteria	0,7	0,4	0,3	0,1	1,6	0,8	4,0	3,1	2,3	0,159
	Chlorophyta	6,7	3,9	3,5	2,0	2,7	1,3	6,7	3,8	0,9	0,486
	Cryptophyta	16,4	2,8	11,5*c	1,2	22,1	2,8	20,7	7,5	2,6	0,136
	Dinophyta	2,4	2,4	11,6*c,d	5,9	0,0	–	0,0	0,0	2,9	0,112
	Euglenophyta	0,3	0,3	0,5	0,5	0,0	–	0,0	0,0	0,7	0,564
	Streptophyta	2,2	1,6	7,4	6,8	12,9	6,9	0,7	0,6	1,1	0,420
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,0	–	0,1	0,1	0,0	–	0,0	0,0	0,8	0,510
Индекс Шеннона, бит/экз.		2,25	0,12	2,94	0,12	2,62	0,30	2,92	0,25	2,2	0,171
Индекс Шеннона, бит/мг		3,21	0,32	2,48*c	0,25	3,38	0,24	3,14	0,37	2,7	0,125
Индекс сапробности		2,27*d	–	2,27*d	0,04	2,03*d	0,01	1,71	0,23	**11,9**	**0,004**
СИМ, 10^{-9} г		0,16*b	0,01	0,55*c,d	0,03	0,16	0,03	0,076	0,022	**66,9**	**0,000**

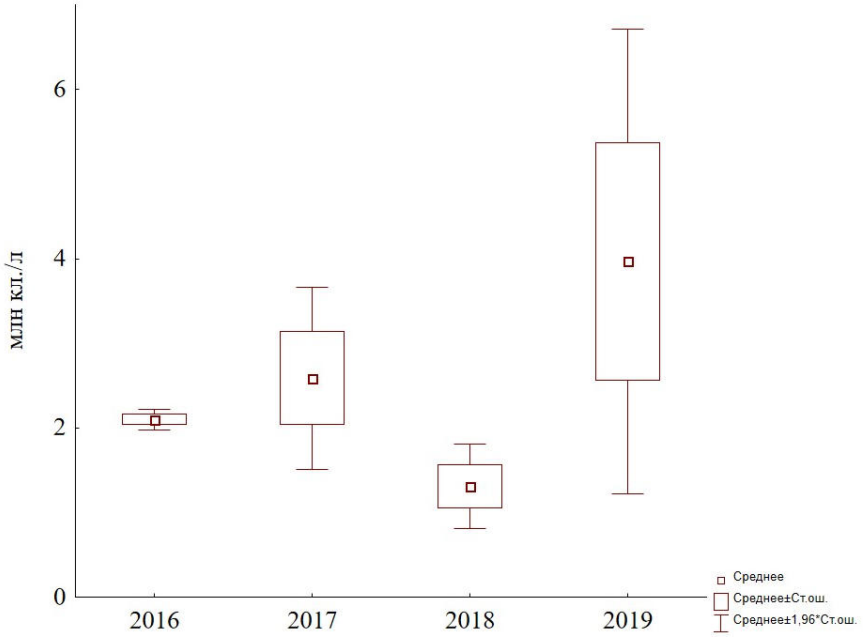

Рис. 4.3.11. Средняя численность фитопланктона Таналык-Суундукского плеса осенью.

В 2016 и 2019 гг. наибольшую долю в общей численности ФП занимали цианобактерии, в 2017 г. отмечена максимальная доля диатомовых и криптофитовых водорослей, а в 2018 г. – цианобактерий и зеленых (табл. 4.3.14). В 2016 г. по численности доминировали *Aphanocapsa inserta* (64,6%), в 2017 г. – *Aulacoseira granulata* (34,7%), *Komma caudata* (14,6%), *Aphanocapsa inserta* (10,6%), в 2018 г. – *Snowella lacustris* (30,3%), *Aphanocapsa inserta* (27,7%), *Woronichinia compacta* (10,3%), в 2019 г. – *Snowella lacustris* (40,8%), *Aphanocapsa inserta* (20,7%).

Наибольшие величины индекса Шеннона, рассчитанного по численности, зарегистрированы в 2017 и 2019 гг., наименьшие – в 2016 г., хотя статистически значимые различия отсутствовали (табл. 4.3.14). В 2017 г. обнаружена наибольшая численность и доля в общей численности ФП миксотрофных таксонов (табл. 4.3.15).

Таблица 4.3.15. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Таналык-Суундукского плеса осенью

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,18[*b]	0,03	0,71[*c,d]	0,15	0,17	0,05	0,29	0,16	**6,1**	**0,023**
Доля в общей численности, %	8,5[*b]	1,5	28,1[*d]	5,4	14,5	5,2	8,7	4,5	**4,3**	**0,050**
Биомасса, мг/л	0,066	0,003	0,377[*c,d]	0,167	0,050	0,017	0,049	0,017	3,1	0,096
Доля в общей биомассе, %	19,1	0,6	23,6	6,7	22,1	2,8	20,7	7,5	0,2	0,923

В 2017 г. биомасса ФП статистически значимо превышала величины в 2016 г. (p = 0,012), 2018 г. (p = 0,004) и 2019 г. (p = 0,005) (рис. 4.3.12) за счет диатомовых и криптофитовых водорослей (табл. 4.3.14).

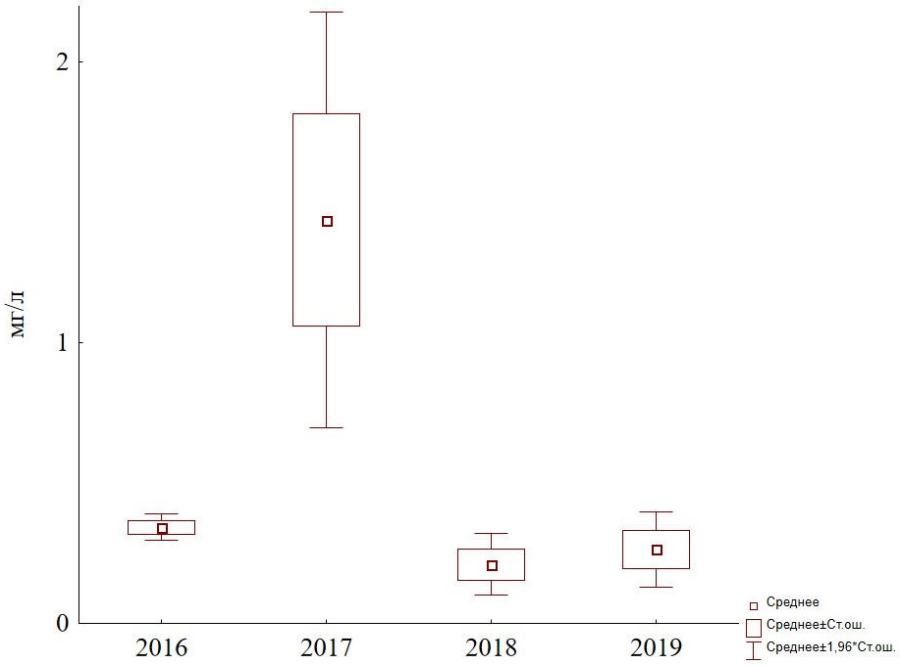

Рис. 4.3.12. Средняя биомасса фитопланктона Таналык-Суундукского плеса осенью.

Основу биомассы фитопланктона во все исследуемые годы формировали диатомовые водоросли, однако в 2018 г. повышалась доля криптофитовых, которая достоверно превышала их долю в 2017 г. (табл. 4.3.14). Доминировали по биомассе в 2016 г. *Aulacoseira granulata* (36,5%), *Stephanodiscus hantzschii* (15,4%), в 2017 г. – *Aulacoseira granulata* (53%), *Diplopsalis acuta* (10,6%), в 2018 г. – *Stephanodiscus neoastraea* (16,7%), *S. hantzschii* (16,2%), *Cryptomonas ovata* (14,7%), в 2019 г. – *Stephanodiscus neoastraea* (31,3%).

В 2018 г. величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, была максимальной и статистически значимо больше, чем в 2017 г. (табл. 4.3.14). В 2017 г. организмы ФП отличались максимальной СИМ, минимальная отмечена в 2019 г. (табл. 4.3.14). Кроме этого, в 2017 г. зарегистрирована наибольшая биомасса миксотрофных организмов в составе ФП (табл. 4.3.15).

Биомасса ФП по шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976) в 2016, 2018 и 2019 гг. характеризовала плес как α-мезотрофный, в 2017 г. – β-мезотрофный, а по шкале С.П. Китаева (2007) – в 2016, 2018 и 2019 гг. – ультраолиготрофный, 2017 – α-мезотрофный.

По значениям индекса сапробности воды плеса ежегодно характеризовались β-мезосапробными условиями, однако в 2019 г. величина индекса была достоверно ниже, чем в 2016–2018 гг. (табл. 4.3.14). Однако большая часть химических параметров воды свидетельствовала о ксено- олигосапробном статусе (табл. 4.3.12). Лишь по значениям $БПК_5$ в 2016 г. вода в плесе характеризовалась β-мезосапробными условиями, в 2018 г. – α-мезосапробными, а по концентрации $N\text{-}NO_2$ в 2018 г. и $P\text{-}PO_4$ в 2019 г. – переходным от олиго- к β-мезосапробным.

Корреляционный анализ вывил, с суммой атмосферных осадков, объемом сброса и возрастающей при этом цветностью воды положительно коррелировали биомасса фитопланктона (r = 0,81, 0,71 и 0,75), численность (r = 0,78, 0,75 и 0,75) и биомасса (r = 0,80, 0,70 и 0,72) диатомовых, криптофитовых и миксотрофов. При повышении уровня воды, с которой прямо связано увеличение $T_{воды}$, снижение ХПК, $N\text{-}NO_3$ и Si, сокращалась численность цианобактерий (r = -0,67) и зеленых (r = -0.75), а индекс сапробности возрастал при повышении $T_{возд.}$ и $T_{воды}$ (r = 0,80 и 0,86).

Резюме

Результаты изучения показали, что в ТСП лишь на уровне тенденции наибольшее удельное видовое богатство ФП регистрировалось в 2016 г., а численность – в 2019 г. за счет цианобактерий. Также в условиях минимальных уровня водохранилища, объема сброса, температуры воды, максимальных концентраций $N\text{-}NO_3$ и Si в 2019 г. ФП отличался минимальной СИМ и величиной индекса сапробности. По биомассе первенствовал ФП в 2017 г. за счет диатомовых и криптофитовых водорослей. Кроме этого, в 2017 г., характеризующемся максимальным количеством атмосферных осадков, уровнем воды, объемом сброса, цветностью воды и ПО, сообщество отличалось наибольшей численностью диатомовых и криптофитовых водорослей, численностью и биомассой миксотрофных таксонов, СИМ, но минимальной величиной индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе.

Фитопланктонное сообщество Приплотинного плеса

Средняя температура воды в 2018 г. статистически значимо превышала таковую в остальные периоды, минимальная температура зарегистрирована в 2019 г. (табл. 4.3.16). Одновременно в 2018 и 2019 гг. обнаружена максимальная прозрачность воды, концентрация O_2, ХПК, $N\text{-}NO_3$, $P\text{-}PO_4$ и Si. В 2016 г. отмечены наибольшее $N\text{-}NH_4$, а в 2017 г. – ПО и $БПК_5$.

Таблица 4.3.16. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды Приплотинного плеса осенью

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °C	12,4*[b-d]	0,0	12,1*[c,d]	0,0	13,0*[d]	0,1	9,8	0,1	**811,0**	**0,000**
Прозрачность, м	2,7	0,1	2,3*[c,d]	0,2	3,0	–	3,0	0,3	**6,5**	**0,015**
Цветность, град	6,0*[b-d]	0,6	16,3*[c,d]	1,6	12,7*[d]	0,6	9,0	0,1	**24,4**	**0,000**
O_2, мг/л	8,8*[c,d]	0,1	9,0*[c,d]	0,1	11,6	0,0	11,4	0,2	**254,0**	**0,000**
O_2, %	79,3*[b–d]	1,2	82,8*[c,d]	1,1	100,0	1,2	99,7	1,2	**107,0**	**0,000**
ПО, мгO_2/л	4,5*[b–d]	0,2	5,1*[c,d]	0,1	3,8	0,2	3,7	0,3	**15,8**	**0,001**
ХПК, мгO_2/л	22,0	–	15,0	–	27,0	–	27,0	0,0	–	–
$БПК_5$, мгO_2/л	0,6*[b,d]	–	1,1*[c,d]	–	0,5	–	0,4	0,2	**36,1**	**0,000**
$N\text{-}NH_4$, мг/л	0,107*[b,d]	0,032	0,033	0,003	0,080	0,021	0,023	0,012	**4,1**	**0,049**
$N\text{-}NO_2$, мг/л	0,003	0,001	0,005*[c]	0,001	0,002	0,001	0,004	0,002	2,2	0,166
$N\text{-}NO_3$, мг/л	0,037*[c,d]	0,003	0,093*[d]	0,035	0,160	0,021	0,190	0,036	**8,9**	**0,006**
$P\text{-}PO_4$, мг/л	0,034*[c,d]	0,003	0,039*[c,d]	0,002	0,049	0,005	0,047	0,007	3,3	0,081
Si, мг/л	1,267*[b–d]	0,067	1,833*[d]	0,067	2,033*[d]	0,033	2,667	0,379	**23,1**	**0,000**
Fe, мг/л	0,103*[d]	0,028	0,083*[d]	0,015	0,083*[d]	0,028	0,190	0,036	**4,6**	**0,038**

Выявлено, что с количеством атмосферных осадков и гидрологическими параметрами положительно коррелировали pH, ПО, $БПК_5$ и $N\text{-}NO_2$, отрицательно – температура и прозрачность воды, содержание O_2, ХПК, $N\text{-}NO_3$, $P\text{-}PO_4$ и Si (табл. 4.3.17). При увеличении средней за вегетационный период температуры воздуха уменьшалась цветность воды, $N\text{-}NO_3$, Si, возрастала pH, а с увеличением температуры воздуха в октябре – температура воды, содержание O_2, ХПК, $N\text{-}NO_3$, $P\text{-}PO_4$ и Si.

Минимальное удельное видовое богатство ФП отмечено в 2016 г., максимальное – в 2017 г. (p = 0,047) (рис. 4.3.13). В 2017 г. в составе ФП отмечено наибольшее удельное видовое богатство цианобактерий и стрептофитовых водорослей, в 2017 и 2019 гг. – зеленых, а в 2018 г. – диатомовых (табл. 4.3.18).

Средняя численность ФП в 2017 г. статистически значимо превышала таковую в 2018 г. (p = 0,013) (рис. 4.3.14) за счет диатомовых водорослей и цианобактерий (табл. 4.3.18). Основу численности ФП в течение всего периода исследований составляли цианобактерии, в 2019 г. отмечена минимальная доля диатомовых водорослей (табл. 4.3.18).

Таблица 4.3.17. Коэффициенты корреляции между метеорологическими условиями, гидрологическими параметрами водохранилища и абиотическими характеристиками воды Приплотинного плеса осенью

Показатель		Температура воды	Прозрачность	Цветность	O_2	ПО	ХПК	$БПК_5$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	$P\text{-}PO_4$	Si	Fe
Температура воды		–	-0,25	0,23	-0,33	0,33	-0,27	0,33	0,56	-0,21	-0,47	-0,20	**-0,70**	**-0,75**
Прозрачность		-0,25	–	-0,47	**0,71**	**-0,84**	**0,84**	**-0,80**	-0,01	-0,38	0,55	0,47	0,45	0,45
Уровень воды	Средний апрель–октябрь	**-0,97**	**-0,84**	0,32	**-0,81**	**-0,76**	**0,92**	**-1,00**	**0,95**	-0,44	**0,75**	-0,45	-0,48	-0,24
Объем притока	Средний апрель–октябрь	**-0,69**	-0,41	-0,56	**-0,93**	**-0,94**	0,56	-0,48	0,26	0,20	0,38	**-0,83**	**-0,75**	**-0,91**
Объем сброса	Средний апрель–октябрь	**-0,99**	**-0,82**	0,20	**-0,89**	**-0,84**	**0,92**	**-0,97**	**0,90**	-0,36	**0,73**	**-0,54**	**-0,56**	-0,37
Сумма атмосферных осадков	Сумма апрель–октябрь	**-0,92**	**-0,84**	0,48	**-0,70**	-0,64	**0,89**	**-1,00**	**0,99**	-0,53	**0,74**	-0,31	-0,37	-0,07
Температура воздуха	Октябрь	**0,87**	0,62	0,29	**0,99**	**0,98**	**-0,76**	**0,73**	-0,55	0,01	-0,57	**0,78**	**0,74**	**0,77**
	Средняя апрель–октябрь	-0,21	0,04	**-0,88**	-0,60	-0,65	0,09	0,06	-0,28	0,53	-0,01	**-0,72**	-0,60	**-0,95**

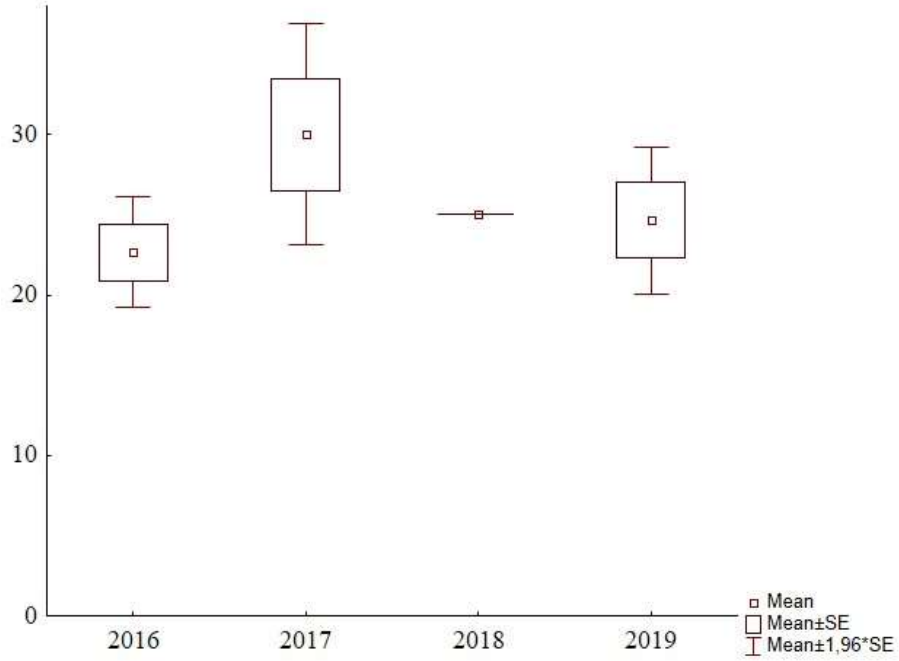

Рис. 4.3.13. Среднее удельное видовое богатство фитопланктона Приплотинного плеса осенью.

Таблица 4.3.18. Средние (*m*±*SD*) значения показателей фитопланктона Приплотинного плеса осенью

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Число видов	Bacillariophyta	8,0	0,6	6,7*[c]	0,9	10,7	0,9	8,3	3,2	2,1	0,182
	Cyanobacteria	2,7*[b]	0,3	5,7*[c]	1,3	2,7	0,3	3,3	0,6	3,8	0,057
	Chlorophyta	5,0*[b,d]	0,6	9,0*[c]	–	5,0*[d]	0,6	8,3	2,1	**8,6**	**0,007**
	Cryptophyta	4,3	0,3	4,7	0,9	5,7*[d]	0,3	3,7	0,6	2,5	0,133
	Dinophyta	1,3	0,9	1,0	–	0,0	–	0,0	0,0	2,4	0,140
	Euglenophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Streptophyta	1,3	0,7	3,0*[c,d]	0,6	1,0	0,6	0,7	0,6	3,5	0,069
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Численность, млн кл./л	Bacillariophyta	0,85	0,10	1,36*[c,d]	0,61	0,26	0,05	0,17	0,05	3,2	0,082
	Cyanobacteria	2,08	1,08	2,36*[c]	0,39	0,44	0,02	1,64	0,05	2,2	0,169
	Chlorophyta	0,35	0,12	0,37	0,10	0,16	0,08	0,46	0,18	1,5	0,275
	Cryptophyta	0,33	0,07	1,15	0,57	0,26	0,04	0,26	0,12	2,2	0,162
	Dinophyta	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	–	0,00	0,00	2,9	0,104
	Euglenophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
	Streptophyta	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	2,1	0,182
	Chrysophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
	Xanthophyta	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	0,00	–	–
Доля в общей численности, %	Bacillariophyta	27,6*[d]	7,8	23,8*[d]	4,7	23,4*[d]	4,0	6,8	2,2	3,4	0,075
	Cyanobacteria	50,4	14,0	48,0	5,9	39,9	4,9	65,1	6,5	1,6	0,258
	Chlorophyta	11,7	5,6	7,3	1,5	12,7	5,5	17,8	5,2	1,0	0,437
	Cryptophyta	9,7	2,1	20,2	7,7	23,6	3,4	10,1	4,4	2,4	0,141
	Dinophyta	0,2*[c,d]	0,1	0,1	0,0	0,0	–	0,0	0,0	3,6	0,067
	Euglenophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Streptophyta	0,4	0,2	0,4	0,1	0,4	0,3	0,2	0,2	0,5	0,720
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	–	–
Биомасса, мг/л	Bacillariophyta	0,398	0,066	1,091*[c]	0,526	0,184	0,007	0,296	0,064	2,4	0,147
	Cyanobacteria	0,017	0,014	0,036*[c,d]	0,008	0,004	0,002	0,007	0,007	3,0	0,092
	Chlorophyta	0,023	0,001	0,082	0,053	0,027	0,024	0,021	0,013	1,0	0,452
	Cryptophyta	0,110*[b]	0,025	0,362*[c,d]	0,131	0,089	0,012	0,088	0,076	3,6	0,066
	Dinophyta	0,247	0,125	0,329*[c,d]	0,089	0,000	–	0,000	0,000	**4,9**	**0,032**
	Euglenophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–

Показатель	Таксон	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Доля в общей биомассе, %	Streptophyta	0,018	0,010	0,055	0,028	0,066	0,050	0,009	0,014	0,9	0,492
	Chrysophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
	Xanthophyta	0,000	–	0,000	–	0,000	–	0,000	0,000	–	–
	Bacillariophyta	52,9	8,4	51,5	6,4	54,2	10,0	71,6	19,9	1,0	0,426
	Cyanobacteria	1,7	1,2	2,1	0,5	1,2	0,5	1,9	2,0	0,2	0,885
	Chlorophyta	3,4	1,0	3,5	1,1	5,4	4,4	4,7	2,6	0,2	0,918
	Cryptophyta	15,0	3,5	19,9	4,9	25,7	4,4	19,7	16,7	0,5	0,683
	Dinophyta	24,4*[c,d]	12,2	18,6	4,7	0,0	–	0,0	0,0	3,7	0,060
	Euglenophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0		
	Streptophyta	2,7	1,4	4,4	3,3	13,6	9,0	2,0	3,1	1,2	0,378
	Chrysophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0		
	Xanthophyta	0,0	–	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0		
Индекс Шеннона, бит/кл.		2,72	0,55	3,35	0,21	3,46	0,17	3,06	0,06	1,1	0,387
Индекс Шеннона, бит/мг		3,13	0,11	2,92	0,31	3,32	0,03	2,70	0,41	1,7	0,241
Индекс сапробности		2,04*[d]	0,09	2,14*[d]	0,07	1,98	0,12	1,73	0,08	**4,4**	**0,042**
СИМ, 10^{-9} г		0,24	0,08	0,35*[d]	0,04	0,32	0,05	0,17	0,02	2,7	0,118

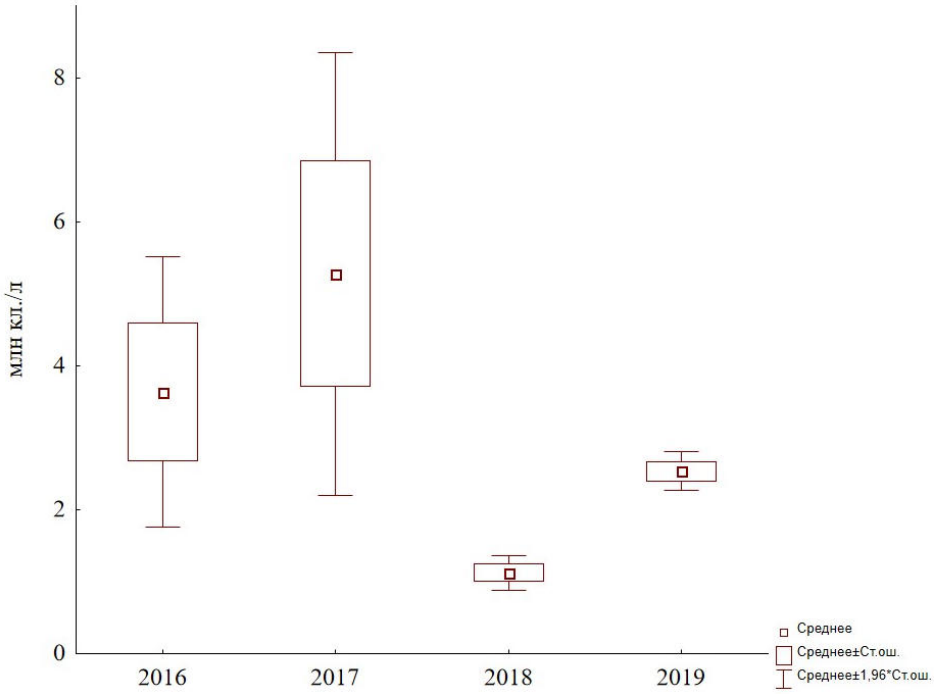

Рис. 4.3.14. Средняя численность фитопланктона Приплотинного плеса осенью.

В 2016 г. по численности доминировали *Aphanocapsa incerta* (48,6%), в 2017 г. – *Aphanocapsa incerta* (20%), *Aulacoseira granulata* (17,6%), *Komma caudata* (12,7%), *Woronichinia compacta* (12,2%), в 2018 г. – *Aphanocapsa incerta* (20,1%), *Komma caudata* (13,1%), в 2019 г. – *Aphanocapsa incerta* (32,9%), *Snowella lacustris* (12,6%), *Microcystis aeruginosa* (12,1%).

Максимальная величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности, обнаружена в 2018 г., минимальная – в 2016 г., хотя статистически значимые различия отсутствовали (табл. 4.3.18). Наибольшие численность миксотрофных таксонов наблюдалась в 2017 г., наименьшая – в 2018 и 2019 гг., но эти различия также статистически не значимы (табл. 4.3.19).

Таблица 4.3.19. Численность, биомасса и доля миксотрофных таксонов в составе фитопланктона Приплотинного плеса осенью

Показатель	2016[a]		2017[b]		2018[c]		2019[d]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Численность, млн кл./л	0,34	0,07	1,16	0,57	0,26	0,04	0,26	0,12	2,2	0,160
Доля в общей численности, %	9,9	2,0	20,4	7,7	23,6	3,4	10,1	4,4	2,4	0,141
Биомасса, мг/л	0,358	0,139	0,690*[c,d]	0,185	0,089	0,012	0,088	0,076	**5,9**	**0,020**
Доля в общей биомассе, %	39,4	10,3	38,5	4,1	25,7	4,4	19,7	16,7	1,6	0,264

Биомасса ФП в 2017 г. превышала значения в 2018 г. (p = 0,021) и 2019 г. (p = 0,025) (рис. 4.3.15) за счет криптофитовых, цианобактерий, диатомовых и динофитовых водорослей (табл. 4.3.18).

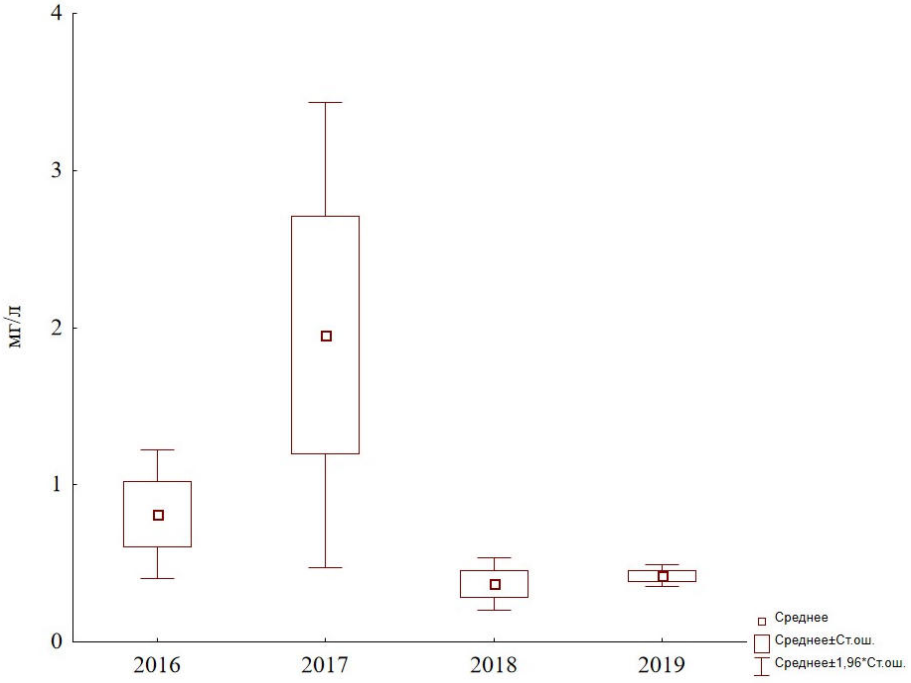

Рис. 4.3.15. Средняя биомасса фитопланктона Приплотинного плеса осенью.

Основу биомассы во все годы составляли диатомовые водоросли, заметной доли достигали криптофитовые, а в 2016 и 2017 гг. – также динофитовые (табл. 4.3.18). Доминировали по биомассе в 2016 г. *Aulacoseira granulata* (26,3%), *Diplopsalis acuta* (24%), в 2017 г. – *Aulacoseira granulata* (42,7%), *Diplopsalis acuta* (16,8%), *Cryptomonas curvata* (10,4%), в 2018 г. – *Stephanodiscus neoastraea* (15,4%), *Cosmarium* sp. 2 (14,8%), *Stephanodiscus hantzschii* (11,1%), *Cryptomonas curvata* (10,6%), в 2019 г. – *Stephanodiscus neoastraea* (45,2%) и *Cryptomonas erosa* (11,5%).

Минимальная величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, отмечена в 2017 г., максимальная – в 2018 г., хотя статистически значимых различий не выявлено (табл. 4.3.18). Наибольшей СИМ отличался ФП в 2017 г., наименьшей – в 2019 г.

(табл. 6.5.3). В 2017 г. также зарегистрирована максимальная биомасса миксотрофных таксонов, минимальная – в 2018 и 2019 гг. (табл. 4.3.19).

По шкале В.Н. Жукинского с соавт. (1976) трофический статус плеса по биомассе ФП в 2016, 2018 и 2019 гг. соответствовал α-мезотрофным водам, в 2017 г. – β-мезотрофным; по шкале С.П. Китаева (2007) – в 2016, 2018 и 2019 гг. – ультраолиготрофным. в 2017 г. – α-мезотрофным.

В 2019 г. значения индекса сапробности были статистически достоверно ниже, чем в 2016–2018 гг., однако во все годы они соответствовали β-мезосапробным водам (табл. 4.3.18). При этом значительная часть гидрохимических показателей – ПО, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, а также $БПК_5$ в 2016 и 2018 гг., $N\text{-}NH_4$ в 2017–2019 гг. – характеризовала воды как ксено- и олигосапробные (табл. 4.3.16).

С суммой атмосферных осадков, объемом сброса, ПО, $БПК_5$ прямо связаны общие численность (r = 0,70, 0,62, 0,67 и 0,64) и биомасса (r = 0,67, 0,66, 0,63 и 0,72), а также численность и биомасса основных таксономических групп и миксотрофов, индекс сапробности.

Резюме

Результаты показали, что наиболее благоприятные условия, обеспечивающие увеличение количественных характеристик ФП, формировались при максимальном количестве атмосферных осадков, уровне воды, объеме сброса, показателях ПО и $БПК_5$ в 2017 г. В этих условиях ФП отличался наибольшими удельным видовым богатством за счет цианобактерий и стрептофитовых водорослей, численностью за счет диатомовых и цианобактерий, биомассой за счет криптофитовых, цианобактерий, диатомовых и динофитовых, а также СИМ и биомассой миксотрофных таксонов. Необходимо отметить, что при снижении уровня водохранилища, объема сброса и увеличении прозрачности, концентраций O_2, ХПК, $N\text{-}NO_3$, $P\text{-}PO_4$, Si и Fe в 2018 и 2019 гг. ФП характеризовался наименьшими биомассой, численностью и биомассой миксотрофных таксонов, а при минимальном уровне и объеме сброса в 2019 г. – СИМ и величиной индекса сапробности.

Распределение фитопланктонных сообществ по продольному профилю акватории

В среднем за время изучения максимальные значения ряда физико-химических параметров воды – O_2, ПО, ХПК, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NO_3$ – отмечены в реке, а цветность воды, $P\text{-}PO_4$, Si и Fe – в ЧП, минимальными значениями характеризовались воды ТСП и ПП (табл. 4.3.20). По продольному профилю исследованной акватории наблюдалось увеличение температуры и прозрачности воды.

Отмеченные закономерности в целом проявлялись и в каждый из исследованных годов. Однако в 2019 г. статистически значимых различий температуры, прозрачности и цветности воды между рекой и ЧП не обнаружено, а по концентрации $N\text{-}NO_3$ – между рекой, ЧП и СП (табл. 4.3.21). Также в 2019 г. наибольшее содержание $P\text{-}PO_4$, Si и Fe зарегистрировано в ЧП и СП. Кроме этого, в 2017 г. в ЧП, СП и ТСП не различалась цветность воды, в 2017 и 2018 гг. в СП отмечена максимальная ПО, в 2017 г. – наибольшая концентрация $N\text{-}NH_4$.

В среднем за все время изучения наибольшее удельное видовое богатство ФП обнаружено в ЧП, наименьшее – в ТСП и между ними различия были статистически значимыми (p = 0,018) (рис. 4.3.16*а*). При этом ФП в реке отличался максимальным удельным видовым богатством диатомовых, но минимальным – цианобактерий, криптофитовых, эвгленовых и стрептофитовых. Наибольшее удельное видовое богатство цианобактерий обнаружено в ЧП.

В условиях наибольшей температуры воздуха и объема притока в 2016 г. максимальное удельное видовое богатство обнаружено в СП и ЧП, причем, в СП оно было статистически значимо больше, чем в реке (p = 0,038), ТСП (p = 0,015) и ПП (p = 0,002), а в ЧП, чем в ТСП (p = 0,030) и ПП (p = 0,005) (рис. 4.3.16*б*) за счет цианобактерий, зеленых, криптофитовых и эвгленовых и стрептофитовых водорослей. В реке ФП отличался наибольшим числом видов диатомовых и наименьшим цианобактерий.

В 2017 г. в условиях максимального количества атмосферных осадков, уровня воды водохранилища и объема сброса удельное видовое богатство ФП в СП было статистически значимо меньше, чем в реке (p = 0.016), ЧП (p = 0,016), ТСП (p = 0,022) и ПП (p = 0,000) (рис. 4.3.16*в*).

Таблица 4.3.20. Средние (*m*±*SD*) за период изучения физико-химические параметры воды по продольному профилю исследованного участка осенью

Показатель	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
	m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	5,0*[b-e]	1,7	7,8*[c-e]	0,8	9,6*[d-e]	1,1	11,1	1,2	11,8	1,3	**62,9**	**0,000**
Прозрачность, м	0,6*[b-e]	0,3	1,2*[c-e]	0,4	1,6*[e]	0,7	1,7*[e]	0,4	2,8	0,4	**41,1**	**0,000**
Цветность, град	15,2	6,4	18,5*[d,e]	6,3	16,7*[e]	5,9	13,1	6,1	11,0	4,2	**2,9**	**0,028**
O_2, мг/л	11,9*[e]	2,1	11,1	1,7	11,2	1,2	10,6	1,6	10,2	1,4	2,1	0,097
ПО, мгO_2/л	6,4*[b,d,e]	3,2	5,0	0,5	5,6	0,9	4,7	0,7	4,3	0,6	**3,2**	**0,019**
ХПК, мгO_2/л	35,0*[b-e]	3,7	29,8*[d,e]	4,8	30,8*[d,e]	3,6	25,9	1,7	22,8	5,1	**18,7**	**0,000**
БПК$_5$, мгO_2/л	3,8*[c-e]	2,8	3,0*[c-e]	1,7	1,6	0,7	1,3	1,0	0,7	0,3	**7,7**	**0,000**
N-NH_4, мг/л	0,415*[b-e]	0,570	0,099	0,035	0,136	0,083	0,058	0,044	0,061	0,046	**3,8**	**0,008**
N-NO_2, мг/л	0,008*[b-e]	0,003	0,005	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,002	**9,1**	**0,000**
N-NO_3, мг/л	0,530*[b-e]	0,357	0,133	0,118	0,088	0,062	0,066	0,057	0,120	0,071	**14,6**	**0,000**
P-PO_4, мг/л	0,071*[b,d,e]	0,023	0,088*[c-e]	0,008	0,067*[d,e]	0,022	0,025*[e]	0,009	0,042	0,008	**27,2**	**0,000**
Si, мг/л	0,950*[b-e]	0,596	4,275*[c-e]	0,789	2,867*[d,e]	0,957	1,991	0,741	1,950	0,552	**38,4**	**0,000**
Fe, мг/л	0,148	0,089	0,208*[e]	0,088	0,206*[e]	0,133	0,155	0,052	0,115	0,058	2,5	0,056

Примечание. I – р. Урал, II – Чапаевский плес, III – Софинский плес, IV – Таналык-Суундукский плес, V – Приплотинный плес; «–» – отсутствие данных.

Таблица 4.3.21. Средние (*m*±*SD*) значения физико-химических параметров воды по продольному профилю исследованного участка осенью 2016–2019 гг.

Показатель	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Температура, °С	2016	4,5*[b-e]	0,1	8,9*[c-e]	0,3	10,5*[d,e]	1,3	12,4	0,4	12,4	0,1	**103,0**	**0,000**
	2017	6,3*[b-e]	0,0	8,0*[c-e]	0,2	10,1*[d,e]	0,1	11,7*[e]	0,1	12,1	0,1	**2900,5**	**0,000**
	2018	2,5*[b-e]	0,2	7,6*[c-e]	0,1	9,7*[d,e]	0,4	11,1*[e]	0,3	13,0	0,1	**1001,2**	**0,000**
	2019	6,6*[c-e]	0,2	6,8*[c-e]	0,1	8,1*[d,e]	0,2	9,5	0,6	9,8	0,1	**84,3**	**0,000**
Прозрачность, м	2016	0,8*[c-e]	0,1	1,1*[e]	0,3	1,8*[e]	1,3	1,9	0,4	2,7	0,1	**7,8**	**0,004**
	2017	0,8*[b-e]	0,4	1,5*[c,e]	0,2	2,4	0,1	1,8	0,6	2,3	0,3	**10,8**	**0,001**
	2018	0,5*[b-e]	0,2	1,5*[c-e]	0,1	1,0*[d,e]	0,1	1,7*[e]	0,0	3,0	0,0	**296,9**	**0,000**
	2019	0,4*[c-e]	0,1	0,6*[c-e]	0,1	1,2*[e]	0,2	1,5*[e]	0,5	3,0	0,3	**52,4**	**0,000**
Цветность, град	2016	4,9*[b-e]	0,0	11,1*[c-e]	1,0	9,6*[d,e]	0,7	6,9	0,1	6,0	1,1	**39,2**	**0,000**
	2017	16,5*[b-d]	0,0	21,5*[e]	3,7	24,6*[e]	0,7	22,0*[e]	2,6	16,3	2,8	**8,3**	**0,002**
	2018	21,3*[b-e]	0,0	25,3*[c-e]	3,7	16,4*[d,e]	2,5	12,4	1,3	12,7	1,0	**24,2**	**0,000**
	2019	18,0*[d,e]	0,0	16,0*[d,e]	3,6	16,0*[d,e]	3,6	9,3	0,4	9,0	0,1	**12,4**	**0,000**
ПО, мгO_2/л	2016	4,8*[d]	0,0	5,2*[d]	1,0	5,2*[d]	0,2	3,7	0,2	4,5	0,3	**4,6**	**0,023**
	2017	5,0*[c]	0,0	5,0*[c]	0,0	6,9*[d,e]	0,6	5,3	0,5	5,1	0,2	**16,2**	**0,000**
	2018	4,1*[b-d]	0,0	5,0*[c,e]	0,0	5,6*[d,e]	0,2	4,8*[e]	0,3	3,8	0,4	**33,6**	**0,000**

Показатель	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
	2019	11,7*[b-e]	0,0	4,8*[e]	0,7	4,8*[e]	0,7	4,6	0,9	3,7	0,3	**125,9**	**0,000**
N-NH_4, мг/л	2016	0,100	0,000	0,140*[c]	0,026	0,080	0,010	0,090	0,000	0,107	0,055	2,0	0,173
	2017	0,080*[c,d]	0,000	0,083*[c,d]	0,040	0,260*[d,e]	0,075	0,000	0,000	0,033	0,006	**22,6**	**0,000**
	2018	0,110*[b]	0,000	0,073	0,015	0,103	0,025	0,103	0,006	0,080	0,036	2,1	0,146
	2019	1,370*[b-e]	0,000	0,100*[d,e]	0,020	0,100*[d,e]	0,020	0,050*[e]	0,020	0,023	0,012	**5255,4**	**0,000**
N-NO_2, мг/л	2016	0,012*[b-e]	0,000	0,007*[d,e]	0,001	0,008*[d,e]	0,001	0,002*[e]	0,001	0,003	0,001	**71,1**	**0,000**
	2017	0,009*[b-e]	0,000	0,007*[c,d]	0,001	0,003*[e]	0,000	0,002*[e]	0,001	0,005	0,002	**24,5**	**0,000**
	2018	0,009*[b-e]	0,000	0,004	0,002	0,003	0,003	0,005	0,004	0,002	0,001	**5,3**	**0,013**
	2019	0,003	0,000	0,002*[e]	0,001	0,002*[e]	0,001	0,002*[e]	0,001	0,004	0,002	2,4	0,112
N-NO_3, мг/л	2016	1,010*[b-e]	0,000	0,090	0,104	0,163*[d,e]	0,065	0,005	0,007	0,037	0,006	**213,3**	**0,000**
	2017	0,600*[b-e]	0,000	0,117	0,064	0,033	0,006	0,044	0,066	0,093	0,061	**95,3**	**0,000**
	2018	0,470*[b-e]	0,000	0,267*[c,d]	0,152	0,097	0,042	0,077	0,032	0,160	0,036	**18,9**	**0,000**
	2019	0,040*[d,e]	0,000	0,060*[d,e]	0,026	0,060*[d,e]	0,026	0,120*[e]	0,044	0,190	0,036	**14,4**	**0,000**
P-PO_4, мг/л	2016	0,059*[b-e]	0,000	0,087*[c-e]	0,002	0,065*[d,e]	0,005	0,017*[e]	0,001	0,034	0,005	**192,9**	**0,000**
	2017	0,110*[b-e]	0,000	0,080*[c-e]	0,010	0,036*[d]	0,009	0,025*[e]	0,002	0,039	0,004	**124,3**	**0,000**
	2018	0,058*[b-d]	0,000	0,095*[c-e]	0,006	0,076*[d,e]	0,008	0,021*[e]	0,004	0,049	0,009	**64,6**	**0,000**
	2019	0,056*[b-d]	0,000	0,092*[d,e]	0,005	0,092*[d,e]	0,005	0,034*[e]	0,013	0,047	0,007	**44,2**	**0,000**
Si, мг/л	2016	1,900*[b,d,e]	0,000	3,533*[c-e]	0,416	1,867*[d,e]	0,462	0,850	0,071	1,267	0,115	**35,3**	**0,000**
	2017	0,900*[b-e]	0,000	5,200*[c-e]	0,265	2,167	0,569	1,933	0,416	1,833	0,115	**81,0**	**0,000**
	2018	0,400*[b-e]	0,000	4,767*[c-e]	0,115	3,833*[d,e]	0,208	2,000	0,000	2,033	0,058	**911,5**	**0,000**
	2019	0,600*[b-e]	0,000	3,600*[d,e]	0,100	3,600*[d,e]	0,100	2,800	0,529	2,667	0,379	**68,4**	**0,000**
Fe, мг/л	2016	0,070*[b,c]	0,000	0,170*[e]	0,026	0,153	0,049	0,130	0,028	0,103	0,049	**4,6**	**0,023**
	2017	0,140*[b,c,e]	0,000	0,177*[c-e]	0,023	0,043*[d,e]	0,023	0,120*[e]	0,017	0,083	0,025	**22,3**	**0,000**
	2018	0,090*[c]	0,000	0,160*[c,e]	0,046	0,300*[d,e]	0,070	0,157	0,021	0,083	0,049	**13,3**	**0,000**
	2019	0,290	0,000	0,327*[e]	0,105	0,327*[e]	0,105	0,207	0,076	0,190	0,036	2,5	0,108

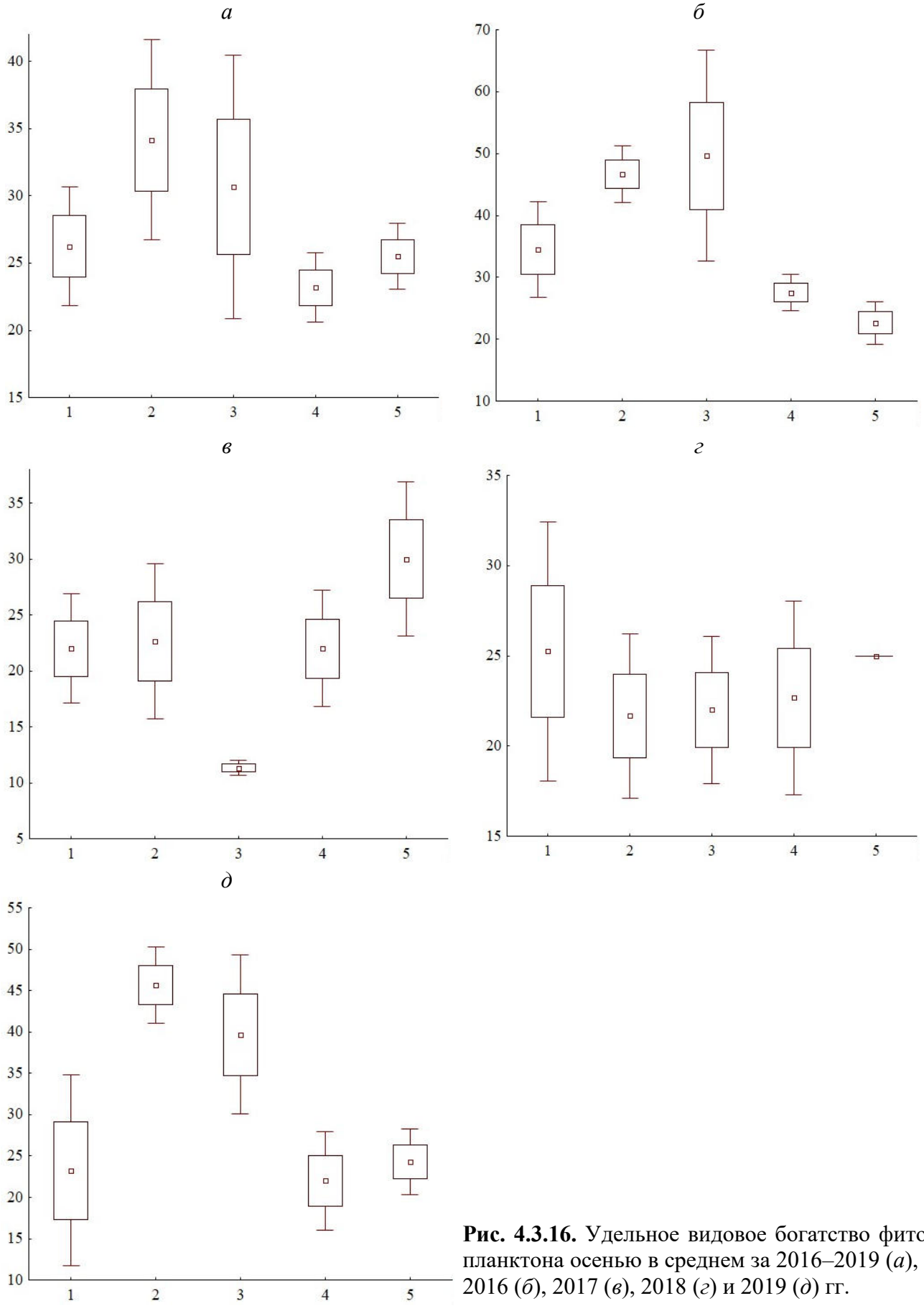

Рис. 4.3.16. Удельное видовое богатство фитопланктона осенью в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

Важно отметить, что максимальное удельное видовое богатство было обнаружено в ПП за счет статистически значимо большего числа видов цианобактерий и стрептофитовых водорослей. В реке ФП характеризовался наибольшим числом видов диатомовых водорослей, ЧП и ПП – зеленых и криптофитовых.

В 2018 г. при минимальном количестве атмосферных осадков и уровне воды ниже, чем в 2016 и 2017 гг., по продольному профилю исследованной акватории статистически значимых различий удельного видового богатства не зарегистрировано (рис. 4.3.16*г*). Однако в реке статистически значимо меньше, чем в водохранилище, было число видов цианобактерий и криптофитовых водорослей, в ТСП и ПП – зеленых водорослей, в ЧП и СП – диатомовых водорослей.

В 2019 г. при минимальном уровне водохранилища и объеме сброса удельное видовое богатство ФП в ЧП и СП было выше, чем в реке (соответственно p = 0,003 и 0,019), ТСП (p = 0,003 и 0,018) и ПП (p = 0,006 и 0,035) (рис. 4.3.16*д*) за счет цианобактерий, зеленых и криптофитовых водорослей.

В среднем за время изучения численность ФП в ЧП и СП была статистически значимо больше, чем в реке (соответственно p = 0,000 и 0,034), а в ЧП также больше, чем в ТСП (p = 0,004) и ПП (p = 0,008) (рис. 4.3.17*а*). При этом в ЧП и СП сообщество отличалось максимальной численностью цианобактерий, зеленых, эвгленовых водорослей, в ЧП – динофитовых и золотистых, а в СП – стрептофитовых (табл. 4.3.22). Основу численности в р. Урал составляли диатомовые водоросли, в водохранилище – цианобактерии (рис. 4.3.18*а*). Кроме этого, в водохранилище была выше доля криптофитовых водорослей, а по продольному профилю исследованной акватории отмечено снижение доли зеленых водорослей. В среднем за время изучения в реке по численности доминировал *Stephanodiscus hantzschii*, в ЧП и СП основу доминантов составляли исключительно цианобактерии *Snowella lacustris* и *Aphanocapsa inserta*, в ТСП кроме них отмечены *Aulacoseira granulata*, а в ПП доминировали *A. granulata* и *Aphanocapsa inserta*.

В 2016 г. численность ФП в ЧП и СП статистически значимо превышала значения в реке (соответственно p = 0,002 и 0,003), в ТСП (p = 0,002 и 0,004) и ПП (p = 0,004 и 0,007) (рис. 4.3.17*б*) за счет цианобактерий, зеленых и эвгленовых водорослей (табл. 4.3.22).

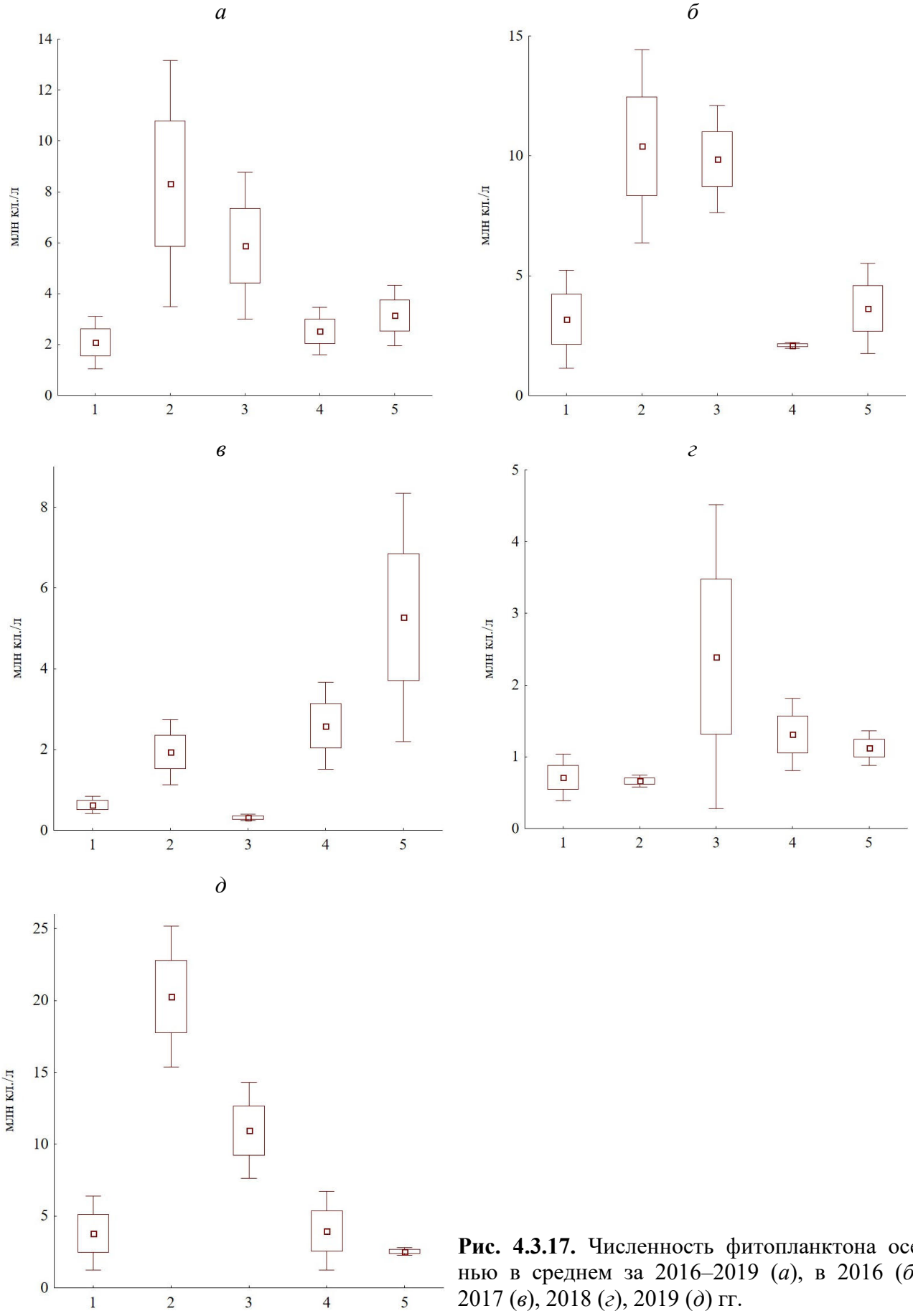

Рис. 4.3.17. Численность фитопланктона осенью в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*), 2019 (*д*) гг.

Таблица 4.3.22. Численность таксономических групп ФП по продольному профилю исследованного участка осенью

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Bacillariophyta	Средняя	1,44*[b,d]	1,74	0,43	0,41	0,71	1,01	0,47	0,61	0,66	0,68	2,1	0,096
	2016	1,96*[d]	1,48	0,95	0,29	2,35*[d]	0,48	0,29	0,02	0,85	0,16	2,7	0,090
	2017	0,29*[d,e]	0,11	0,23*[d,e]	0,24	0,21*[d,e]	0,08	1,29	0,64	1,36	1,05	**3,8**	**0,036**
	2018	0,32*[b,c]	0,20	0,03*[e]	0,02	0,10	0,08	0,12	0,07	0,26	0,08	3,3	0,052
	2019	3,18*[b-e]	2,24	0,53	0,23	0,19	0,09	0,12	0,04	0,17	0,05	**4,7**	**0,018**
Cyanobacteria	Средняя	0,18*[b,c]	0,39	5,02*[d,e]	5,70	3,70	3,44	1,36	1,44	1,63	1,15	**5,5**	**0,001**
	2016	0,44*[b,c]	0,75	7,14*[d,e]	3,15	5,32*[d,e]	1,19	1,48	0,28	2,08	1,88	**8,0**	**0,004**
	2017	0,08*[e]	0,07	0,44*[e]	0,67	0,02*[e]	0,03	0,52*[e]	0,31	2,36	0,68	**15,7**	**0,000**
	2018	0,00*[c]	0,00	0,18*[c]	0,16	1,64	1,78	0,53	0,06	0,44	0,03	2,3	0,129
	2019	0,21*[b,c]	0,17	12,33*[c-e]	3,89	7,82*[d,e]	2,16	2,93	2,11	1,64	0,05	**18,2**	**0,000**
Chlorophyta	Средняя	0,39*[b]	0,33	2,24*[d,e]	3,47	1,05	1,11	0,34	0,38	0,33	0,19	**3,2**	**0,019**
	2016	0,68*[b,c]	0,54	1,14*[d,e]	0,46	1,50*[d,e]	0,71	0,15	0,13	0,35	0,22	3,4	0,052
	2017	0,22	0,08	0,48*[c,d]	0,51	0,00	0,00	0,06	0,05	0,37	0,17	2,3	0,123
	2018	0,36	0,16	0,25	0,10	0,28	0,07	0,48	0,46	0,16	0,14	0,9	0,494
	2019	0,31*[b]	0,27	7,10*[c-e]	4,26	2,41	0,78	0,62	0,45	0,46	0,18	**7,4**	**0,004**
Cryptophyta	Средняя	0,06*[b,c,d]	0,07	0,57	0,47	0,38	0,26	0,35	0,27	0,50	0,58	**4,1**	**0,006**
	2016	0,09*[b,c]	0,04	1,10*[c-e]	0,47	0,59	0,28	0,17	0,04	0,33	0,12	**8,3**	**0,003**
	2017	0,05*[e]	0,04	0,74	0,36	0,07*[e]	0,02	0,70	0,26	1,15	0,99	**3,4**	**0,048**
	2018	0,03*[b-e]	0,05	0,20*[c]	0,08	0,35*[d]	0,07	0,17	0,09	0,26	0,08	**9,6**	**0,001**
	2019	0,10*[c]	0,12	0,23	0,17	0,50	0,25	0,29	0,16	0,26	0,12	2,5	0,101
Dinophyta	Средняя	0,00*[b]	0,00	0,01*[c,d]	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**3,9**	**0,007**
	2016	0,00*[b,d]	0,00	0,01*[c-e]	0,00	0,00*[e]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	**9,1**	**0,002**
	2017	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,9	0,477
	2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,9	0,517
	2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	–	–
Euglenophyta	Средняя	0,00*[b,c]	0,00	0,01*[d,e]	0,01	0,01*[d,e]	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	**4,7**	**0,002**
	2016	0,00*[b,c]	0,00	0,02*[e]	0,00	0,03*[d,e]	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	**4,0**	**0,034**
	2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,9	0,514
	2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	0,466
	2019	0,01*[b]	0,00	0,02*[c-e]	0,01	0,01*[d,e]	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	**12,0**	**0,001**
Streptophyta	Средняя	0,00*[c]	0,00	0,01*[c]	0,02	0,03*[d,e]	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	**5,7**	**0,001**
	2016	0,00*[b,c]	0,01	0,04*[c]	0,02	0,08*[d,e]	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	**11,6**	**0,001**
	2017	0,00*[e]	0,00	0,00*[e]	0,00	0,01*[e]	0,00	0,01	0,01	0,03	0,02	3,1	0,062
	2018	0,00*[c,d]	0,00	0,00*[c,d]	0,00	0,02*[d,e]	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	**15,5**	**0,000**
	2019	0,00*[c]	0,00	0,01*[c]	0,00	0,03*[d,e]	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	2,7	0,084

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Chrysophyta	Средняя	0,01*[b]	0,01	0,03*[c-e]	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**3,2**	**0,020**
	2016	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,5	0,274
	2017	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1	0,412
	2018	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,6	0,653
	2019	0,00*[b]	0,00	0,07*[c-e]	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**4,2**	**0,025**
Xanthophyta	Средняя	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,7	0,604
	2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,6	0,664
	2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1	0,397
	2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	–	–
	2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,1	0,397

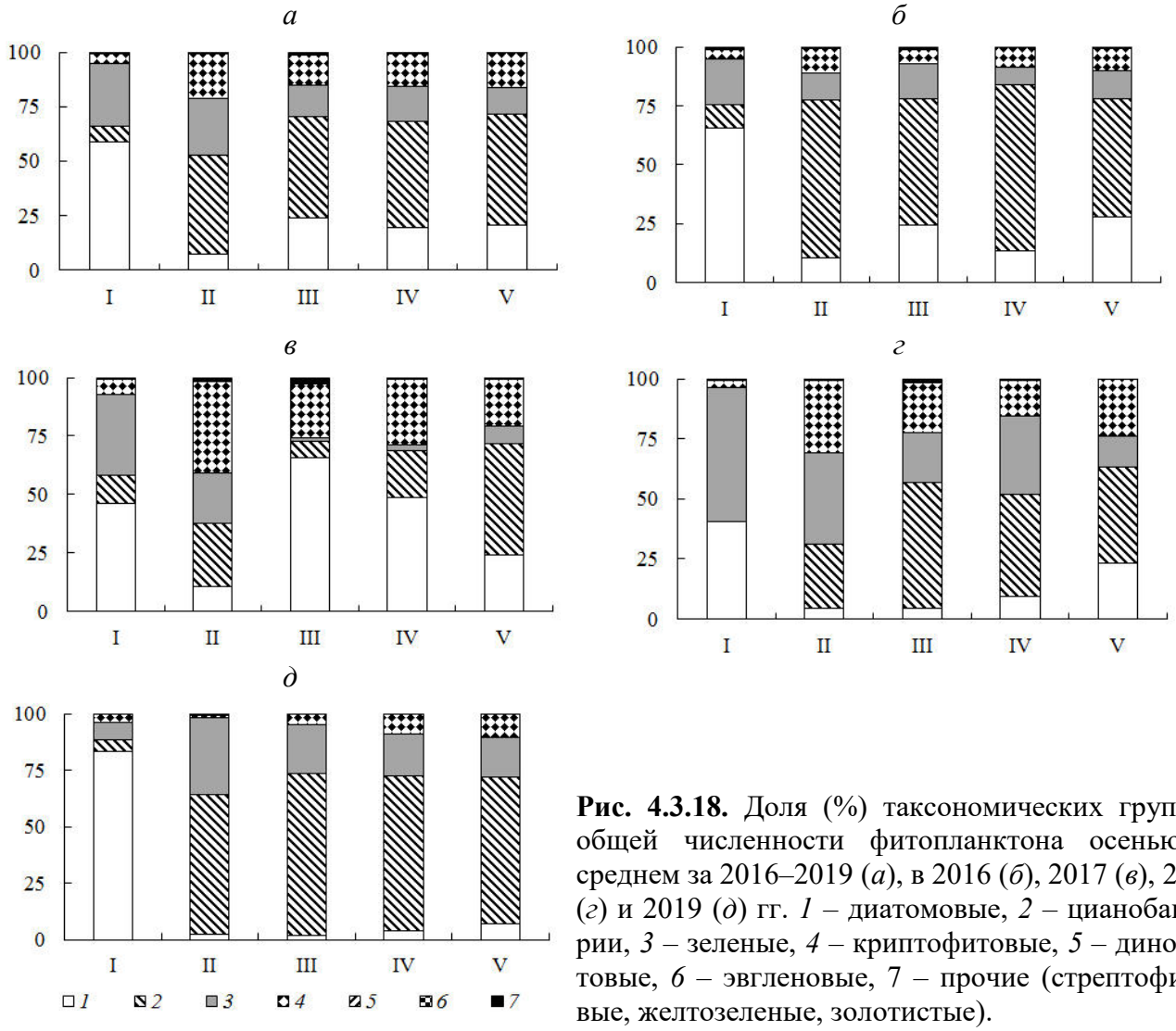

Рис. 4.3.18. Доля (%) таксономических групп в общей численности фитопланктона осенью в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг. *1* – диатомовые, *2* – цианобактерии, *3* – зеленые, *4* – криптофитовые, *5* – динофитовые, *6* – эвгленовые, 7 – прочие (стрептофитовые, желтозеленые, золотистые).

Кроме этого, в ЧП отмечена наибольшая численность криптофитовых и динофитовых водорослей, в СП – стрептофитовых, а в реке – диатомовых. Основу численности ФП в реке составляли диатомовые водоросли, также здесь отмечена максимальная доля зеленых (рис. 4.3.18*б*). В водохранилище отмечено преобладание диатомовых, зеленых, цианобактерий и криптофитовых. На всех участках доминировала *Aphanocapsa inserta*, в нижних плесах она была единственным доминантом. В реке также наибольшего развития достигали *Stephanodiscus hantzschii* и *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii*, в ЧП – *Aphanizomenon flosaquae*, в СП – *Aphanocapsa* sp., *Aulacoseira granulata.* Наибольшее сходство доминирующих и субдоминирующих по численности видов ФП обнаружено между ТСП и ПП, наименьшее – между ФП реки и сообществами всех плесов водохранилища (табл. 4.3.23). Максимальным средним уровнем сходства со всеми участками характеризовалось сообщество ТСП.

Таблица 4.3.23. Индексы сходства доминирующих и субдоминирующих по численности видов фитопланктона участков исследованной акватории осенью

Участок	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
2016 г. 26,4					
ЧП	13,9	–	–	–	–
СП	13,9	26,2	–	–	–
ТСП	13,9	30,0	26,8	–	–
ПП	13,9	35,5	35,5	54,7	
Среднее	13,9	26,4	25,6	31,4	34,9
2017 г. 21,3					
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	19,7	–	–	–
ТСП	0,0	32,5	45,3	–	–
ПП	0,0	38,7	30,3	46,9	–
Среднее	0,0	22,7	23,8	31,2	29,0
2018 г. 12,4					
ЧП	8,3	–	–	–	–
СП	0	8,5	–	–	–
ТСП	0	8,5	25,6	–	–
ПП	0	13,1	25,6	34,6	–
Среднее	2,1	9,6	14,9	17,2	18,3
2019 г. 20,3					
ЧП	0	–	–	–	–
СП	0	45,1	–	–	–
ТСП	0	47	40,8	–	–
ПП	5	18,8	12,6	33,3	–
Среднее	1,3	27,7	24,6	30,3	17,4

В 2017 г. наибольшая численность ФП обнаружена в ПП, она была статистически значимо выше, чем в реке (p = 0,000), ЧП (p = 0,008), СП (p = 0,000) и ТСП (p = 0,025) (рис. 4.3.17*в*) за счет цианобактерий, диатомовых и криптофитовых водорослей (табл. 4.3.22). В реке ФП характеризовался максимальной долей зеленых водорослей и минимальной – криптофитовых, в ПП – максимальной долей цианобактерий, ЧП – максимальной долей криптофитовых и минимальной – диатомовых, в СП отмечена наименьшая доля цианобактерий и зеленых, максимальная – диатомовых (рис. 4.3.18*в*). В реке доминировали диатомовые водоросли *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii* и *Nitzschia* sp., в ЧП – представители цианобактерий и криптофитовых *Aphanocapsa inserta* и *Komma caudata*, последний из которых сохранял свое доминирующее положение во всех плесах водохранилища. В СП более 66% общей численности приходилось на *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa*, из которых только *Aulacoseira granulata* входила в состав доминантов в нижележащих плесах – в ТСП наряду с *Komma caudata* и *Aphanocapsa inserta*, в ПП – наряду с *Komma caudata*, *Aphanocapsa inserta* и *Woronichinia compacta.* Максимальное сходство преобладающих по численности видов ФП обнаружено между ТСП и ПП, а также между СП и ТСП, между со-

обществами реки и плесов водохранилища сходство отсутствовало (табл. 4.3.23). Наибольшим средним уровнем сходства со всеми участками характеризовалось сообщество ТСП.

В 2018 г. в СП численность ФП статистически значимо превышала таковые в реке (p = 0,024) и ЧП (p = 0,028) (рис. 4.3.17*г*). В СП наблюдалась наибольшая численность цианобактерий, криптофитовых и стрептофитовых водорослей, а в реке и ПП – диатомовых (табл. 4.3.22). Основу численности в реке составляли зеленые и диатомовые водоросли, в водохранилище была выше доля цианобактерий и криптофитовых водорослей (рис. 4.3.18*г*). В реке доминировали исключительно представители диатомовых водорослей – *Diatoma moniliformis* и *Fragilaria capucina*. В плесах водохранилища среди доминантов обнаружены представители цианобактерий и криптофитовых водорослей, в частности, *Komma caudata* (СП и ПП), *Aphanocapsa* sp. (ЧП), *Limnothrix redekei* (ЧП), *Microcystis aeruginosa* (СП), *Aphanocapsa inserta* (СП–ПП), *Snowella lacustris* (ТСП), *Woronichinia compacta* (ТСП). Максимальное сходство доминирующих и субдоминирующих по численности видов ФП отмечено между ТСП и ПП, между сообществами реки и СП–ПП сходных видов не было (табл. 4.3.23). Наибольшим средним уровнем сходства со всеми участками характеризовались сообщества ПП и ТСП, наименьшим – реки.

В 2019 г. численность ФП в ЧП была выше, чем в реке (p = 0,000), СП (p = 0,002), ТСП (p = 0,000) и ПП (p = 0,000), а в СП была больше, чем в реке (p = 0,007), ТСП (p = 0,011) и ПП (p = 0,004) (рис. 4.3.17*д*). В ЧП обнаружена максимальная численность цианобактерий, зеленых, эвгленовых и золотистых водорослей, в СП – криптофитовых и стрептофитовых, а в реке – диатомовых (табл. 4.3.22). Основу численности ФП в реке составляли диатомовые водоросли, в водохранилище – цианобактерии, а также здесь была выше доля зеленых, а по продольному профилю водоема возрастало относительное обилие криптофитовых (рис. 4.3.18*д*). В реке доминировали только диатомовые водоросли *Stephanodiscus hantzschii* и *Cyclotella* sp., во всех плесах водохранилища – *Snowella lacustris*, кроме которой в ЧП зарегистрирован *Monoraphidium contortum*, в ТСП – *Aphanocapsa inserta*, в ПП –*Aphanocapsa inserta* и *Microcystis aeruginosa.* Максимальное сходство доминирующих и субдоминирующих по численности видов ФП обнаружено между ЧП и СП–ТСП, а между сообществами реки и ЧП–ТСП сходство отсутствовало (табл. 4.3.23). Наибольшим средним уровнем сходства со всеми участками характеризовалось сообщество ТСП, наименьшим – реки.

В среднем за время изучения статистически значимых различий величин индекса Шеннона, рассчитанного по численности, не обнаружено, хотя наименьшее значение зарегистрировано в ТСП (рис. 4.3.19*а*).

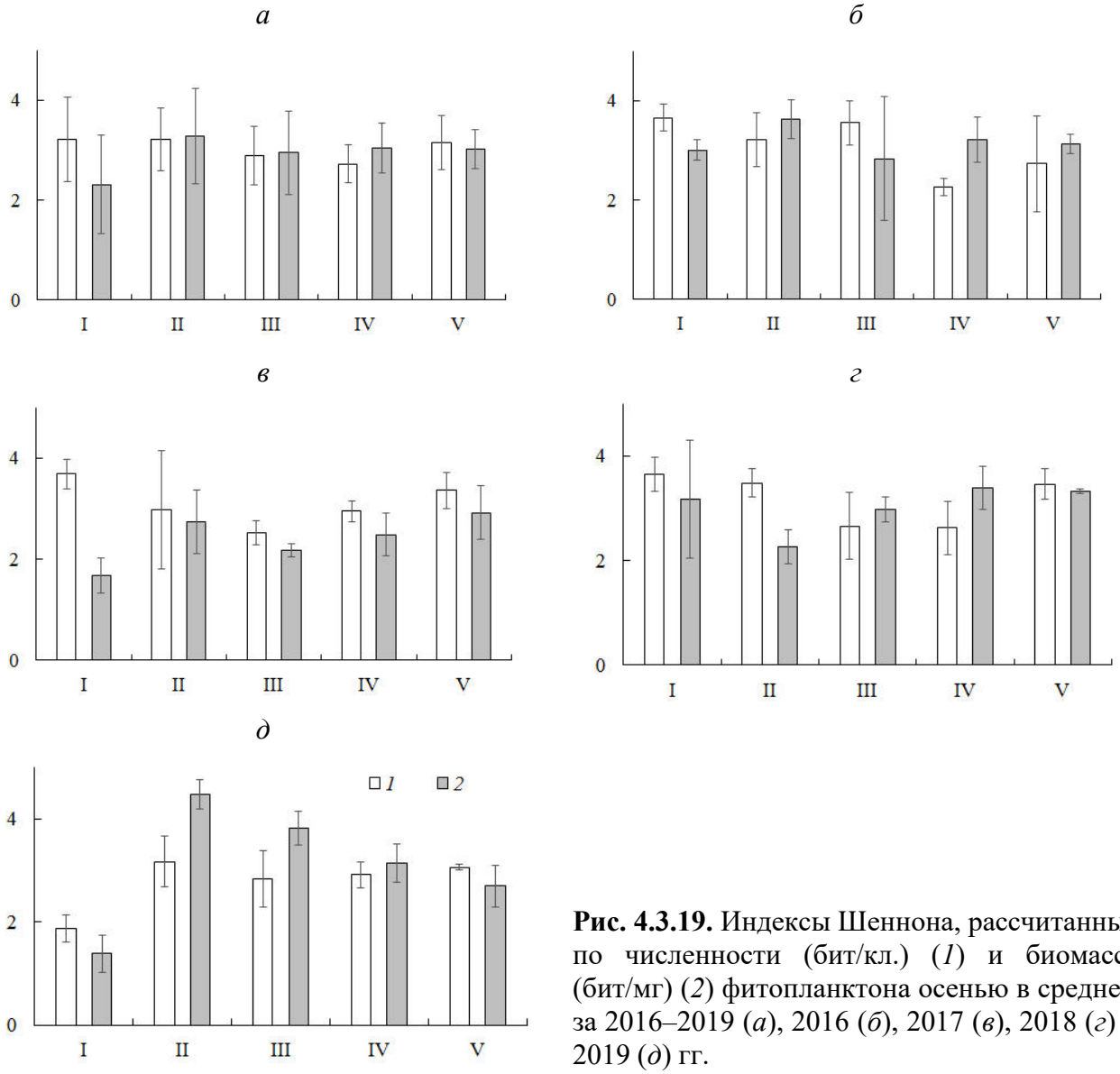

Рис. 4.3.19. Индексы Шеннона, рассчитанные по численности (бит/кл.) (*1*) и биомассе (бит/мг) (*2*) фитопланктона осенью в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

В 2016 г. минимальный индекс также отмечен в ТСП, а значения в реке и СП были статистически достоверно больше (p = 0,015 и 0,028) (рис. 4.3.19*б*). В 2017 г. наименьший индекс обнаружен в СП, однако достоверные различия были лишь с величиной в реке (p = 0,019) (рис. 4.3.19*в*). В 2018 г. величины индекса в СП и ТСП были ниже, чем в реке (соответственно p = 0,011 и 0,009), ЧП (p = 0,036 и 0,31) и ПП (p = 0,040 и 0,034) (рис. 4.3.19*г*). В 2019 г. минимальный индекс Шеннона зарегистрирован в реке, он был ниже, чем в ЧП (p = 0,000), СП (p = 0,004), ТСП (p = 0,003) и ПП (p = 0,001) (табл. 4.3.19*д*).

В среднем за время наблюдений наименьшая численность миксотрофных организмов в составе ФП отмечена в реке, она была статистически значимо меньше, чем в ЧП (p = 0,000), СП (p = 0,027) и ПП (p = 0,003) (рис. 4.3.20*а*).

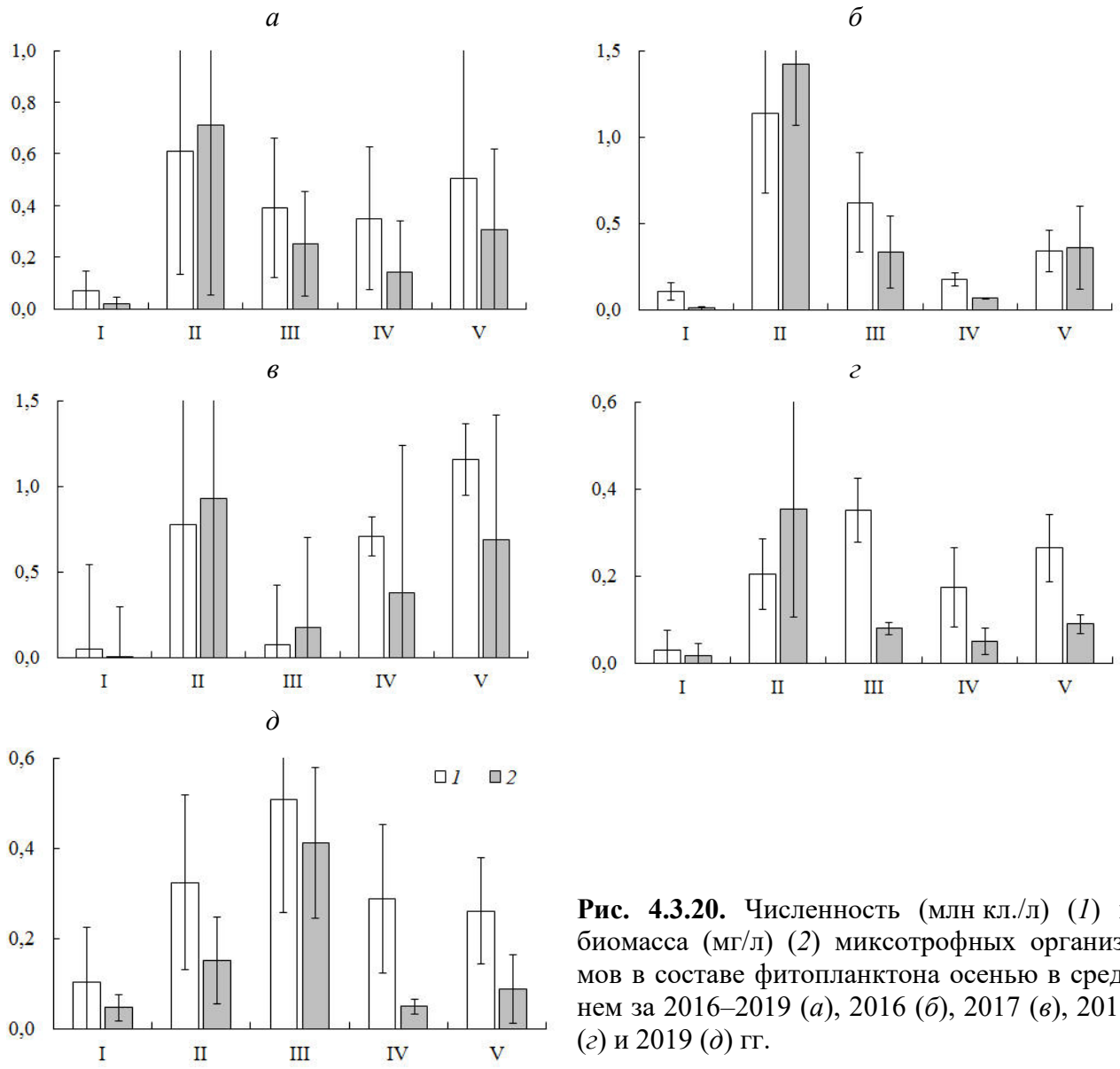

Рис. 4.3.20. Численность (млн кл./л) (*1*) и биомасса (мг/л) (*2*) миксотрофных организмов в составе фитопланктона осенью в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

В 2016 г. численность миксотрофов в ЧП превышала значения в реке (p = 0,000), СП (p = 0,030), ТСП (p = 0,001) и ПП (p = 0,003), а минимальная их плотность была в реке, ТСП и ПП (рис. 4.3.20*б*). В 2017 г. наибольшая численность миксотрофных таксонов зарегистрирована в ПП, и она была статистически достоверно больше, чем в реке (p = 0,010) и СП (p = 0,017) (рис. 4.3.20*в*). В 2018 г. численность миксотрофов в реке была меньше, чем в ЧП (p = 0,009), СП (p = 0,000), ТСП (p = 0,025) и ПП (p = 0,001), а в СП была больше, чем в ЧП (p = 0,030) и ТСП (p = 0,012) (рис. 4.3.20*г*). В 2019 г. наибольшая численность миксотрофов была в СП, наименьшая – в реке (p = 0,010) (рис. 4.3.20*д*).

В среднем за весь период изучения максимальная биомасса зарегистрирована в реке, минимальная – в ТСП и между ними различие было статистически значимым (p = 0,030) (рис. 4.3.21*а*). Сообщество ЧП отличалось максимальными биомассами зеленых, криптофитовых, эвгленовых и золотистых водорослей, СП – цианобактерий, реки – диатомовых (табл. 4.3.24). Максимальную долю в общей биомассе составляли диатомовые водоросли, лишь в ЧП – криптофитовые, доля которых на всех участках водохранилища была выше, чем в реке (рис. 4.3.22*а*). В среднем за время изучения в реке по биомассе доминировал *Stephanodiscus hantzschii* и *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii*, в ЧП – *Cryptomonas curvata*, в СП – *Aulacoseira granulata* и *Stephanodiscus neoastraea*, в ТСП – *Aulacoseira granulata*, а в ПП – *A. granulata* и *Diplopsalis acuta*.

В 2016 г. наименьшая биомасса ФП отмечена в ТСП и ПП (рис. 4.3.21*б*). При этом в реке обнаружена максимальная биомасса диатомовых водорослей, в ЧП – цианобактерий, криптофитовых и эвгленовых, в ЧП и СП – зеленых и стрептофитовых, а в ПП – динофитовых (табл. 4.3.24). Основу биомассы составляли диатомовые, лишь в ЧП – криптофитовые, кроме этого, здесь обнаружена наибольшая доля цианобактерий, зеленых и эвгленовых (рис. 4.3.22*б*). В реке доминировали *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii* и *Stephanodiscus hantzschii*, в ЧП – виды р. *Cryptomonas* и *Aulacoseira granulata*, последняя из которых сохраняла свое доминирующее положение во всех плесах водохранилища, в СП также зарегистрирован *Stephanodiscus neoastraea*, в ТСП – *S. hantzschii*, в ПП – *Diplopsalis acuta.* Максимальное сходство лидирующих по биомассе видов ФП обнаружено между СП и ТСП, ТСП и ПП, между ФП реки и ЧП, СП, ПП сходства не зарегистрировано (табл. 4.3.25). Наибольшим средним уровнем сходства со всеми участками характеризовалось сообщество ТСП, наименьшим – реки.

В 2017 г. наибольшая биомасса ФП обнаружена в ПП, и она статистически значимо превышала значения в реке (p = 0,032) и СП (p = 0,025) (рис. 4.3.21*в*) за счет цианобактерий, диатомовых, зеленых и криптофитовых водорослей (табл. 4.3.24). Наибольшую долю в общей биомассе составляли диатомовые водоросли, лишь в ЧП – криптофитовые (рис. 4.3.22*в*).

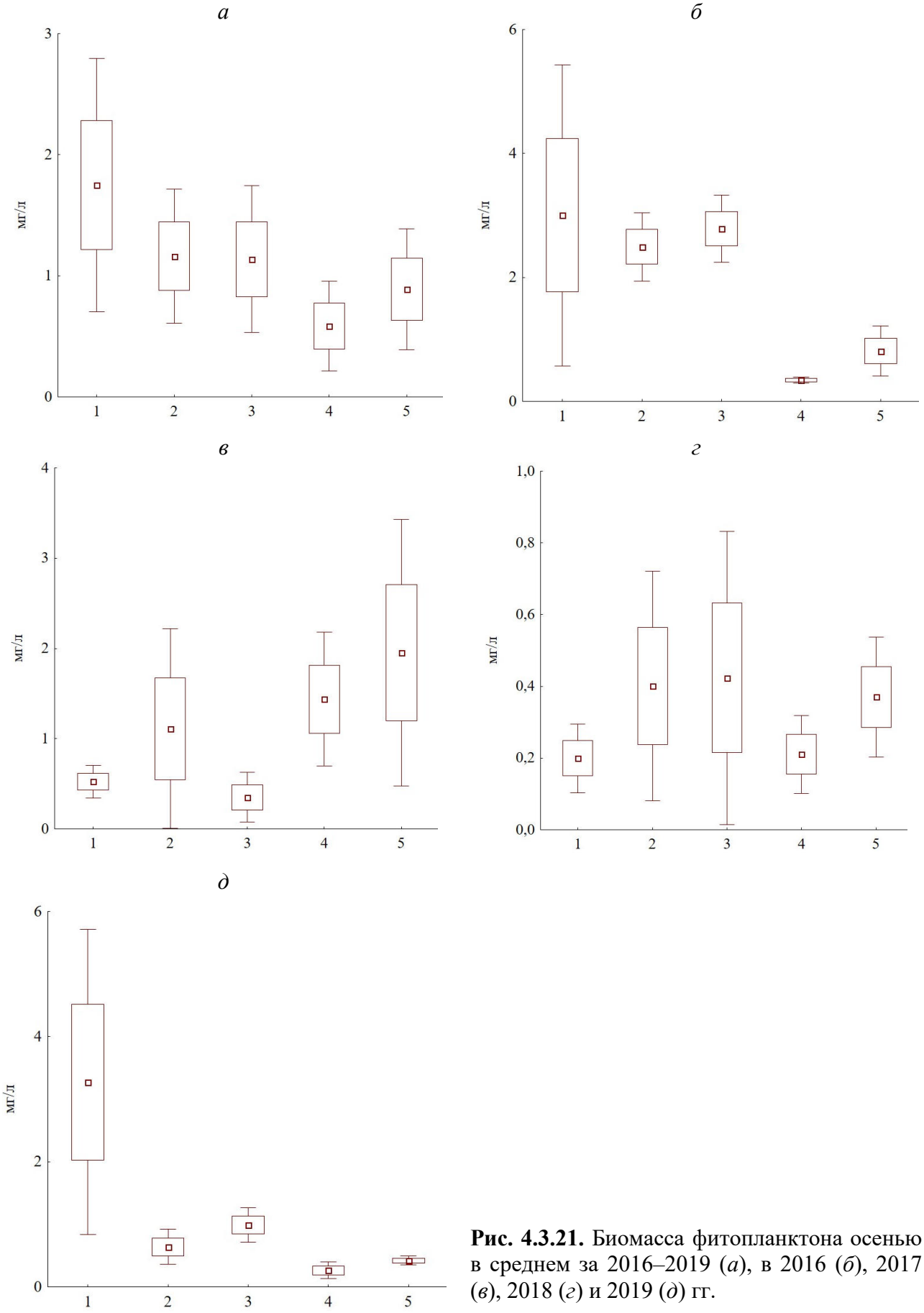

Рис. 4.3.21. Биомасса фитопланктона осенью в среднем за 2016–2019 (*а*), в 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

Таблица 4.3.24. Биомасса таксономических групп ФП по продольному профилю исследованного участка осенью

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Bacillariophyta	Средняя	1,663*[b-e]	2,094	0,246	0,307	0,714	0,962	0,387	0,419	0,492	0,539	**3,3**	**0,017**
	2016	2,894*[d,e]	2,420	0,701	0,272	2,250	0,541	0,244	0,001	0,398	0,114	2,5	0,111
	2017	0,475	0,172	0,145*[e]	0,124	0,129*[d,e]	0,072	0,945	0,465	1,091	0,911	3,0	0,069
	2018	0,145	0,052	0,028*[c,e]	0,029	0,199	0,163	0,132	0,070	0,184	0,011	2,0	0,157
	2019	3,137*[b-e]	2,483	0,111	0,048	0,277	0,169	0,181	0,086	0,296	0,064	**3,8**	**0,036**
Cyanobacteria	Средняя	0,003*[b,c]	0,007	0,049	0,075	0,056*[d]	0,096	0,006	0,007	0,016	0,018	**2,7**	**0,040**
	2016	0,000*[b]	0,000	0,144*[c-e]	0,100	0,026	0,012	0,003	0,002	0,017	0,024	**5,1**	**0,017**
	2017	0,000*[e]	0,000	0,001*[e]	0,001	0,000*[e]	0,001	0,005*[e]	0,003	0,036	0,014	**20,2**	**0,000**
	2018	0,000	0,000	0,002	0,001	0,067	0,112	0,002	0,002	0,004	0,003	1,1	0,387
	2019	0,011*[c]	0,011	0,050	0,014	0,129*[e]	0,156	0,012	0,012	0,007	0,007	1,8	0,190
Chlorophyta	Средняя	0,054*[b]	0,049	0,140*[d,e]	0,159	0,089	0,089	0,022	0,020	0,038	0,051	**3,5**	**0,013**
	2016	0,097	0,066	0,182*[d,e]	0,128	0,122	0,064	0,024	0,021	0,023	0,002	2,3	0,129
	2017	0,032	0,018	0,035	0,022	0,001*[e]	0,000	0,039	0,025	0,082	0,092	1,4	0,305
	2018	0,036	0,026	0,018	0,011	0,071	0,078	0,006	0,008	0,027	0,042	1,1	0,404
	2019	0,052*[b]	0,054	0,325*[d,e]	0,171	0,161	0,107	0,020	0,016	0,021	0,013	**6,3**	**0,007**
Cryptophyta	Средняя	0,007*[b,c]	0,007	0,536*[c-e]	0,471	0,194	0,184	0,081	0,061	0,162	0,159	**9,8**	**0,000**
	2016	0,006*[b,c]	0,005	1,154*[c-e]	0,253	0,265	0,172	0,056	0,008	0,110	0,044	**36,1**	**0,000**
	2017	0,003*[b,e]	0,002	0,560*[c,d]	0,393	0,036	0,025	0,162	0,063	0,362	0,227	**4,6**	**0,020**
	2018	0,003*[b]	0,002	0,347*[c-e]	0,246	0,077	0,017	0,050	0,029	0,089	0,021	**5,1**	**0,014**
	2019	0,014*[c]	0,011	0,085*[c]	0,075	0,399*[d,e]	0,166	0,049	0,017	0,088	0,076	**10,5**	**0,001**
Dinophyta	Средняя	0,003*[e]	0,014	0,112	0,311	0,028	0,096	0,057	0,133	0,144	0,191	1,5	0,215
	2016	0,000*[e]	0,000	0,082	0,041	0,000*[e]	0,000	0,009*[e]	0,013	0,247	0,216	**3,5**	**0,049**
	2017	0,000	0,000	0,364	0,631	0,110	0,191	0,203	0,209	0,329	0,154	0,9	0,519
	2018	0,014	0,028	0,004	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,6	0,662
	2019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	–	–
Euglenophyta	Средняя	0,008*[b]	0,017	0,060*[d,e]	0,083	0,029	0,044	0,003	0,010	0,000	0,000	**4,3**	**0,004**
	2016	0,002*[b,c]	0,003	0,183*[c-e]	0,063	0,070	0,062	0,001	0,001	0,000	0,000	**12,1**	**0,001**
	2017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	0,053	0,011	0,020	0,000	0,000	0,9	0,472
	2018	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	1,0	0,444
	2019	0,032*[d,e]	0,023	0,058*[c-e]	0,024	0,012	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	**7,0**	**0,005**
Streptophyta	Средняя	0,012	0,019	0,014	0,023	0,029	0,041	0,027	0,056	0,037	0,050	1,0	0,417
	2016	0,003*[b,c]	0,006	0,049*[d]	0,019	0,055*[d,e]	0,033	0,008	0,008	0,018	0,018	**4,9**	**0,019**
	2017	0,014	0,027	0,002	0,003	0,044	0,074	0,071	0,105	0,055	0,049	0,7	0,601
	2018	0,002	0,005	0,000	0,000	0,008	0,003	0,020	0,016	0,066	0,087	1,6	0,243
	2019	0,028*[b,d]	0,021	0,003	0,003	0,008	0,006	0,002	0,002	0,009	0,014	2,3	0,125

Группа	Год	I[a]		II[b]		III[c]		IV[d]		V[e]		*F*	*p*
		m	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*	*m*	*SD*		
Chrysophyta	Средняя	0,001*[b]	0,001	0,004*[c-e]	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	**4,8**	**0,002**
	2016	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,2	0,361
	2017	0,000	0,001	0,005	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,1	0,413
	2018	0,001	0,001	0,003	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,0	0,463
	2019	0,001*[b]	0,002	0,009*[c-e]	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	**3,7**	**0,037**
Xanthophyta	Средняя	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,8	0,543
	2016	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,6	0,664
	2017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	1,1	0,397
	2018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	–	–
	2019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	1,1	0,397

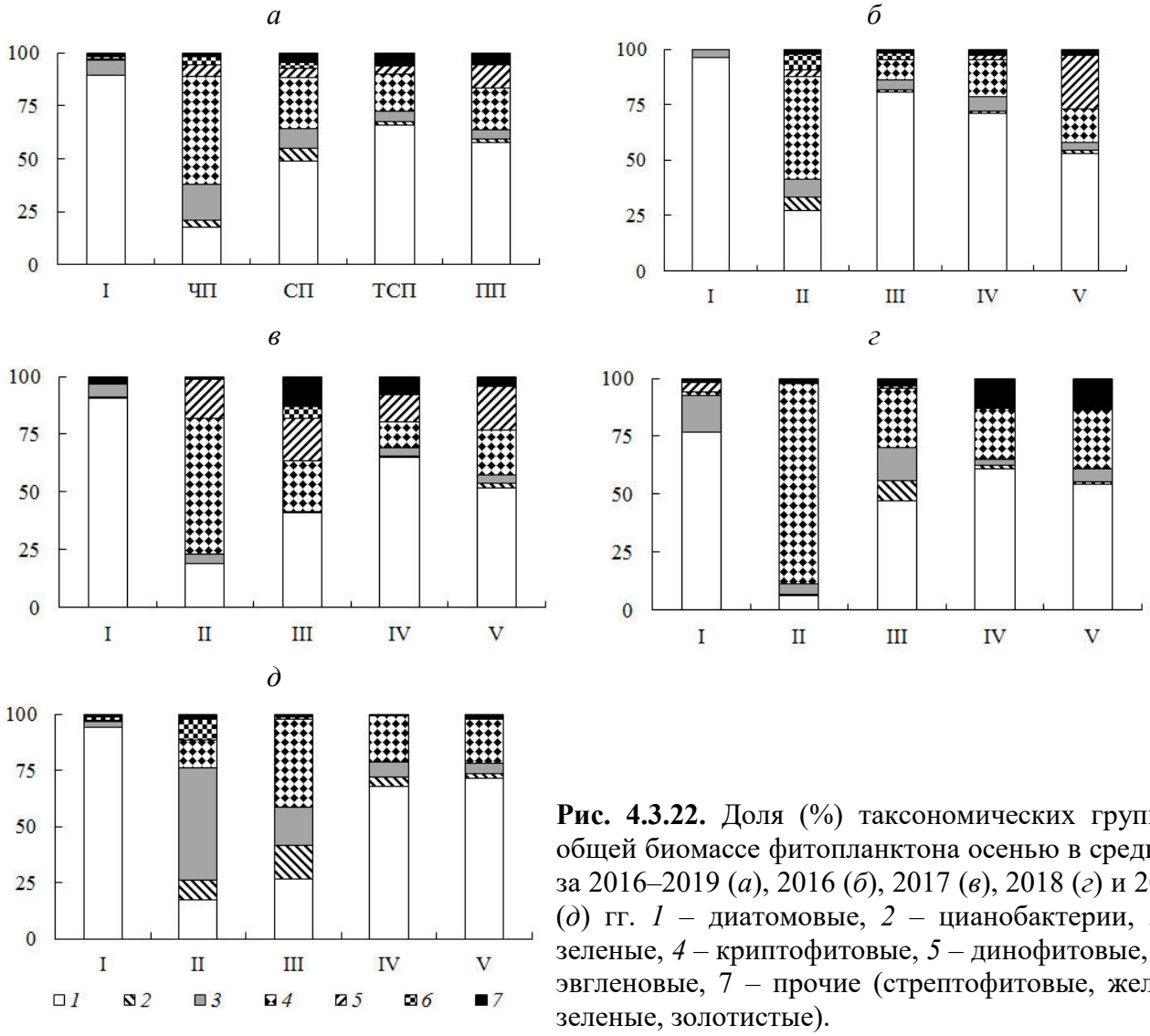

Рис. 4.3.22. Доля (%) таксономических групп в общей биомассе фитопланктона осенью в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг. *1* – диатомовые, *2* – цианобактерии, *3* – зеленые, *4* – криптофитовые, *5* – динофитовые, *6* – эвгленовые, 7 – прочие (стрептофитовые, желто-зеленые, золотистые).

Одновременно в СП обнаружена максимальная доля в общей биомассе эвгленовых и стрептофитовых водорослей, в ПП – цианобактерий. В реке доминировала *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii*, в ЧП – представители динофитовых и криптофитовых водорослей – *Peridinium cinctum*, *Ceratium hirundinella*, *Cryptomonas curvata*, в СП – *Peridinium cinctum*, *Aulacoseira granulata* и *Cosmarium* sp.3, в ТСП – *Aulacoseira granulata* и *Diplopsalis acuta*, в ПП кроме последних отмечен также *Cryptomonas curvata*. Наибольшее сходство доминирующих и субдоминирующих по биомассе видов ФП обнаружено между ТСП и ПП, СП и ТСП, а между сообществом реки и плесами водохранилища сходство отсутствовало (табл. 4.3.25). Наибольшим средним уровнем сходства со всеми участками характеризовалось сообщество ПП и СП.

В 2018 г. по продольному профилю исследованной акватории статистически значимых различий биомассы ФП не зарегистрировано (рис. 4.3.21*г*), лишь в ЧП обнаружены ми-

нимальная биомасса диатомовых и максимальная – криптофитовых (табл. 4.3.24). В ЧП основу биомассы составляли криптофитовые водоросли, на остальных участках – диатомовые, в СП отмечена наибольшая доля цианобактерий и зеленых водорослей, в ТСП и ПП – стрептофитовых (рис. 4.3.22*г*).

Таблица 4.3.25. Индексы сходства доминирующих и субдоминирующих по биомассе видов фитопланктона участков исследованной акватории осенью

Участок	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
		2016 г. 14,9			
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	15,8	–	–	–
ТСП	15,4	11,2	36,5	–	–
ПП	0,0	11,2	26,3	32,3	–
Среднее	3,9	9,6	19,7	23,9	17,5
		2017 г. 20,3			
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	26,1	–	–	–
ТСП	0,0	10,6	37,3	–	–
ПП	0,0	27,2	48,5	53,3	–
Среднее	0,0	16,0	28,0	25,3	32,3
		2018 г. 12,9			
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	10,2	–	–	–
ТСП	0,0	14,7	26,9	–	–
ПП	0,0	10,6	25,6	41,2	–
Среднее	0,0	8,9	15,7	20,7	19,4
		2019 г. 11,0			
ЧП	0,0	–	–	–	–
СП	0,0	14,9	–	–	–
ТСП	0,0	6,1	12,3	–	–
ПП	0,0	6,1	31,4	39,3	–
Среднее	0,0	6,8	14,7	14,4	19,2

В реке доминировали *Fragilaria capucina*, *Gyrosigma kützingii*, в ЧП среди доминантов обнаружены представители р. *Cryptomonas*, в СП помимо *Stephanodiscus neoastraea*, *Pediastrum simplex* и *Cryptomonas ovata*, среди доминантов отмечены цианобактерии *Microcystis aeruginosa*, в ТСП и ПП – *Stephanodiscus neoastraea*, *S. hantzschii*, а также *Cryptomonas ovata* (ТСП), *Cosmarium* sp.2 и *Cryptomonas curvata* (ПП). Максимальное сходство преобладающих по биомассе видов ФП в 2018 г. обнаружено между ТСП и ПП, а между сообществом реки и плесами водохранилища сходство отсутствовало (табл. 4.3.25). Наибольшим средним уровнем сходства со всеми участками характеризовалось сообщество ПП и ТСП.

В 2019 г. биомасса ФП в реке была выше, чем в ЧП (p = 0,023), СП (p = 0,043), ТСП (p = 0,011) и ПП (p = 0,015) (рис. 4.3.21*д*). При этом ФП реки отличался максимальной биомассой диатомовых и стрептофитовых водорослей, ЧП – зеленых, эвгленовых и золотистых во-

дорослей, СП – цианобактерий и криптофитовых (табл. 4.3.24). В реке, ТСП и ПП наибольшую долю в общей биомассе ФП составляли диатомовые водоросли, в ЧП – зеленые, в СП – криптофитовые (рис. 4.3.22*д*). В реке доминировал *Stephanodiscus hantzschii*, в ЧП доминантов не зарегистрировано, в остальных плесах водохранилища доминировали *Stephanodiscus neoastraea*, а также *Cryptomonas curvata* (СП и ПП). Наибольшее сходство лидирующих по биомассе видов ФП обнаружено между ТСП и ПП, а между сообществом реки и плесами водохранилища сходство отсутствовало (табл. 4.3.25). Наибольшим средним уровнем сходства со всеми участками характеризовалось сообщество ПП и ТСП.

В реке в среднем за все время изучения и в 2017 г. величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, была меньше, чем в ЧП (соответственно p = 0,002 и 0,008), СП (p = 0,038 (2017 г.)), ТСП (p = 0,021 и 0,032) и ПП (p = 0,022 и 0,003) (рис. 4.3.19*а*, *в*). В 2016 и 2018 гг. статистически значимые различия значений индекса отсутствовали, хотя в 2016 г. наименьшая величина зарегистрирована в СП, наибольшая – в ЧП, а в 2018 г. – соответственно в ЧП и ТСП (рис. 4.3.19*б*, *г*). В 2019 г. минимальная величина индекса отмечена также в реке (по сравнению со всеми плесами p = 0,000), максимальная – в ЧП (по сравнению с остальными плесами p = 0,043–0,000), а по продольному профилю водохранилища наблюдалось снижение его значений, причем в СП он был статистически значимо больше, чем в ТСП и ПП (p = 0,040 и 0,003) (рис. 4.3.19*д*).

В среднем за 2016–2019 гг., а также в 2016 и 2018 гг. биомасса миксотрофных таксонов в ЧП статистически значимо превышала их биомассу на других участках, в 2017 г. была больше, чем в реке и СП, и только в 2019 г. максимальной величиной отличался СП (рис. 4.3.20*а–д*).

В среднем за период изучения, а также в 2016 и 2019 гг. максимальная СИМ зарегистрирована в реке, в водохранилище статистически значимых различий не обнаружено (рис. 4.3.23*а*, *б*, *д*). В 2017 г. наибольшие значения обнаружены в СП и в реке, они статистически значимо превышали величину в ПП (p = 0,047 и 0,015) (рис. 4.3.23*в*). В 2018 г. СИМ в ЧП была больше, чем в реке (p = 0,042), СП (p = 0,012) и ТСП (p = 0,009) (рис. 4.3.23*г*).

По величине индекса сапробности все исследованные участки характеризовались β-мезосапробными условиями, лишь в 2019 г. воды реки соответствовали α-мезосапробному статусу (табл. 4.3.26). В среднем за исследованный период, а также в 2019 г., максимальное

значение индекса обнаружено в реке, а в пределах водохранилища – в СП и ТСП. В отдельные годы распределение значений индекса несколько различалось. Так, в 2016 г. наибольшие величины отмечены в СП и ТСП, в 2018 г. – в ЧП–ТСП, а в 2017 г. – в ТСП и ПП.

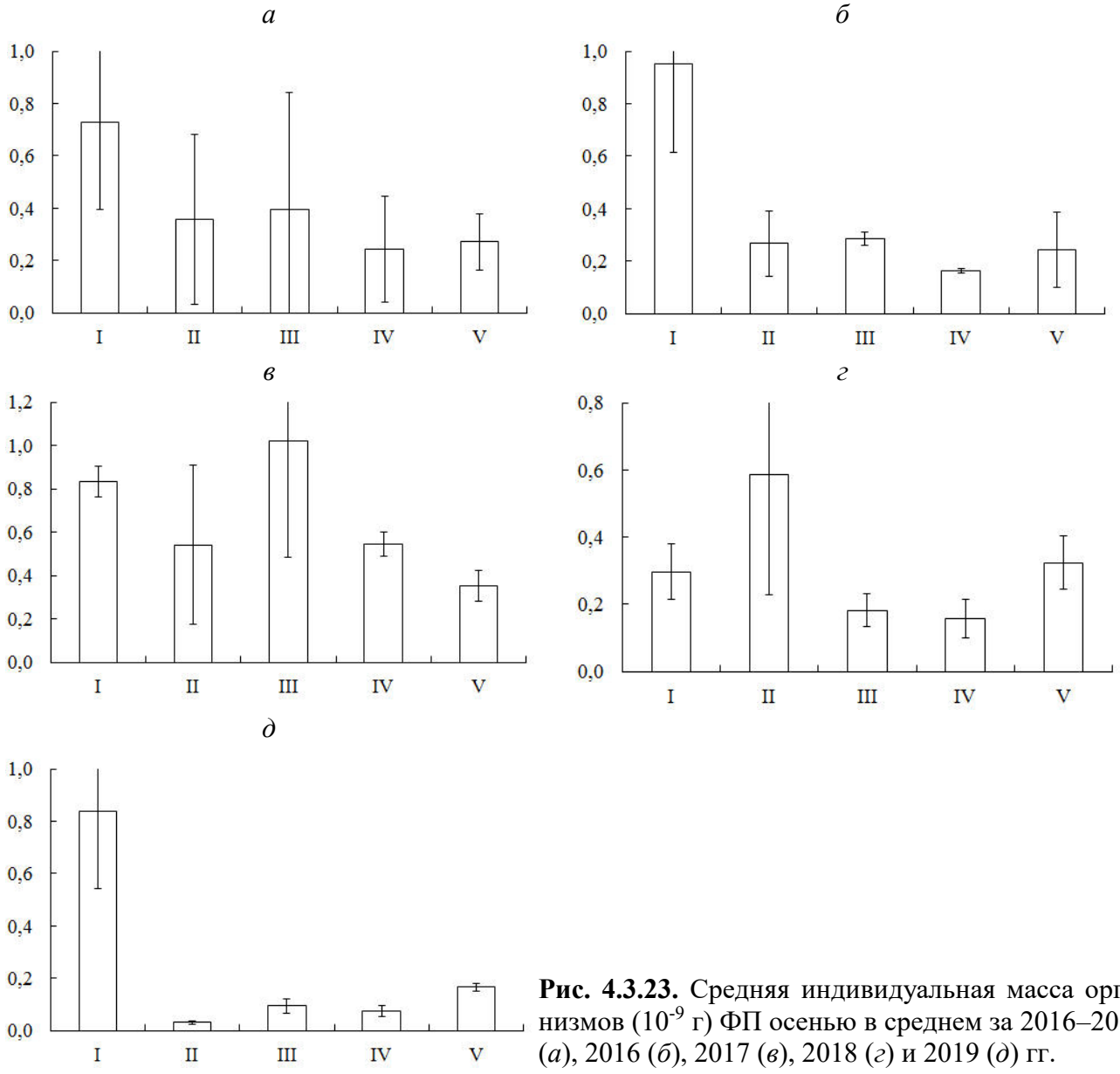

Рис. 4.3.23. Средняя индивидуальная масса организмов (10^{-9} г) ФП осенью в среднем за 2016–2019 (*а*), 2016 (*б*), 2017 (*в*), 2018 (*г*) и 2019 (*д*) гг.

Таблица 4.3.26. Изменения величин индекса сапробности по продольному профилю исследованной акватории в разные годы

Годы	Река	ЧП	СП	ТСП	ПП
2016–2019	2,19±0,30	1,96±0,14	2,07±0,20	2,05±0,27	1,97±0,20
2016	2,24±0,06	2,00±0,19	2,28±0,14	2,27±0,00	2,04±0,15
2017	2,01±0,02	1,83±0,03	1,93±0,29	2,27±0,06	2,14±0,12
2018	1,89±0,20	2,05±0,16	2,07±0,07	2,03±0,01	1,98±0,20
2019	2,61±0,07	1,97±0,06	2,00±0,13	1,71±0,23	1,73±0,08

Также наблюдались изменения трофического статуса участков по продольному профилю изученной акватории. Так, в 2016 г. наиболее высокий статус отмечен на участке река

– СП, в 2017 г. – в ЧП, ТСП и ПП, в 2019 г. – в реке и СП, а в 2018 г. различия отсутствовали (табл. 4.3.27).

Таблица 4.3.27. Изменения трофического статуса по продольному профилю исследованной акватории в разные годы

Год	Река	ЧП	СП	ТСП	ПП
по: Жукинский и др., 1976					
2016	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*α*-мезо-	*α*-мезо-
2017	*α*-мезо-	*β*-мезо-	*α*-мезо-	*β*-мезо-	*β*-мезо-
2018	*α*-мезо-	*α*-мезо-	*α*-мезо-	*α*-мезо-	*α*-мезо-
2019	*β*-мезо-	*α*-мезо-	*α*-мезо- – *β*-мезо-	*α*-мезо-	*α*-мезо-
по: Китаев, 2007					
2016	*β*-мезо-	*β*-мезо-	*β*-мезо-	ультраолиго-	ультраолиго-
2017	олиго-	*α*-мезо-	ультраолиго-	*α*-мезо-	*α*-мезо-
2018	ультраолиго-	ультраолиго-	ультраолиго-	ультраолиго-	ультраолиго-
2019	*β*-мезо-	олиго-	олиго – *α*-мезо-	ультраолиго-	ультраолиго-

Заключение к разделу 4.3.

Результаты изучения свидетельствуют о том, что колебания гидрологических и метеорологических параметров осенью также вызывали специфичные изменения количественных характеристик ФП на исследованных участках акватории. Максимальным количеством статистически достоверных изменений показателей ФП характеризовался ЧП (31), в СП, реке и ТСП их было меньше (соответственно 20, 19 и 11), минимальное число зарегистрировано в ПП – 4. Следовательно, осенью наиболее стабильными условиями формирования ФП отличался плес, характеризующийся максимальной глубиной и мало выраженной литоральной зоной, а наименее стабильными – верхний из исследованных плесов – Чапаевский, который отличался минимальными глубинами.

В реке богатый ФП формировался в 2016 и 2019 гг., которые характеризовались наибольшими и наименьшими среднесуточными температурами воздуха, и объемами притока, а также максимальными показателями ряда гидрохимических параметров воды. Именно в эти периоды зарегистрированы максимальные общие численность и биомасса ФП, биомасса диатомовых водорослей, индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе. Одновременно обнаружены и различия: ФП в 2016 г. отличался наибольшим удельным видовым богатством диатомовых и зеленых водорослей, максимальной численностью миксотрофных организмов и средней индивидуальной массой, а в 2019 г. – максимальным удельным видовым богатством эвгленовых водорослей и цианобактерий, биомассой цианобактерий, криптофитовых и эвгленовых, миксотрофных организмов, а также минимальным индексом Шеннона, рассчитанным по численности. Следовательно, наиболее трофные условия формировались при снижении объема притока и температуры воздуха, увеличении концентрации органических веществ, железа и аммония в 2019 г., о чем, помимо высоких количественных показателей, наибольшей представленности цианобактерий, снижения индекса Шеннона, также свидетельствует величина индекса сапробности, которая характеризовала α-мезосапробные условия, тогда как в остальное время его величины соответствовали β-мезосапробным водам. При этом и в 2016, и в 2019 гг. среди доминирующих по численности и биомассе видов зарегистрирован вид-индикатор α-мезосапробных и высокотрофных вод – *Stephanodiscus hantzschii* (Трифонова, 1990;

Hutchinson, 1967), максимальная доля которого отмечена в 2019 г. (65,7% от общей численности и 78,4% – биомассы, в то время как в 2016 г. – 21,6 и 23,3% соответственно).

В верхнем из исследованных плесов наиболее богатый ФП также формировался в сильно различающихся условиях 2016 и 2019 гг. В эти годы ФП характеризовался максимальным удельным видовым богатством за счет цианобактерий и зеленых водорослей. Наибольшая численность зарегистрирована в 2019 г. за счет цианобактерий и зеленых, а биомасса – в 2016 г. за счет диатомовых, цианобактерий, криптофитовых, эвгленовых и стрептофитовых. Кроме этого, в 2016 г. обнаружена максимальная биомасса миксотрофных организмов, а в 2019 г. – минимальная, как и средняя индивидуальная масса. Сложившаяся ситуация свидетельствует о том, что ведущую роль в формировании биомассы ФП плеса играют объем притока, температура воздуха и воды, что наблюдалось в 2016 г. При снижении уровня воды в 2019 г., очевидно, благодаря поступлению в воду биогенных веществ из донных отложений, ФП отличался максимальной численностью за счет мелкоклеточных цианобактерий и зеленых водорослей.

В СП наибольшие количественные характеристики ФП также обнаружены в 2016 и 2019 гг. В эти годы сообщество характеризовалось максимальным удельным видовым богатством и численностью за счет цианобактерий и зеленых водорослей, а также биомассой миксотрофных таксонов. Наибольшая биомасса ФП за счет диатомовых водорослей обнаружена в 2016 г., равно как и величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности, и значение индекса сапробности. В 2019 г. ФП отличался максимальной долей цианобактерий, зеленых и криптофитовых водорослей в общей биомассе, индексом Шеннона, рассчитанным по биомассе, а также минимальной средней индивидуальной массой. Кроме этого, отмечено сокращение числа доминирующих видов (с 3–4-х в 2017 и 2018 гг. до 2-х), а в их составе в 2016 г. максимальную долю составляла *Aulacoseira granulata*, выступающая показателем эвтрофных условий (Lund, 1962 по: Трифонова, 1990; Hutchinson, 1967).

В ТСП значительная часть изменений характеристик ФП фиксировалась лишь на уровне тенденций, однако по ряду признаков значительно выделялось сообщество, развивающееся при максимальном количестве атмосферных осадков, уровне воды и объеме сброса в 2017 г. В этих условиях отмечена наибольшая биомасса ФП за счет диатомовых и криптофи-

товых водорослей, численность этих таксономических групп, численность и биомасса миксотрофных таксонов, средняя индивидуальная масса, а также минимальный индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, а среди доминирующих видов максимальную долю составлял вид-индикатор высокотрофных вод – *A. granulata*.

В ПП богатый ФП также формировался в условиях максимального количества атмосферных осадков, уровня воды и объема сброса в 2017 г., и отличался наибольшим удельным видовым богатством за счет цианобактерий и стрептофитовых водорослей, численностью за счет диатомовых и цианобактерий, биомассой за счет криптофитовых, цианобактерий, диатомовых и динофитовых, средней индивидуальной массой, биомассой миксотрофных таксонов, а также наибольшей долей среди доминирующих видов *A. granulata*.

Таким образом, наиболее трофные условия в р. Урал, верховье водохранилища (ЧП) и его среднем участке (СП) формировались в практически диаметрально противоположных условиях: как при максимальной, так и минимальной сумме атмосферных осадков, уровне воды, объемах притока и сброса, концентрации органических и биогенных веществ. Наибольшие сумма атмосферных осадков, уровень воды, объемы притока и сброса способствовали увеличению биомассы ФП, причем, в реке и ЧП за счет диатомовых водорослей, цианобактерий, криптофитовых, эвгленовых и стрептофитовых, а в СП – за счет диатомовых. В это время ФП, как правило, отличался наибольшей биомассой миксотрофных организмов, индексом Шеннона, рассчитанным по биомассе и средней индивидуальной массой. При максимальном снижении уровня воды благодаря поступлению в воду биогенных веществ из донных отложений до максимума возрастала численность ФП, как правило, за счет мелкоклеточных цианобактерий и зеленых водорослей, снижалась биомасса миксотрофных организмов и средняя индивидуальная масса. В наиболее удаленных от границ переменного подпора, наибольшем по площади (ТСП) и глубине (ПП) плесах водохранилища формирование наиболее трофных условий наблюдалось при максимальных значениях суммы атмосферных осадков, объемов притока и сброса, что обеспечивало наиболее активное проникновение биогенных и органических веществ, поступающих с речными водами и с водосбора. Фитопланктон в этих условиях отличался наибольшими количественными характеристиками, биомассой миксотрофных таксонов, средней индивидуальной массой.

О ведущей роли суммы атмосферных осадков и зависимых от нее гидрологических и гидрохимических параметров воды в формировании численности и биомассы фитопланктона плесов водохранилища свидетельствуют регрессионные модели, которые объясняют от 73,2 до 96,5% их вариаций (табл. 4.3.28).

Таблица 4.3.28. Регрессионные модели зависимости численности и биомассы фитопланктона от факторов среды на разнотипных участках акватории осенью

Участок	Уравнение регрессии	F	R^2, %	p
Р	N = -1,0838 + 1,4626 *ПО* - 41,9904 *Fe*	9,4	46,9	0,001
	B = -11,0448 + 1,0275 *ПО* + 753,7841 *N-NO*$_2$	8,5	44,1	0,002
ЧП	N = 30,5594 - 18,9250 *Прозрачн.*	106,3	87,5	0,000
	B = -1,84843 + 0,01737 *Приток*	64,3	89,4	0,000
СП	N = -31,8624 + 1,0193 *ХПК* + 95,1815 *P-PO*$_4$	43,4	84,9	0,000
	B = -67,1038 + 0,4781 *ХПК* + 4,0619 $T_{возд.}$ – 0,0832 *Приток*	64,4	92,7	0,000
ТСП	N = 11,64213 - 1,11840*БПК*$_5$ - 0,10728*Сброс* – 1,44163*ПО* + 0,19493*Цветн.*	11,8	75,5	0,000
	B = 27,57036 - 0,01623*Осадки* - 0,66032*ХПК* + 1,01888*Прозрачн.* - 1,52860*БПК*$_5$ - 0,41480$T_{возд.}$	78,0	96,5	0,000
ПП	N = 21,1749 - 5,6449*Прозрачн.* - 13,7966*N-NH*$_4$ – 0,1474*Цветн.*	21,8	80,7	0,000
	B = 6,56156 - 2,05631*Прозрачн.*	42,0	73,2	0,000

Особенности развития ФП в реке и плесах в разные годы, зависимые от гидрологического режима, поступления и аккумуляции веществ, определяли распределение сообществ по продольному профилю исследованной акватории. Однако при разных гидрологических и метеорологических условиях наиболее часто удельное видовое богатство и численность ФП регистрировались в ЧП и СП, где, очевидно, аккумулировалось наибольшее количество веществ, о чем свидетельствуют данные по концентрации Р-PO_4. Необходимо указать, что при этом наибольшей плотностью отличались цианобактерии, а также зеленые, криптофитовые, эвгленовые и золотистые водоросли.

Несколько отличалось распределение биомассы ФП по продольному профилю исследованной акватории. Так, в условиях наибольшей температуры воздуха и объема притока в 2016 г. максимальные значения биомассы отмечены на участке от реки до СП за счет диатомовых водорослей, а при минимальном уровне водохранилища, объемах притока и сброса в 2019 г. – в реке за счет диатомовых и стрептофитовых водорослей. Очевидно, что в 2016 г. наибольший объем притока в течение вегетационного периода способствовал проникновению, максимальной аккумуляции веществ и их вовлечению в круговорот на участке до СП. В 2019 г. при наименьшем объеме притока в водохранилище поступало минимальное количе-

ство веществ, о чем свидетельствует снижение или незначительное увеличение ряда химических показателей воды в верхних плесах водохранилища, в отличие от ситуации в другие годы. Отсутствие аналогичного распределения ФП осенью 2018 г. мы связываем с минимальной за все время наблюдения температурой воды в реке, которая препятствовала массовому развитию цианобактерий и водорослей. Однако наиболее специфичное распределение ФП зарегистрировано в 2017 г., когда наибольшие удельное видовое богатство, численность и биомасса регистрировались в ПП, причем, численность была выше за счет цианобактерий, диатомовых, криптофитовых, биомасса – диатомовых, зеленых и криптофитовых водорослей. При этом, ФП отличался максимальной биомассой миксотрофных таксонов и минимальной индивидуальной массой. Мы полагаем, что формированию благоприятных для развития ФП условий в ПП способствовало оптимальное сочетание объемов притока и наибольших объемов сброса в весенне-летний период на фоне максимальной суммы атмосферных осадков, о чем свидетельствует наименьшее снижение цветности воды и ПО вниз по продольному профилю исследованной акватории.

Изменения сапробности по продольному профилю также имели свои межгодовые особенности. Так, ежегодно максимальные значения отмечались в ТСП, однако в 2016 г. зона наибольшей сапробности захватывала также речной участок, а в пределах водохранилища и СП, в 2018 г. – участок от ЧП до ТСП, в 2019 максимальные значения отмечены в реке, а в 2017 г. эта зона формировалась в двух нижних плесах.

Нужно отметить, что значительный ряд показателей указывает на то, что каждый из исследованных участков характеризовался специфичными условиями среды и сообществами ФП. Об этом свидетельствует и низкий уровень сходства доминирующих и субдоминирующих видов. Максимальным сходством преобладающих по численности видов в 2016 и 2017 гг. характеризовались сообщества ТСП и ПП, в 2018 г.– также СП и ТСП, а в 2019 г. наибольшее сходство наблюдалось между сообществами ЧП–ТСП. Следовательно, в условиях наибольшего объема притока и сброса, а также количества атмосферных осадков максимальным сходством лидирующих по численности видов обладали сообщества наиболее стабильных плесов, характеризующихся большей площадью (ТСП) и глубиной (ПП), а при сокращении притока, сброса и суммы осадков зона сходства увеличивалась до трех первых плесов водохранилища.

Наибольшее сходство доминирующих по биомассе видов зарегистрировано между сообществами ТСП и ПП (2016–2019 гг.), а также СП и ПП (2017, 2019 гг.). Между ФП реки и плесов водохранилища сходство лидирующих по численности и биомассе видов практически отсутствовало.

Минимальное среднее сходство преобладающих по численности видов со всеми исследованными участками отмечено для ФП реки, максимальное в 2016 и 2017 гг. – для ТСП и ПП, в 2018 г. – для зоны СП–ПП, а в 2019 г. – ЧП–ТСП. Наименьший средний уровень сходства доминирующих и субдоминирующих по численности видов между всеми участками зарегистрирован в 2018 г. – 12,4%, в 2016 г. среднее сходство было максимальным – 26,4%, в остальные годы он составлял 21,3% (2016 г.) и 20,3% (2019 г.). Уровень среднего сходства преобладающих по биомассе видов каждого участка со всеми остальными в 2016, 2018 и 2019 гг. отличался малыми величинами – 11,1–14,9%, а в условиях максимальных суммы атмосферных осадков, уровня водохранилища и объема сброса в 2017 г. был наибольшим (20,3%) за счет высокого сходства между СП–ТСП–ПП.

Глава 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ИРИКЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Одна из актуальных задач изучения экологии пресноводных экосистем – наблюдения за изменением их трофического статуса, который определяет качество воды и состояние биологических ресурсов всего комплекса гидробионтов, а также качество жизни и здоровье человека. Многочисленные литературные данные свидетельствуют о том, что следствием повышения трофического статуса вод выступает увеличение численности и биомассы ФП (Трифонова, 1990; Охапкин, 1997; Баринова и др., 2000, 2006; Даценко, 2007 и мн. др.). Кроме изменений численности и биомассы ФП на глубину его трансформации указывает смена доминирующих таксономических групп и видов, а также еще ряд показателей сообществ первичных продуцентов. На основе данных, представленных в главах 3 и 4, рассмотрим закономерности межгодовых изменений ФП Ириклинского водохранилища в условиях влияния ведущих факторов среды, среди которых особую роль играют поступление питательных веществ с водосбора, температура, а также уровень воды.

Объемы притока, сброса и сумма атмосферных осадков. Очевидно, характер изменений ФП исследованной акватории определяется еще целым рядом факторов, среди которых большую роль играет поступление веществ с водосбора и с водами питающей реки, что зависит от объема притока, сброса, суммы атмосферных осадков и уровня воды (Даценко, Заславская, 2012; Goncharov et al., 2020). Как мы указывали ранее (см. раздел 2.2), максимальным объемом притока во все сезоны отличался 2016 г., объемом сброса – 2017 г., а наибольшая сумма атмосферных осадков в мае и октябре обнаружена в 2017 г., в июле – в 2019 г., наименьшая в мае – в 2019 г., в июле – в 2016 г., в октябре – в 2018 г.

При максимальном количестве атмосферных осадков весной в реке формировалась наибольшая численность ФП за счет зеленых водорослей и цианобактерий, УВБ за счет диатомовых, зеленых и динофитовых, численность и биомасса миксотрофов, а также снижался до минимальных значений индекс Шеннона, рассчитанный по численности, доминировали *Tetrastrum staurogeniaeforme*, а также индикатор полисапробных вод – *Euglena viridis* (см. раздел 4.1.1). В ТСП в этих условиях зарегистрирована наибольшая биомасса ФП за счет криптофитовых, динофитовых, диатомовых и цианобактерий, численность и биомасса миксотрофных организмов, СИМ и индексы Шеннона (см. раздел 4.1.4). Максимальный объем притока весной в

СП способствовал значительному увеличению численности ФП за счет диатомовых и биомассы за счет эвгленовых, УВБ за счет диатомовых, биомассы миксотрофов, а также повышению СИМ, индексов Шеннона, до минимума снижалось количество доминирующих видов, а среди субдоминантов отмечен индикатор высокотрофных вод *Aulacoseira granulata* (см. раздел 4.1.3).

Летом в ЧП увеличение численности и биомассы ФП за счет цианобактерий, зеленых и эвгленовых водорослей, численности миксотрофных организмов наблюдалось при наибольшем объеме сброса в 2017 г. (см. раздел 4.2.2). В СП в этих условиях также до максимума возросла численность ФП за счет цианобактерий, численность и биомасса миксотрофов, сократилась СИМ (см. раздел 4.2.3). Наибольшая биомасса ФП здесь отмечена при наибольших объемах притока и сброса за счет цианобактерий, криптофитовых (2016 г.), а также динофитовых (2017 г.) водорослей. В ПП увеличение численности ФП за счет цианобактерий и зеленых, биомассы за счет цианобактерий, зеленых и криптофитовых водорослей, биомассы миксотрофов, а также индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, отмечено в год, характеризующийся наибольшим объемом сброса (см. раздел 4.2.5).

Осенью при наибольшей сумме атмосферных осадков и объеме стока в ТСП до максимума возросла биомасса ФП за счет диатомовых и криптофитовых водорослей, СИМ, численность и биомасса миксотрофов, снизился индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, наибольшую долю среди доминирующих видов составила *Aulacoseira granulata* (см. раздел 4.3.4). В ПП в этих условиях обнаружены наибольшие численность и биомасса ФП за счет цианобактерий, зеленых и криптофитовых водорослей при максимальной доле среди доминирующих видов *A. granulata*, УВБ за счет цианобактерий, стрептофитовых и зеленых, СИМ, численность и биомасса миксотрофов, а также минимальный индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе (см. раздел 4.3.5). На остальных участках заметную роль играло увеличение объема притока. Так, в реке в этот год до наибольших значений возросла численность и биомасса ФП за счет диатомовых водорослей, УВБ за счет диатомовых и зеленых, численность миксотрофов (см. раздел 4.3.1). В ЧП максимальной величины достигала биомасса ФП за счет цианобактерий, диатомовых, криптофитовых и эвгленовых водорослей, УВБ за счет динофитовых, эвгленовых и стрептофитовых, СИМ, численность и биомасса миксотрофов, до минимума снизился индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе (см. раздел 4.3.2). В СП также наблюдались мак-

симальные общие численность ФП за счет цианобактерий, зеленых, криптофитовых, динофитовых и стрептофитовых, биомасса за счет диатомовых, УВБ за счет цианобактерий, зеленых и диатомовых, индекс Шеннона, численность и биомасса миксотрофов (см. раздел 4.3.3).

Следовательно, наиболее заметные изменения ФП при увеличении суммы атмосферных осадков и объема притока в мае были характерны для речных вод, а также для ТСП, который связан с двумя реками – Таналык и Суундук, отличающихся наибольшей водностью именно в весенний сезон. Аналогично изменялись количественные характеристики ФП в СП, что мы связываем с максимальной волной проникновения богатых питательными веществами вод р. Урал и обогащением вод плеса биогенными и органическими веществами. Летом трансформация ФП в условиях повышения водности в наибольшей степени проявлялась в ЧП и СП, что определялось поступлением органических и биогенных веществ с водосбора и проникновением вод главной реки в верхний и средний плесы с момента снеготаяния до июля, а также р. Бурля в СП, роль которой была также отмечена ранее (Батурина, 1968, 1970а, б, 1971а, б). В ПП изменениям ФП летом способствовал наибольший объем стока, обеспечивающий увеличение водообмена и проникновение питательных веществ с верхних участков. Осенью в нижних плесах наиболее заметную роль играло увеличение объема сброса и суммы атмосферных осадков, а в реке, ЧП и СП – объема притока. Важно отметить, что осенью в этих условиях трансформация сообществ отмечена на всех исследованных участках, т.е. наблюдались наиболее пространственно-масштабные изменения ФП, чем в другие сезоны. По нашему мнению, это связано с обычным дефицитом атмосферных осадков и притока в летне-осенний период, при которых возможно даже пересыхание основных притоков и увеличение составляющих притока в этот сезон способствует формированию более трофных для ФП условий.

Температура воды. В реке максимальная температура воды весной отмечена в 2017 и 2018 гг., что в 2017 г. могло усиливать эффект от поступления веществ с водосбора при максимальной сумме атмосферных осадков и способствовать повышению численности и биомассы ФП, а в 2018 г. определять увеличение биомассы ФП за счет диатомовых, численности миксотрофов и СИМ, а также снижение индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе (см. раздел 4.1.1). В СП температура воды в 2016–2018 гг. практически не имела различий, а минимальная обнаружена в 2019 г., когда на фоне самого низкого уровня воды отмечены наименьшие УВБ и

численность ФП, индексы Шеннона, СИМ, но максимальная численность миксотрофов (см. раздел 4.1.3). В двух нижних плесах максимум температуры воды зарегистрирован в 2019 г., в это время ФП отличался минимальными индексами Шеннона, рассчитанными по численности (ТСП и ПП), СИМ (ТСП), но статистически значимых изменений количественных показателей не наблюдалось (см. раздел 4.1.4, 4.1.5).

Летом в ЧП при максимальной температуре воды в 2018 г., который одновременно характеризовался средними параметрами уровня воды, объемов притока и сброса, но минимальной суммой осадков, отмечены наиболее существенные изменения ФП: увеличение численности и биомассы за счет цианобактерий, зеленых и эвгленовых водорослей, индекса Шеннона, рассчитанного по численности, численности и биомассы миксотрофов (см. раздел 4.2.2). В СП при максимальной температуре воды в 2016 г. обнаружена наибольшая биомасса ФП за счет цианобактерий и криптофитовых водорослей (см. раздел 4.2.3). В ТСП увеличение температуры воды до максимума в 2018 г. вызвало повышение численности динофитовых водорослей, биомассы ФП за счет цианобактерий и динофитовых, УВБ за счет цианобактерий, диатомовых, зеленых и динофитовых, биомассы миксотрофов, а также индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе (см. раздел 4.2.4).

Осенью в реке наибольшая температура воды отмечена в 2019 и 2017 гг. В 2019 г., сентябрь которого отличался высокой суммой осадков, увеличилась численность и биомасса ФП за счет цианобактерий, криптофитовых и зеленых водорослей, биомасса миксотрофов, УВБ за счет эвгленовых и цианобактерий, а также снизился индекс Шеннона, рассчитанный по численности (см. раздел 4.3.1). В 2017 г. в реке до минимальных значений сократился индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, но стимуляции количественного развития ФП не наблюдалось, что, очевидно, было связано с увеличением расходов воды, о чем свидетельствуют данные по объему притока. В ЧП в условиях наибольшей температуры воды и одновременно максимального объема притока (2016 г.), как мы указывали выше, отмечена самая высокая биомасса ФП за счет цианобактерий, диатомовых, криптофитовых и эвгленовых водорослей, УВБ за счет цианобактерий, зеленых, динофитовых, эвгленовых и стрептофитовых, численность и биомасса миксотрофов (см. раздел 4.3.2). В СП максимальная температура воды также зарегистрирована в 2016 г. и в условиях максимального объема притока ФП характеризовался наибольшей числен-

ностью за счет цианобактерий, зеленых, криптофитовых, диатомовых, стрептофитовых, биомассой за счет диатомовых, УВБ за счет цианобактерий, зеленых и диатомовых, численностью и биомассой миксотрофов, индексом Шеннона, рассчитанным по численности (см. раздел 4.3.3). В ТСП максимальная температура воды была в 2016 г., однако при этом не обнаружено увеличения численности и биомассы ФП, но до минимума снизился индекс Шеннона, рассчитанный по численности, а также наблюдалась тенденция увеличения УВБ (см. раздел 4.3.4). В ПП при наибольшей температуре воды в 2018 г. отмечена лишь тенденция увеличения индексов Шеннона, а также снижения численности и биомассы миксотрофов (см. раздел 4.3.5).

Полученные результаты показали, что повышение только температуры воды лишь в ряде случаев оказывало стимулирующий эффект на количественное развитие ФП: весной и осенью в реке, а летом – в ЧП, СП и ТСП. В ряде случаев стимуляция ФП наблюдалась при совместном влиянии повышения температуры воды и увеличении объема притока (в СП летом, ЧП и СП осенью), что приводило к более специфичной и глубокой перестройке ФП. Так, летом в СП при совместном влиянии наибольшая биомасса ФП формировалась за счет цианобактерий и криптофитовых водорослей, а только при увеличении суммы атмосферных осадков – за счет динофитовых. Возрастание биомассы ФП за счет цианобактерий, диатомовых, криптофитовых и эвгленовых водорослей обнаружено также в ЧП и СП осенью при комплексном влиянии максимальной температуры воды и объема притока.

Уровень воды. Минимальный уровень воды отмечен в 2019 г. Весной в этих условиях в верхнем плесе (ЧП) зарегистрированы наименьшие численность и биомасса ФП, однако при этом возросло УВБ, численность и биомасса цианобактерий, УВБ золотистых и желтозеленых водорослей, численность миксотрофных таксонов, повысился индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, но уменьшилась СИМ (см. раздел 4.1.2). В СП снижение уровня воды вызвало увеличение численности ФП за счет криптофитовых водорослей и цианобактерий, числа видов цианобактерий, численности миксотрофных организмов, сокращение индекса Шеннона, УВБ и СИМ (см. раздел 4.1.3). В ТСП также возросла численность цианобактерий и зеленых водорослей, до минимальных величин сокращались индекс Шеннона и СИМ (см. раздел 4.1.4). В ПП, где не отмечено изменений количественных характеристик ФП, до минимума снизился индекс Шеннона, рассчитанный по численности, а также возросло УВБ за счет зеленых водорослей (см. раздел 4.1.5).

Летом при минимальном уровне воды статистически значимых изменений численности и биомассы ФП на исследованных участках не зарегистрировано (см. раздел 4.2.1–4.2.5). Однако в ЧП до максимума возросла биомасса миксотрофных организмов; в СП увеличилась СИМ, но снизились индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, и численность миксотрофных организмов; в ТСП увеличилась плотность миксотрофных организмов, индекс Шеннона, рассчитанный по численности, но сократился индекс, рассчитанный по биомассе; в ПП также возрастал индекс Шеннона, рассчитанный по численности, и до минимума сокращались биомасса миксотрофов и СИМ.

Осенью при минимальном уровне воды в ЧП возросли численность ФП за счет мелкоклеточных цианобактерий и зеленых водорослей, индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, УВБ за счет цианобактерий и зеленых водорослей, но снизились СИМ, численность и биомасса миксотрофов (см. раздел 4.3.2). В СП также увеличилась численность ФП за счет цианобактерий, зеленых и криптофитовых водорослей, индекс Шеннона, рассчитанный по численности, биомасса миксотрофов, сократилась СИМ (см. раздел 4.3.3). В ТСП в этих условиях увеличилась численность цианобактерий, уменьшилась СИМ и биомасса миксотрофов, а в ПП также до минимума уменьшилась СИМ, численность и биомасса миксотрофов (см. раздел 4.4.4, 4.3.5).

Как показывают литературные данные (Гончаров, Даценко, 2002; Даценко, 2007; Корнева, 2015), в большинстве водохранилищ обнаружена отрицательная связь между биомассой ФП и уровнем воды, что объясняется изменением внутренней биогенной нагрузки – поступлением биогенных веществ из донных осадков. В Ириклинском водохранилище при снижении уровня лишь весной и осенью увеличивалась численность ФП: в мае – в СП и ТСП, в октябре – в ЧП и СП. Мы полагаем, что в верхнем из исследованных плесов это определялось вовлечением в круговорот биогенных веществ из донных отложений, в среднем плесе – снижением границы переменного подпора и наибольшим проникновением сюда питательных веществ, приносимых речными водами, а также нагрузкой из донных отложений, в ТСП – также увеличением проникновения питательных веществ с речными водами и максимальной за период изучения температурой воды. При снижении уровня воды в ЧП, СП и ТСП в составе ФП возрастало количество цианобактерий, что также свидетельствует о включении в круговорот биогенных и органических веществ из донных отложений. В ПП такой эффект отсутствовал вследствие особенностей

его морфометрии – большие глубины и каньонообразный профиль. При изучении ФП Можайского водохранилища также было показано, что внутренняя нагрузка в результате диффузии биогенов из донных отложений значима только в тех частях водохранилища, которые отличаются мелководностью и более частыми перемешиваниями насыщенных биогенными веществами придонных слоев (Даценко и др., 2017).

Следовательно, характер межгодовых изменений ФП в ряде случаев зависел от влияния одного ведущего фактора, в ряде случаев – от комплекса основных гидрологических и погодных факторов, который оказывал синергический (аддитивный) эффект. Среди категории ведущих факторов основное значение имело поступление веществ с водосбора, что наиболее ярко проявлялось для ФП реки, а также верхнего и среднего плесов водохранилища. Кроме поступления веществ с водосбора, значение имел объем сброса, который особую роль играл в нижних плесах. В условиях сочетания ряда факторов – изменений уровня воды, суммы осадков, объемов притока, сброса и температуры воды – наблюдалось усиление эффекта эвтрофирования – увеличение численности и биомассы ФП за счет цианобактерий, снижение индексов Шеннона, появление в составе доминантов индикаторов высокотрофных вод.

Полученные данные позволяют выявить также ряд особенностей развития ФП Ириклинского водохранилища в условиях межгодовых изменений гидрологических и погодных условий. Ранее при изучении Москворецких и Волжских водохранилищ обнаружена отрицательная связь между биомассой ФП и уровнем воды, что объясняется увеличением внутренней биогенной нагрузки – поступлением биогенных веществ из донных осадков (Гончаров, Даценко, 2002; Даценко, 2007; Корнева, 2015). Однако в Ириклинском водохранилище при снижении уровня воды отмечено лишь увеличение численности ФП за счет цианобактерий и мелкоклеточных зеленых водорослей, причем, только в верхнем и среднем плесах. Следовательно, проявление обратной зависимости количественных характеристик ФП с уровнем воды было ограничено в пространстве и во времени. Пространственные ограничения определялись морфометрическими характеристиками участков, в первую очередь, глубиной – при ее минимальных значениях в верхнем и среднем плесах даже кратковременное перемешивание могло способствовать поступлению биогенных веществ из донных осадков (Даценко, 2007). Во времени проявление обратной зависимости было ограничено лишь весенним и осенним сезонами, что мы связываем с рядом сопутствующих факторов: проявление стимулирующего эффекта весной могло обеспечиваться макси-

мальным объемом притока, который способствовал поступлению питательных веществ с водосбора водами главной реки и притоков в ЧП, СП и ТСП, а осенью – минимальным уровнем воды и минимальными глубинами в верхнем и среднем плесах при одновременном увеличении суммы атмосферных осадков в летне-осенний период (табл. 2.2.2).

В целом, полученные результаты дают возможность заключить, что решающее значение в изменении количественных характеристик ФП Ириклинского водохранилища имело аллогенное поступление питательных веществ, влияние которого усиливалось или ослабевало при колебаниях уровня воды и ее температуры. Ведущая роль аллогенного поступления органических и биогенных веществ также была показана для ряда Москворецких и Волжских водохранилищ (Даценко, 2007; Литвинов и др., 2003; Корнева, 2015; Эдельштейн и др., 2017; Korneva, Mineeva, 1996; Goncharov et al., 2020), а также отмечена ранее для ФП Ириклинского водохранилища (Батурина, 1968, 1970а, б, 1971а, б). По отношению к изменениям ФП при колебаниях уровня воды мы разделяем точку зрения о том, что их направление и характер определяются соотношением биогенных и органических веществ, накопленных в водоеме и поступающих с водосбора. Так, в ходе изучения планктонных сообществ озер Казахстана было показано наличие как отрицательной, так и положительной связи между уровнем воды и количественными характеристиками гидробионтов. Выявлено, что если количество накопленных в водоеме веществ меньше, чем поступающих, то между уровнем воды и количественными характеристиками планктона наблюдается прямая зависимость, если в водоеме накоплено их большее количество, то поступление вод с водосбора приводит к “разбавлению” (Крупа и др., 2013). Следовательно, в Ириклинском водохранилище роль накопленных веществ гораздо меньше, чем роль веществ, поступающих с водосборной площади. Лишь в плесах верхнего участка водохранилища при снижении уровня воды наблюдалась стимуляция ФП, что связано с их минимальными глубинами, близостью к главной реке, благодаря влиянию которой донные осадки могли накапливать максимальное количество органических и биогенных веществ.

О доступности и уровне накопления органических и биогенных веществ косвенно свидетельствует также реакция ФП на повышение температуры воды. Было выявлено, что в большей степени увеличение скорости роста цианобактерий и “цветение” воды наблюдаются в водоемах богатых биогенными и органическими веществами, в меньшей степени – в относительно чистых (Копылов и др., 2019; Brookes, Carey, 2011). Результаты, полученные на Ириклинском

водохранилище, показали, что повышение температуры воды оказывало стимулирующий эффект на количественное развитие ФП за счет цианобактерий летом в ЧП, СП и ТСП. Это мы связываем с максимальным накоплением органических и биогенных веществ благодаря ежегодному поступлению в эти плесы в период половодья наибольшего объема богатых питательными веществами речных вод: в ЧП и СП – р. Урал, в СП – р. Бурля, в ТСП – рек Таналык и Суундук. В ряде случаев увеличение количества органических и биогенных веществ определялось повышением объема притока и суммы атмосферных осадков, что усиливало стимуляцию количественного развития ФП за счет цианобактерий, криптофитовых и эвгленовых водорослей при возрастании температуры воды, как это наблюдалось летом 2016 г. в СП, а также осенью 2016 г. в ЧП и СП.

Как мы видим, ФП отдельных участков по-разному реагировал на изменения условий среды. Наиболее ярко межгодовые различия проявлялись на незарегулированном участке р. Урал, а также в двух плеса верхней части водохранилища – Чапаевском и Софинском, где обнаружено максимальное количество характеристик ФП, которые имели статистически значимые межгодовые вариации: в р. Урал – 34,5–61,8% от общего числа показателей, ЧП – 45,5–56,4%, СП – 29,1–36,4%, в то время как в ТСП – 7,3–21,8%, ПП – 7,3–38,2%. Мы полагаем, что относительная стабильность показателей ФП двух нижних плесов определялась их удаленностью от основной питающей реки, а также особенностями морфометрии – максимальной площадью (ТСП), глубиной и малой площадью литоральной зоны (ПП). Как мы уже отмечали, ведущую роль в формировании количественного развития ФП и его межгодовых вариаций на исследованных участках играло поступление органических и биогенных веществ с водосбора. Однако при этом, в реке и верхних плесах водохранилища в отдельные сезоны ведущая роль принадлежала снижению расходов и уровня воды; в верхнем плесе, ежегодно и ежесезонно отличающемся наибольшей аккумуляцией веществ, в летний сезон значительную роль играла температура воды; в нижних плесах, отличающихся большой площадью и глубиной, была значительна роль объемов сброса.

Поступление питательных веществ и количественное развитие ФП зависят от комплекса погодных условий, определяющих особенности физических и химических характеристик воды. Для выявления связей изменчивости погодных условий и динамики количественных показателей сообществ гидробионтов пресноводных экосистем северной части Европы активно используется индекс Североатлантического колебания (САК) (Straile, Adrian, 2000; Weyhenmeyer et al., 2002). Известно, что при его положительных значениях преобладают сильные западные ветры,

несущие теплый и влажный атлантический воздух в северную часть Европы, благодаря чему зимы мягче, а количество осадков возрастает, а при отрицательных значениях наблюдается похолодание и снижение суммы осадков. Чередование фаз значений САК определяет температуру воды, интенсивность ее перемешивания, особенности ледового режима и термический режим в летний сезон. Для значительной части европейских водоемов выявлена положительная корреляция биомассы планктонных и бентосных сообществ с САК (Adrian et al., 2009; Straile, Adrian, 2000). Для анализа межгодовых изменений ФП с связи с изменением индекса САК мы использовали трансформированные ряды его значений, которые доступны на сайте (National Weather Service …, https://www.weather.gov/) (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Значения индекса САК в годы проведения исследований

Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	0,12	1,58	0,73	0,38	-0,77	-0,43	-1,76	-1,65	0,61	0,41	-0,16	0,48
2017	0,48	1,00	0,74	1,73	-1,91	0,05	1,26	-1,10	-0,61	0,19	-0,00	0,88
2018	1,44	1,58	-0,93	1,24	2,12	1,09	1,39	1,97	1,67	0,93	-0,11	0,61
2019	0,59	0,29	1,23	0,47	-2,62	-1,09	-1,43	-1,17	-0,16	-1,41	0,28	1,20

Анализ показал наличие положительной корреляции между концентрацией одного из важнейших биогенных веществ – $P\text{-}PO_4$ и индексом САК, что особенно ярко на всех исследованных участках акватории проявлялось весной (табл. 5.2). Очевидно, что это связано с притоком большого количества воды, обогащенной питательными веществами, вымываемыми с водосборов. Это также было отмечено для водохранилищ Москворецкой системы, в которые наибольшее количество фосфора поступает с водосбора весной во время весеннего половодья (Даценко, Заславская, 2012; Goncharov et al., 2020). Необходимо отметить, что на рассматриваемых участках Ириклинского водохранилища наибольшие количественные характеристики ФП наблюдались именно весной, что также характерно для менее продуктивных водоемов умеренного пояса, где отмечается только один главный весенний максимум, обусловленный обогащением эвфотической зоны элементами питания за счет внешнего притока (Трифонова, 1990; Goncharov et al., 2020).

Весной при увеличении влияния сильных западных ветров и количества осадков на ряде исследованных участков и в целом на исследованной акватории возрастали численность (ЧП, ПП) и биомасса диатомовых (р. Урал, ЧП, ПП), общая биомасса ФП (р. Урал, ЧП, ПП), СИМ (р. Урал, ЧП, СП, ПП), индекс сапробности (ЧП), но снижалась выравненность сообществ (р. Урал, ЧП) (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Коэффициенты корреляции показателей воды и фитопланктона с индексом САК

Показатель		Весна (САК январь–май)						Лето (САК январь–июль)						Осень (САК январь–октябрь)					
		Р*	ЧП	СП	ТСП	ПП	В	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	В	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	В
Температура воды		**0,62**	-0,36	0,51	-0,07	**-0,65**	-0,36	**0,92**	**0,63**	0,54	0,35	**0,84**	**0,63**	-0,49	0,20	0,39	0,27	**0,78**	0,20
Прозрачность воды		0,29	0,05	-0,14	0,17	-0,31	0,05	0,38	**0,68**	-0,55	**-0,82**	**-0,65**	**0,68**	-0,30	**0,89**	-0,15	0,05	-0,08	**0,89**
Цветность воды		**-0,87**	**0,61**	0,34	0,51	0,50	**0,61**	-0,50	0,13	0,32	0,37	0,22	0,13	1,00	**0,69**	0,32	0,58	**0,60**	**0,69**
O_2		**0,87**	0,39	0,31	0,00	0,27	0,39	-0,50	-0,18	0,52	-0,46	-0,09	-0,18	0,50	-0,20	-0,19	-0,11	0,22	-0,20
ПО		**-0,87**	0,54	0,31	-0,42	0,30	0,54	-0,50	0,50	0,44	0,34	0,36	0,50	-0,50	-0,05	**0,72**	0,32	0,16	-0,05
ХПК		**0,87**	0,42	0,00	-0,32	**0,86**	0,42	-1,00	0,20	0,20	**0,63**	0,11	0,20	0,50	-0,40	**-0,95**	-1,00	-0,11	-0,40
$БПК_5$		1,00	**0,72**	-0,31	**-0,63**	0,31	**0,72**		0,27	**-0,66**	0,26	-0,20	0,27	0,50	**0,80**	0,40	0,51	0,20	**0,80**
$N\text{-}NH_4$		**0,87**	**0,64**	0,31	**0,59**	0,36	**0,64**	-1,00	0,00	0,24	-0,39	**-0,58**	0,00	0,50	-0,49	0,29	0,41	0,42	-0,49
$N\text{-}NO_2$		0,00	0,41	0,31	-0,11	**-0,68**	0,41	-0,50	0,21	**0,59**	-0,36	**-0,83**	0,21	**-0,87**	0,23	0,03	0,51	-0,29	0,23
$N\text{-}NO_3$		0,00	0,36	0,52	0,03	-0,49	0,36	1,00	-0,28	0,46	0,14	0,31	-0,28	-1,00	**0,65**	0,01	-0,14	-0,02	**0,65**
$P\text{-}PO_4$		**0,87**	**0,86**	**0,93**	**0,91**	**0,83**	**0,86**	0,50	-0,29	0,37	**0,88**	**0,69**	-0,29	-0,50	0,15	-0,43	-0,23	0,08	0,15
Si		**-0,87**	0,47	0,31	0,47	0,31	0,47	0,50	0,05	0,55	0,39	0,26	0,05	-1,00	**0,65**	0,25	-0,33	-0,20	**0,65**
Fe		0,00	0,45	**0,63**	-0,31	-0,36	0,45	0,50	**-0,80**	-0,41	0,55	0,25	**-0,80**	0,50	**-0,60**	-0,13	-0,22	**-0,73**	**-0,60**
Числен-	I**	0,41	**0,68**	0,27	0,31	**0,65**	**0,68**	-0,53	-0,41	-0,22	0,35	**-0,58**	-0,41	**-0,65**	**-0,71**	-0,45	0,03	0,19	**-0,71**
ность (N)	II	-0,49	-0,14	**-0,58**	-0,32	0,36	-0,14	0,26	**0,58**	0,39	0,52	-0,32	**0,58**	-0,49	**-0,86**	**-0,74**	**-0,71**	-0,39	**-0,86**
	III	0,00	0,31	-0,51	-0,55	0,03	0,31	0,53	**0,65**	**0,65**	-0,45	-0,13	**0,65**	-0,24	**-0,86**	**-0,76**	-0,26	-0,54	**-0,86**
	IV	0,36	-0,26	**-0,72**	-0,38	0,07	-0,26	-0,41	0,04	0,48	0,03	-0,15	0,04	**-0,59**	-0,13	-0,48	-0,18	0,00	-0,13
	V	-0,49	0,03	-0,46	-0,33	0,02	0,03	0,50	**0,73**	0,29	**0,64**	**0,80**	**0,73**	0,37	0,02	0,13	0,06	0,04	0,02
	VI	-0,23	0,32	0,40	0,34	–	0,32	0,41	**0,58**	0,47	0,40	–	**0,58**	-0,37	**-0,78**	-0,40	-0,02	–	**-0,78**
	VII	0,00	0,41	**-0,68**	-0,41	0,27	0,41	0,24	**0,60**	0,50	0,48	-0,26	**0,60**	-0,41	**-0,97**	**-0,71**	-0,59	-0,28	**-0,97**
Биомасса (В)	I	**0,82**	**0,92**	0,34	0,03	0,31	**0,92**	**-0,71**	**-0,60**	**-0,76**	0,39	-0,50	**-0,60**	**-0,92**	-0,56	-0,45	-0,12	-0,26	-0,56
	II	-0,49	-0,14	-0,44	-0,14	0,40	-0,14	0,23	0,35	0,30	**0,67**	-0,39	0,35	-0,38	**-0,63**	-0,50	-0,41	-0,07	**-0,63**
	III	0,31	0,48	0,34	0,44	0,31	0,48	0,06	**0,82**	**0,71**	0,17	**0,64**	**0,82**	-0,30	**-0,89**	-0,48	-0,33	-0,01	**-0,89**
	IV	0,26	0,28	-0,07	0,00	**0,75**	0,28	-0,09	**0,73**	0,26	0,46	0,13	**0,73**	-0,34	0,22	**-0,76**	0,22	0,22	0,22
	V	-0,49	0,07	-0,57	-0,52	-0,27	0,07	0,44	**0,71**	0,04	**0,65**	**0,63**	**0,71**	0,37	0,02	0,13	0,06	0,07	0,02
	VI	-0,20	0,41	0,31	0,34	–	0,41	0,41	0,45	0,23	0,40	–	0,45	-0,37	**-0,67**	-0,31	-0,02	–	**-0,67**
	VII	**0,72**	**0,89**	0,17	0,03	0,44	**0,89**	**-0,65**	**0,80**	-0,19	0,56	**0,65**	**0,80**	**-0,89**	-0,39	**-0,67**	-0,16	-0,02	-0,39
Индекс сапробности		-0,26	**0,85**	-0,15	-0,14	-0,46	**0,85**	**-0,62**	-0,56	-0,31	-0,52	**-0,74**	-0,56	**-0,73**	0,02	-0,02	0,32	0,45	0,02
H_N		0,15	-0,20	0,36	0,39	0,24	-0,20	-0,06	0,44	0,29	-0,45	-0,13	0,44	0,09	0,22	-0,38	-0,20	0,54	0,22
H_B		**-0,82**	**-0,82**	0,32	-0,03	-0,36	**-0,82**	0,53	0,43	**0,95**	0,22	0,00	0,43	0,18	**-0,93**	-0,37	0,04	0,54	**-0,93**
Миксотрофы	N	0,26	-0,27	**-0,72**	-0,41	0,07	-0,27	-0,33	**0,60**	0,45	0,05	-0,02	**0,60**	**-0,59**	-0,19	-0,48	-0,18	0,00	-0,19
	B	0,00	0,51	-0,17	-0,34	0,38	0,51	0,44	**0,80**	0,06	**0,67**	**0,60**	**0,80**	0,00	0,15	**-0,67**	0,18	0,13	0,15
СИМ		**0,82**	**0,58**	0,44	**0,65**	**0,75**	**0,58**	**-0,65**	0,24	**-0,82**	-0,15	0,52	0,24	**-0,83**	**0,78**	0,39	0,51	**0,60**	**0,78**

Примечание. * Р – р. Урал; ЧП – Чапаевский плес; СП – Софинский плес; ТСП – Таналык-Суундукский плес; ПП – Приплотинный плес; В – исследованная акватория в целом; ** I – Bacillariophyta; II – Cyanophyta; III – Chlorophyta; IV – Cryptophyta; V – Dinophyta; VI – Euglenophyta; VII – всего.

Летом при увеличении индекса САК повышалась численность ФП (ЧП, вся акватория), количество цианобактерий (ЧП, вся акватория), зеленых (ЧП, СП, вся акватория), динофитовых (ЧП, ТСП, ПП, вся акватория), эвгленовых (ЧП, вся акватория). Кроме этого, обнаружена положительная корреляция биомассы ФП (ЧП, ПП, вся акватория), биомассы цианобактерий (ТСП), зеленых (ЧП, СП, ПП, вся акватория), криптофитовых (ЧП, вся акватория), динофитовых (ЧП, ТСП, ПП, вся акватория), а биомасса диатомовых коррелировала отрицательно (р. Урал, ЧП, СП, вся акватория). В реке при увеличении САК обнаружено снижение биомассы ФП. Одновременно в этих условиях в реке и ПП сокращался индекс сапробности, в СП возрастал индекс Шеннона, рассчитанный по численности, в ЧП и ПП – численность миксотрофных организмов, в ЧП, ТСП, ПП и на всей акватории в целом – биомасса миксотрофных организмов, а в реке и СП снижалась СИМ. Осенью при повышении индекса САК сокращалась численность ФП (ЧП, СП, вся акватория), численность диатомовых (река, ЧП, вся акватория), цианобактерий (ЧП, СП, ТСП, вся акватория), зеленых (ЧП, СП, вся акватория), криптофитовых (река), эвгленовых (ЧП, вся акватория), биомасса ФП (река, СП), биомасса диатомовых (река), цианобактерий, зеленых и эвгленовых (ЧП, вся акватория), криптофитовых (СП), индексы сапробности (река), Шеннона (ЧП, вся акватория), СИМ в реке сокращалась, а в ЧП, ПП и на всей акватории в целом – возрастала. Следовательно, изменения ФП при увеличении индекса САК в разные сезоны имели разную направленность: весной и летом отмечены положительные корреляционные связи, осенью – отрицательные, причем, в реке обратная связь фиксировалась уже летом.

Помимо изменений численности и биомассы ФП, а также соотношения таксономических групп первичных продуцентов, о перестройке сообществ в процессе эвтрофирования свидетельствует еще ряд параметров, среди которых наиболее часто используются видовое богатство, УВБ, количественные показатели миксотрофных организмов, индексы Шеннона и сапробности, размерные характеристики. Кратко рассмотрим изменения этих параметров на разных участках и в разные сезоны при увеличении численности и биомассы ФП, а также перестройке соотношения таксономических групп, свидетельствующих об эвтрофировании.

Наиболее яркие межгодовые изменения видового богатства ФП исследованной акватории в целом, а также отдельных участков наблюдались в условиях вариаций ряда погодных и гидрологических условий, определяющих поступление питательных веществ с водосбора. В целом на исследованной акватории, реке, верхнем и средних плесах водохранилища повышение

видового богатства наблюдалось при увеличении суммы атмосферных осадков, объемов притока, температуры воздуха, в двух нижних плесах значительную роль играли изменения объемов сброса, причем, весной и летом – их снижение, осенью – повышение (см. главу 3).

На большинстве участков во все сезоны при формировании наиболее трофных условий и повышении численности и/или биомассы ФП, изменениях соотношения таксономических групп обнаруживалось также его максимальное УВБ. Лишь весной 2019 г. при наибольшей численности ФП в условиях минимального уровня воды в СП оно было наименьшим, хотя возрастало число видов цианобактерий (см. раздел 4.1.3). Очевидно, что закономерность о снижении видового богатства как в очень чистых, так и в очень загрязненных водах (Баринова, 2000; Баринова и др., 2006), справедлива и по отношению к изменениям числа видов в пробе. Следовательно, исследованные участки характеризуются относительно высоким качеством среды обитания, что подтверждает возрастание УВБ при увеличении биогенной и органической нагрузки. Необходимо отметить, что весной положительные коэффициенты корреляции между УВБ и общей численностью и биомассой отмечены на всех исследованных участках, летом – в реке и ЧП, осенью – в реке, ЧП и СП (табл. 5.7–5.9).

Таблица 5.7. Коэффициенты корреляции показателей ФП с его общей численностью и биомассой весной

Показатель	Р		ЧП		СП		ТСП		ПП	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
Число видов	**0,70**	**0,50**	**0,60**	**0,77**	0,20	**0,93**	**0,74**	**0,88**	**0,74**	**0,87**
H_N	**-0,61**	-0,36	-0,28	-0,09	-0,01	**0,77**	0,54	**0,73**	-0,21	-0,03
H_B	0,29	-0,17	-0,35	**-0,84**	-0,05	**0,69**	**0,78**	**0,79**	-0,35	-0,36
N миксотрофов	**0,66**	0,50	0,45	0,06	0,36	-0,42	**0,94**	**0,82**	0,12	-0,10
B миксотрофов	**0,95**	**0,83**	**0,64**	**0,64**	0,50	**0,88**	**0,92**	**0,80**	0,56	**0,82**
Индекс сапробности	**0,68**	0,39	0,34	**0,75**	0,03	0,05	-0,16	-0,45	-0,49	**-0,65**
СИМ	-0,29	0,25	-0,19	**0,53**	-0,03	**0,84**	-0,01	**0,50**	0,32	**0,72**

Таблица 5.8. Коэффициенты корреляции показателей ФП с его общей численностью и биомассой летом

Показатель	Р		ЧП		СП		ТСП		ПП	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
Число видов	**0,62**	**0,70**	**0,72**	0,32	0,57	-0,02	0,48	0,47	0,13	-0,12
H_N	0,11	-0,15	0,49	0,30	0,24	-0,11	-0,56	-0,10	-0,52	-0,36
H_B	-0,27	**-0,78**	**0,59**	0,36	**0,62**	-0,10	**0,59**	-0,19	**0,67**	0,01
N миксотрофов	0,48	0,41	**0,76**	**0,66**	**0,80**	0,48	0,40	0,22	0,24	-0,04
B миксотрофов	**0,52**	**0,51**	**0,83**	**0,94**	**0,76**	**0,78**	0,35	**0,88**	0,15	**0,99**
Индекс сапробности	0,24	**0,72**	-0,20	-0,50	**-0,95**	**-0,71**	0,15	0,03	0,52	-0,57
СИМ	0,26	**0,84**	-0,34	0,33	**-0,72**	0,07	**-0,62**	0,24	**-0,76**	0,41

В ряде случаев при увеличении до максимума численности и биомассы ФП до минимума снижался индекс Шеннона, что наиболее ярко наблюдалось в р. Урал (во все сезоны), а

также весной в ЧП (см. разделы 4.1.1, 4.1.2, 4.2.1, 4.3.1). В ряде случаев, напротив, при формировании более трофных условий и количественно богатых сообществ ФП наблюдалось повышение величин индекса Шеннона (весной – в СП и ТСП, летом – в ЧП, СП, ТСП и ПП, осенью – в ЧП и СП). Как и по отношению к видовому богатству, для индекса Шеннона было показано, что его минимальные величины характерны как для чистых, так и загрязненных вод (Баринова, 2000; Баринова и др., 2006).

Таблица 5.9. Коэффициенты корреляции показателей ФП с его общей численностью и биомассой осенью

Показатель	Р		ЧП		СП		ТСП		ПП	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
Число видов	**0,65**	0,46	**0,76**	0,56	**0,94**	**0,81**	0,35	0,26	0,07	0,27
H_N	-0,33	-0,46	-0,22	0,26	0,51	0,49	-0,01	0,02	-0,18	0,17
H_B	0,05	-0,26	**0,92**	0,20	**0,64**	0,21	0,06	-0,35	-0,37	-0,29
N миксотрофов	0,41	0,44	0,26	**0,80**	**0,85**	**0,75**	0,52	**0,69**	0,56	0,45
B миксотрофов	**0,68**	**0,52**	-0,08	**0,83**	**0,73**	**0,66**	0,43	**0,87**	**0,74**	**0,86**
Индекс сапробности	**0,60**	**0,68**	0,03	-0,30	0,15	0,42	-0,04	0,56	0,35	**0,61**
СИМ	0,31	**0,70**	**-0,73**	0,20	**-0,65**	-0,17	-0,14	0,59	0,18	**0,61**

Одновременно отмечено отсутствие закономерностей изменений индекса Шеннона по мере эвтрофирования озер, т.к. он отражает не столько трофическое состояние, сколько нарушение стабильности в экстремальных условиях (Трифонова, 1990). Мы считаем, что изменения индекса Шеннона связаны с комплексом абиотических и биотических факторов, а направление его изменений в условиях повышения биогенной и органической нагрузки определяется как их концентрацией, так и начальным трофическим статусом водного объекта или его локальных участков. Это справедливо по отношению к участкам исследованной акватории, отличающимся высоким содержанием биогенных и органических веществ. Так, в р. Урал увеличение биогенной и органической нагрузки приводило к снижению значений индекса Шеннона за счет повышения роли одного доминирующего вида: весной 2017 г. при формировании максимальной численности ведущее положение занимал *Tetrastrum staurogeniaeforme* (77,4% от общей), в 2018 г. при формировании наибольшей биомассы – *Ulnaria ulna* (60,8% от общей); летом основу максимальной биомассы ФП составляли индикаторы *α*-мезотрофных вод *Cyclotella meneghiniana* (55,0%) (2016 г.) и *Stephanodiscus hantzschii* (78,6%) (2017 г.); осенью при максимальной численности и биомассе преобладал *S. hantzschii* (в 2019 г. соответственно 65,7 и 78,4%) (см. разделы 4.1.1, 4.2.1, 4.3.1). Верхний из исследованных плесов – Чапаевский – одним из первых принимает богатые биогенными и органическими веществами речные воды, что особенно

ярко проявляется весной. Однако наиболее трофные условия формировались при определенном соотношении уровня воды, объема притока и суммы осадков в 2018 г. В это время также отмечены минимальные индексы Шеннона на фоне доминирования по численности представителя рода *Cyclotella* (44,6%) и *Stephanodiscus hantzschii* (25,1%), по биомассе – *S. hantzschii* (62,2%) (см. раздел 4.1.2). В других случаях изменения значений индекса носили либо статистически не подтвержденный характер, либо возрастали в условиях снижения начального трофического статуса в летний и осенний сезоны. В целом, о направлении межгодовых изменений и пространственном распределении индексов Шеннона при трансформации общей численности и биомассы ФП в разные сезоны свидетельствуют коэффициенты корреляции (табл. 5.7–5.9). Важно отметить, что весной статистически значимые коэффициенты отмечены для индексов, рассчитанных как по численности, так и по биомассе, а летом и осенью – в основном по биомассе, кроме этого, летом и осенью индекс в основном коррелировал с численностью ФП.

Для определения трансформации сообществ ФП при повышении органической нагрузки используются данные по динамике миксотрофных организмов. Известно, что при органическом загрязнении и увеличении трофического статуса вод наблюдается увеличение их количественных характеристик (Сафонова, 1987; Корнева, 1999, 2009; Горюнова, 2006; Sládečeková, Sládeček, 1993; Rosowski, 2003). Особую роль это играет в экосистемах, где основной поток взвешенных и органических веществ обеспечивается внешними поступлениями (Гидробиологические основы самоочищения …, 1976; Мордухай-Болтовской, Ривьер, 1977; Алимов, 1982; Маргалеф, 1992; Hodkinson, 1975). Это способствует увеличению цветности, количества взвеси и численности бактерий (Копылов и др., 2000; Цветков и др., 2015), и создает благоприятные условия для развития жгутиковых форм, способных к фаготрофии. Для изученных участков Ириклинского водохранилища обнаружены положительные корреляционные связи количественных характеристик миксотрофов с общей численностью и биомассой ФП, а наиболее сильные связи наблюдались между их биомассами (табл. 5.7–5.9).

Одним из самых распространенных в практике гидробиологических исследований является индекс сапробности. Весной значения индекса в реке положительно коррелировали с численностью ФП, в ЧП – с биомассой ФП, а в ПП – отрицательно с биомассой ФП. Летом в реке обнаружена положительная корреляция с биомассой ФП, в СП – отрицательная с численностью и биомассой ФП. Осенью в реке индекс сапробности положительно с коррелировал с

численностью и биомассой ФП, в ПП – с биомассой (табл. 5.7–5.9). Однако в большинстве случаев межгодовые изменения его значений варьировали в пределах β-мезосапробных вод, лишь весной 2018 г. в ЧП, а также в реке летом 2016 и 2017 гг., и осенью 2019 г. значения индекса свидетельствовали об увеличении органической нагрузки и соответствовали α-мезосапробным водам. Следовательно, наиболее заметные изменения индекса сапробности при увеличении органической нагрузки также наблюдались на участках, характеризующихся наибольшим ежегодным поступлением питательных веществ, где в результате состав доминантов слагался из видов-индикаторов α-мезосапробных вод, например, *Cyclotella meneghiniana* (р. Урал, лето 2016 г.) и *Stephanodiscus hantzschii* (ЧП, весна 2018 г., р. Урал, лето 2017 г., осень 2019 г.).

Об изменениях трофности также может свидетельствовать преобладание крупных или мелких форм, что мы анализировали по СИМ. Однако в этом вопросе существует поток самых противоречивых взглядов. Известно, чем меньше размер клеток водорослей, тем активнее их метаболизм, они более эффективно усваивают солнечную энергию (Гутельмахер, 1986). Мелкие клетки, благодаря более высокому отношению площади их поверхности к объему и более тонкому диффузному пограничному слою, также наиболее эффективно усваивают биогенные вещества при их дефиците, но крупные клетки способны их больше запасать. Поэтому существует мнение, что мелкие водоросли получают конкурентное преимущество в условиях низкой трофности, а крупные более конкурентоспособны при высокой и в условиях резко изменяющихся концентраций биогенных веществ (Edwards et al., 2011; Cloern, 2018). Однако при эвтрофировании водохранилищ Волги (Корнева, 2015) и озер Беларуси (Михеева, 1992) наблюдалось увеличение количества мелкоклеточных видов. Позднее Т.М. Михеева и Е.В. Лукьянова (2006) отмечали, что чаще исследователи регистрируют отклик ФП на эвтрофирование, выраженный уменьшением доли нанопланктона, что является следствием далеко зашедшего процесса. И.С. Трифонова (1990) не выявила закономерности изменения роли мелкой фракции ФП при эвтрофировании озер, она делает вывод о том, что сама по себе доля мелкой фракции не может быть показателем уровня трофности. В ходе сукцессии в зависимости от конкретных условий происходит постоянная смена доминирования мелких и крупных форм, что в значительной мере зависит от меняющегося соотношения основных биогенных элементов в среде (Fogg, 1965; Som-

mer, 1985, по: Трифонова, 1990). Ю.С. Даценко (2007) отмечает, что чем выше трофность водоема, тем более мелкие организмы преобладают, а когда экосистема достигает высокоэвтрофного и гипертрофного состояния, начинается доминирование крупных колониальных форм цианобактерий и крупных динофитовых водорослей.

Данные, полученные на Ириклинском водохранилище, показали, что весной наибольшая СИМ на всех участках обнаружена в годы, когда фиксировалась максимальная биомасса ФП, при этом в реке и СП доминировала *Ulnaria ulna*, в ЧП – *U. ulna* и *Cyclotella meneghiniana* (2016 г.), а также *Stephanodiscus hantzschii* (2017 г.), в ТСП – *Cryptomonas curvata*, *Rhodomonas lens* и *Gymnodinium helveticum*, в ПП – не определенные до вида представители сем. Volvocaceae. О связи между биомассой ФП и СИМ свидетельствуют положительные коэффициенты корреляции, обнаруженные на всех плесах водохранилища (табл. 5.7). Наименьшая СИМ водорослей и цианобактерий реки, ЧП и ПП обнаружена в годы, в которые ФП характеризовался наибольшей численностью.

Летом в годы, отличающиеся максимальной биомассой ФП, наибольшая СИМ обнаружена лишь в реке при доминировании *Cyclotella meneghiniana* (2016) и *Stephanodiscus hantzschii* (2016, 2017). В СП, ТСП и ПП отмечены отрицательные коэффициенты корреляции между численностью ФП и СИМ (табл. 5.8). В СП при низкой СИМ доминировали *Ceratium hirundinella*, *Aulacoseira granulata* и *Diplopsalis acuta*, в ТСП – *Ceratium hirundinella*, *Aphanizomenon flosaquae*, *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa*, в ПП – *Aulacoseira granulata* и *Komma caudata*. Необычная ситуация складывалась в ЧП, где в разные годы, отличающиеся минимальной биомассой, обнаружена как максимальная СИМ при доминировании *Dolichospermum scheremetieviae* и *Aulacoseira granulata* (2016 г.), так и минимальная при доминировании *Cyclotella* sp. и *Stephanodiscus neoastraea* (2019 г.). Нужно отметить, что в 2016 г. ФП отличался также наименьшей численностью и доминированием *Dolichospermum scheremetieviae* и *Aulacoseira granulata*.

Осенью в реке минимальная СИМ зарегистрирована при высокой биомассе и доминировании *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii*, *Stephanodiscus hantzschii* (2016, 2019 гг.), а максимальная СИМ – при низкой биомассе. В плесах водохранилища наименьшая СИМ обнаружена в годы, отличающиеся максимальной численностью ФП, наибольшая – минимальной численно-

стью и/или биомассой. В ЧП в это время по численности доминировали *Snowella lacustris*, *Monoraphidium contortum*, по биомассе – два вида рода *Cryptomonas*; в СП – соответственно *Snowella lacustris* и *Peridinium cinctum*, *Aulacoseira granulata*, *Cosmarium* sp. 3; в ТСП – *Snowella lacustris*, *Aphanocapsa incerta* и *Aulacoseira granulata*, *Peridinium latum*; в ПП – *Aphanocapsa incerta*, *Aulacoseira granulata*, *Komma caudata*, *Woronichinia compacta* и *Stephanodiscus neoastraea*, *Cosmarium* sp. 2, *Stephanodiscus hantzschii*. Обнаружены положительные коэффициенты корреляции между биомассой ФП и СИМ в реке и ПП, отрицательные – между численностью ФП и СИМ в ЧП и СП (табл. 5.9).

Следовательно, весной при повышении трофического статуса участков, увеличении биомассы и численности ФП наблюдалась стимуляция развития более крупных форм. Летом эта закономерность сохранялась лишь в реке, а в большинстве плесов преимущество получали мелкие клетки. Только в верхнем плесе при увеличении численности и биомассы ФП изменений СИМ не наблюдалось, а максимальная величина обнаружена в условиях наименьших количественных характеристик ФП. Осенью в реке снижение СИМ отмечено при высокой биомассе ФП, в плесах водохранилища – при высокой численности, а увеличение СИМ – соответственно при минимальной биомассе и численности.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что изменения СИМ имеют как временные, так и пространственные особенности. В начале вегетационного периода при увеличении трофического статуса преимущество получают крупные виды, в середине и в конце – мелкие. Однако в реке летом глубина перестройки ФП при дополнительном поступлении биогенных и органических веществ нивелировалась скоростью течения, в результате чего здесь преобладали относительно крупные клетки.

Распределение ФП по продольному профилю исследованной акватории характеризовалось рядом закономерностей, а также рядом особенностей, проявляющихся в отдельные годы и/или сезоны.

Наибольшее видовое богатство ФП в целом за исследованный период и в отдельные сезоны вегетационных периодов отмечались в реке и верхнем из исследованных плесов – Чапаевском, что определялось значительным влиянием поступления и аккумуляции органических и биогенных веществ с водосбора и формированием наиболее трофных условий

(см. главу 3). Вниз по продольному профилю водохранилища видовое богатство ФП сокращалось на 16–33% за счет снижения разнообразия Chlorophyta, Cyanobacteria, Euglenophyta, а также Streptophyta, Chrysophyta и Xanthophyta. Уменьшение вниз по течению числа видов-индикаторов α-мезосапробных вод, очевидно, связано со снижением количества биогенных и органических веществ, и свидетельствует о снижении трофического статуса вод среднего и в большей степени нижних плесов.

Практически ежегодно весной и летом наибольшие УВБ, численность и биомасса ФП регистрировались в реке и в верхнем из исследованных плесов водохранилища (ЧП), а осенью максимальные УВБ и численность ФП – в ЧП и СП (см. разделы 4.1.6, 4.2.6, 4.3.6). Также выявлен ряд закономерно повторяющихся изменений соотношения таксономических групп ФП. Весной основу численности ФП в реке составляли зеленые водоросли, ниже – в плесах водохранилища – возрастала доля цианобактерий, в верхнем (ЧП) – диатомовых, а в среднем и нижних плесах (СП, ТСП и ПП) – криптофитовых (см. разделы 4.1.6, 4.2.6, 4.3.6). Основа биомассы в реке представлена диатомовыми водорослями, в верхнем плесе водохранилища – диатомовыми и цианобактериями, вниз по продольному профилю снижалась доля диатомовых и эвгленовых, но возрастала доля криптофитовых и динофитовых (см. разделы 4.1.6, 4.2.6, 4.3.6). Летом по продольному профилю акватории сокращалась доля диатомовых и зеленых водорослей, а доля криптофитовых и динофитовых увеличивалась. Кроме этого, в пределах водохранилища зарегистрирована более высокая, чем в реке, доля цианобактерий, максимум которой отмечен в верхнем плесе, а к нижним она уменьшалась. Осенью основу численности в р. Урал составляли диатомовые водоросли, а в плесах водохранилища – цианобактерии и криптофитовые водоросли, вниз по продольному профилю сокращалась доля зеленых. Основа биомассы представлена диатомовыми водорослями, в водохранилище возрастала доля криптофитовых, максимум которых отмечен в верхнем плесе (ЧП).

Помимо обозначенных выше закономерностей, в период изучения также отмечены межгодовые особенности распределения сообществ по продольному профилю акватории, которые связаны с колебаниями погодных и гидрологических условий, формирующих важнейшие для развития первичных продуцентов факторы среды. Как мы указывали выше, 2016 и 2017 гг. отличались высоким уровнем воды, суммой осадков, объемами притока и сброса. В этих условиях в 2016 г. весной наибольшая биомасса ФП отмечена в двух верхних плесах, причем, в ЧП за счет

диатомовых, а в СП за счет эвгленовых водорослей. При этом высокое УВБ обнаружено на всем участке от реки до ТСП, а численность – до СП. Весной 2017 г. максимальная сумма осадков способствовала увеличению содержания в воде р. Урал питательных веществ и формированию здесь наиболее богатого ФП. Одновременно максимальный уровень воды определял зону наибольшей аккумуляции, скорее всего, выше ЧП (в Уртазымском плесе), в результате чего при высоком объеме стока в плесах водохранилища наблюдалось постепенное и плавное снижение УВБ и биомассы ФП, а его плотность в плесах не имела статистически достоверных различий. Летом в условиях наибольших объемов притока и сброса воды на участке от реки до СП не фиксировалось различий УВБ (2016 г.) или численности (2017 г.) ФП. Осенью 2016 г. при наибольшем объеме притока максимальные значения биомассы отмечены на участке от реки до СП за счет диатомовых водорослей. Однако наиболее специфичное распределение ФП обнаружено осенью 2017 г.: максимальные УВБ, численность и биомасса регистрировались в нижнем плесе (ПП), причем, численность была выше за счет цианобактерий, диатомовых и криптофитовых водорослей, биомасса – за счет диатомовых, зеленых и криптофитовых. На наш взгляд, формирование благоприятных для развития ФП условий в ПП осенью 2017 г. обеспечивалось максимальным проникновением питательных веществ при оптимальном сочетании объемов притока и наибольших объемов сброса в весенне-летний период на фоне максимальной суммы атмосферных осадков, о чем свидетельствует наименьшее снижение цветности воды и ПО вниз по продольному профилю исследованной акватории.

В 2018 г., который отличался средними показателями гидрологических и погодных условий, а также наименьшей суммой атмосферных осадков в период с апреля по июль и с апреля по октябрь, какие-либо яркие особенности распределения количественных характеристик ФП отсутствовали.

В 2019 г., который в целом характеризовался минимальным уровнем воды, объемом притока и стока, а весной также суммой атмосферных осадков, минимальная доля диатомовых и максимальная доля криптофитовых водорослей в мае обнаружена в среднем плесе (СП), тогда как в остальные годы – в нижнем (ПП). Летом 2019 г. не зафиксировано статистически значимых различий биомассы ФП на всем протяжении исследованной акватории, а осенью ее наибольшее значение наблюдалось в реке, а в водохранилище различия отсутствовали. Очевидно, что при

минимальном объеме притока в водохранилище поступало наименьшее количество питательных веществ, благодаря чему отмечено снижение или весьма незначительное увеличение ряда химических показателей воды и ФП в верхних плесах.

По продольному профилю также изменялась величина индекса Шеннона. Весной его максимальные значения обнаруживались в зоне река–СП, минимальные – в ПП и ТСП; летом наибольшие регистрировались в ЧП и в реке, наименьшие – в ТСП и ПП; осенью различия значений индекса, рассчитанного по численности, часто отсутствовали, в ряде случаев минимальные величины были в реке, в СП и ТСП, а максимальные значения индекса, рассчитанного по биомассе, были характерны для ЧП, минимальные – для реки и двух нижних плесов (ПП и ТСП).

По продольному профилю акватории изменялась количественная представленность миксотрофных организмов. Однако весной каких-либо закономерных изменений их численности не обнаружено, а биомасса по продольному профилю снижалась, максимальные ее значения в отдельные годы регистрировались в реке (2017 г.), ЧП (2018 и 2019 гг.) и СП (2016 г.). Летом наибольшая численность миксотрофов отмечена в ЧП, в отдельные годы также в реке (2016 г.), а биомасса – в ЧП и ПП. Осенью максимальной численностью миксотрофных организмов отличался ФП верхнего плеса (2016 г.), нижнего плеса (2017 г.), а также среднего (2018 и 2019 гг.). Биомасса миксотрофных таксонов в ЧП превышала их биомассу на других участках, и только в 2019 г. максимальной величиной отличался СП. В целом, наибольшие численность и биомасса миксотрофных таксонов наблюдалась в условиях наибольшего поступления и аккумуляции питательных веществ и высокой температуры воды.

По продольному профилю исследованной акватории весной и летом сокращалась величина индекса сапробности, а в отдельные годы – при снижении уровня воды – максимальные значения отмечались в СП. Осенью наибольшее значение индекса было характерно для реки, а в пределах водохранилища – для СП и ТСП. Однако в 2017 и 2018 гг. распределение значений индекса несколько различалось: при наибольших объемах притока и сброса (2017 г.) максимум наблюдался в нижних плесах, а при средних значениях погодных и гидрологических параметров (2018 г.) – на обширном участке ЧП–ТСП.

Весной по продольному профилю исследованной акватории отмечено снижение СИМ, наибольшие величины которой регистрировалась в зоне река–СП, наименьшие – в нижних плесах. Летом, напротив, максимальная СИМ отмечалась в нижнем плесе, а осенью – в реке и ЧП.

Следовательно, полученные данные показали, что участки исследованной акватории отличались рядом характеристик ФП. В реке богатую количественную представленность ФП определяла высокая антропогенная нагрузка на сам водоток и его водосбор: известно, что экологическое состояние р. Урал определяет комплекс антропогенных факторов, в числе которых распашка земель, уничтожение лесополос, коммунальные стоки, интенсивное освоение рудных и нефтяных месторождений (Соловых и др., 2003; Сивохип, 2014). Это способствует высокой концентрации биогенных и органических веществ в речной воде, о чем свидетельствуют данные, полученные в период изучения, а также данные, полученные ранее (Павлейчик, Сивохип, 2013; Шашуловская и др., 2017). В этих условиях в реках формируется ФП, отличающийся высокими численностью и биомассой (Охапкин, 1997). В результате, в отдельные сезоны и годы количественные характеристики ФП в р. Урал были выше, чем на исследованных участках водохранилища.

Необходимо сказать, что первыми речные воды принимают верхние плесы водохранилища, среди которых, к сожалению, изучен лишь второй – Чапаевский. Сообщества ФП в нем большую часть времени отличались высокими численностью и биомассой, но периодически – в отдельные годы и/или сезоны – зона формирования количественно богатых сообществ ФП наблюдалась также в среднем плесе – Софинском. Механизм этого явления заложен в переменном режиме уровня водохранилища и динамике границ зоны переменного подпора, которые способствуют трансформации стока наносов, зависимой от заполнения и сработки водохранилища, а также от гидрографа стока реки (Маккавеев и др., 1958; Беркович, 2012). В пределах зоны переменного подпора выделяются три подзоны, различающиеся по гидрологическому режиму и транспорту наносов: верхняя – подзона эпизодического подпора, куда подпор распространяется не каждый год и/или на короткий период; средняя – подзона регулярного периодического подпора, где он наблюдается ежегодно в течение длительного меженного (маловодного) периода; нижняя – подзона глубокого длительного подпора, где поток освобождается от подпора лишь в конце маловодного периода (Маккавеев и др., 1958; Lin et al., 2007). Концентрация органических и биогенных веществ свидетельствует о том, что ЧП находится в границах подзон

регулярного периодического подпора и глубокого длительного подпора, и в нем, благодаря снижению скорости течения, ежегодно аккумулируется большая часть приносимых главной рекой и притоками веществ. Все это, наряду с максимальной температурой воды, способствует формированию количественно богатого ФП, что наиболее ярко проявляется весной и летом. В отдельные годы весной и летом, и практически ежегодно осенью в связи с уменьшением уровня водохранилища, границы переменного подпора снижаются и питательные вещества, приносимые главной рекой, в большей степени проникают и до среднего плеса – Софинского, расположенного в подзоне глубокого длительного подпора.

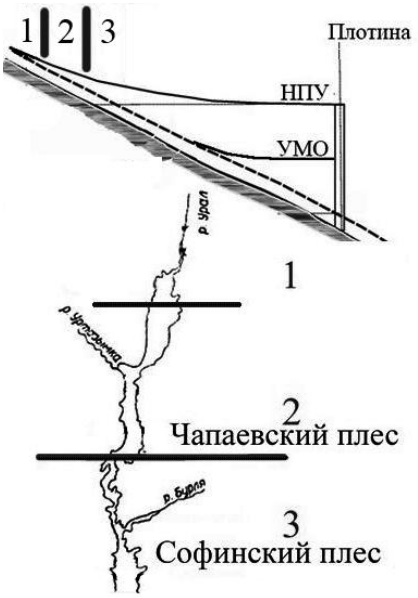

Рис. 5.1. Схема подзон зоны переменного подпора водохранилища. 1 – эпизодичес-кого, 2 – регулярного периодического, 3 – глубокого длительного подпора.

Таблица 5.10. Статистически значимые коэффициенты корреляции межу объемом притока и физико-химическими параметрами воды, удельным видовым богатством (*УВБ*), численностью (*N*), биомассой (*B*) фитопланктона Софинского плеса (на примере весны)

Показатель	Объем притока	*УВБ*	*N*	*B*
Прозрачность	-0,73	0,92	–	–
Цветность	0,77	–	–	–
ПО	0,82		–	–
ХПК	0,71	0,79	–	0,66
$БПК_5$	0,60	0,79	0,68	0,87
$N\text{-}NH_4$	0,95	0,89	–	0,72
$N\text{-}NO_2$	0,89	–	–	–
$N\text{-}NO_3$	0,73	–	–	–
$P\text{-}PO_4$	0,45	–	–	–
Si	0,97	0,62	–	–
Объем притока	–	–	–	0,75

Определенную роль также играют вещества, приносимые наиболее крупными притоками плеса – реками Бурля и Ташла (Батурина, 1968, 1970а, б, 1971а, б). Кроме этого, вода этого плеса осенью характеризуется более высокой, чем в реке и ЧП, температурой воды. Благодаря этому, осенью ФП среднего плеса отличается наибольшими количественными характеристиками. Однако при определенных условиях – оптимальном сочетании объемов притока и наибольших объемов сброса в весенне-летний период на фоне максимальной суммы атмосферных осадков – наибольшая количественная представленность ФП осенью наблюдалась в нижнем плесе. Дополнительно этому способствовала более высокая чем на других участках температура воды, что связано с максимальной глубиной и, следовательно, большей инертностью при снижении температуры воздуха.

В целом нужно отметить, что ФП практически каждого участка отличался высокой степенью специфичности. Об этом свидетельствуют весьма низкие величины сходства состава и обилия доминирующих и субдоминирующих видов водорослей и цианобактерий, полученные на основе данных индекса биоценотического сходства (разделы 4.1.6, 4.2.6, 4.3.6) (рис. 5.2).

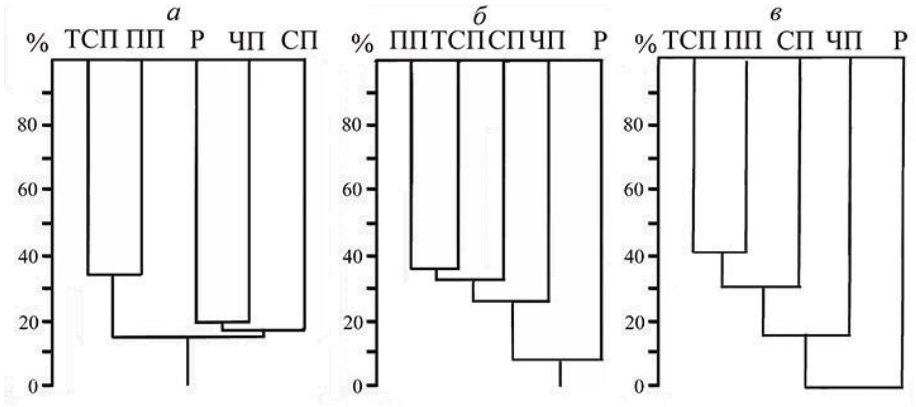

Рис. 5.2. Дендрограмма сходства состава доминирующих по биомассе видов фитопланктона весной (*а*), летом (*б*) и осенью (*в*).

Наиболее специфичный – характеризующийся минимальной средней величиной индекса сходства с другими участками – комплекс ведущих по численности видов ФП весной формировался чаще всего в реке (2017–2019 гг.), ЧП (2018 и 2019 гг.); по биомассе – ЧП (2017 и 2019 гг.); летом по численности – в реке (2016–2019 гг.), ПП (2017, 2018 гг.), по биомассе – в реке (2016–2019 гг.), ЧП (2017–2019 гг.); осенью по численности – в реке (2016–2019 гг.), СП (2016 и 2017 гг.), по биомассе – в реке (2016–2019 гг.) и ЧП (2016–2019 гг.) (разделы 4.1.6, 4.2.6, 4.3.6).

Максимальная средняя величина сходства доминантов и субдоминантов по численности ФП между всеми участками акватории весной (20,9–21,7%) свидетельствует о том, что наибольшая гомогенизация ФП наблюдалась как при максимальных, так и минимальных сумме атмосферных осадков, объемах притока и сброса – в 2016, 2018 и 2019 гг., а по биомассе – в условиях наибольшего объема притока в 2016 г. (14.2%). Наибольшая гетерогенность ФП как по численности лидирующих видов (14,4%), так и по биомассе (10,1%) обнаружена при максимальном уровне воды весной 2017 г. Летом максимальным средним сходством доминирующих и субдоминирующих по численности видов (16,4%) отличался ФП в условиях наибольшего уровня воды, суммы осадков и объемов сброса (2017 г.), по биомассе (19,0%) – в условиях наименьшего уровня, объемов притока и сброса (2019 г.). Минимальное сходство лидирующих по численности видов (7,9%) обнаружено при наибольшем объеме притока (2016 г.), по биомассе (7,1%) –

при минимальной сумме атмосферных осадков (2018 г.). Наиболее однородный состав доминирующих и субдоминирующих видов ФП по численности осенью (26,4%) обнаружен в условиях максимального объема притока (2016 г.), по биомассе (20,3%) – в условиях наибольшего уровня и объема сброса (2017 г.), а наименее однородный комплекс лидирующих по численности видов (12,4%) отмечен при минимальной сумме атмосферных осадков (2018 г.), по биомассе – при минимальном уровне, объемах притока и сброса (2019 г.).

Литературные (Батурина, 1968, 1970а, б, 1971а, б, 1983; Порядина, Жовнир, 1983) и полученные нами данные указывают, что все исследованные участки различаются по химическим показателям воды, видовому составу и структурным характеристикам ФП. При этом высоким видовым богатством, УВБ, численностью и биомассой отличался ФП плесов верхней части водохранилища, что характеризует данный участок не просто как переходную зону от речных к озерным условиям, а как гидрологический, морфологический и биологический барьер между рекой и плесами, расположенными ниже (см. разделы 4.1.6, 4.2.6, 4.3.6). Наибольшие качественные и количественные характеристики, а также специфическая структура свидетельствуют о проявлении краевого эффекта, что позволяет определить эту зону как экотон (Харченко, 1991; Булахов, 1997; Крылов, 2005; Ермохин, 2007; Сахарова, Корнева, 2015; Сахарова, 2017; Castridi et al., 1988; Holland, 1988; Hillbricht-Ilkowska, 1989). К сожалению, круг исследований не захватил самый верхний плес водохранилища – Уртазымский, где, на наш взгляд, проявление краевого эффекта должно носить наиболее ярко выраженный характер, особенно весной. Отчасти это было показано ранее В.Н. Батуриной (1968, 1970а, в, г, 1971а, б,), С.Н. Порядиной и Г.П. Жовнир (1983). В ходе проведенных нами работ выявлено, что наиболее часто краевой эффект регистрировался в верхнем из изученных плесов – Чапаевском, который отличается наименьшей глубиной, выраженной литоральной зоной, высоким количеством биогенных и органических веществ, а в весенне-летний период также максимальной температурой воды.

Известно, что по сравнению с наземными в водных экосистемах зоны проявления краевого эффекта менее постоянны во времени и пространстве, их динамика зависима от гидрофизических факторов (Одум, 1975, 1986; Харченко, 1991; Крылов, 2005; Гидроэкология устьевых …, 2015). В Ириклинском водохранилище в зависимости от уровня воды, соотношения объемов притока и сброса, количества атмосферных осадков и, как следствие, при разной динамике

границ зоны переменного подпора, в разные сезоны и годы участок проявления краевого эффекта фиксировался либо в верхнем (Чапаевском), либо в среднем (Софинском) плесах. В исключительных случаях в пределах изученных плесов водохранилища значимых различий не выявлялось, а также осенью при высоком объеме стока и более высокой температуре воды могли создаваться условия, при которых наибольшие численность и биомасса ФП наблюдались в нижнем (ПП) плесе.

Известно, что экотоны характеризуются ярко выраженными буферными свойствами благодаря высокой интенсивности внутриводоемных процессов, следствием которых является повышенная самоочистительная способность (Залетаев, 1997а, б; Крылов, 2005; Гидроэкология устьевых …, 2015). Экотон верхних плесов водохранилища в значительной мере субсидируется энергией за счет внешних поступлений, которые несет р. Урал. В этом случае буферные свойства экотона тесно связаны с проблемами сохранения качества вод водохранилища, а также реки ниже плотины. Полученные данные показали, что в подавляющем большинстве случаев максимальные значения индекса сапробности, а также наиболее высокий трофический статус вод был характерен для верхнего и среднего плесов, где наблюдалось проявление краевого эффекта, а по продольному профилю водохранилища наблюдалось повышение качества среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многочисленные результаты анализа данных долговременных наблюдений показали значительное влияние изменений климата на интенсификацию эвтрофирования и трансформацию структуры и функционирования первичных продуцентов пресноводных экосистем (Газязова, Абдуллаев, 2019; Структура и функционирование экосистемы …, 2018; Paerl, Paul, 2012; Straile, Adrian, 2000; Adrian et al., 2009 и мн. др.). Полученные нами данные свидетельствуют о том, что не меньшее внимание должно быть уделено изучению закономерностей вариаций условий среды и структурной организации сообществ живых организмов в пределах более краткого временного периода. Во-первых, изменения климата проявляются и в переменах времени наступления, частоты, интенсивности, продолжительности и пространственного охвата аномальных метеорологических явлений, которые способны значительно трансформировать условия среды, структурные и функциональные характеристики сообществ. И в значительной степени это актуально для семиаридных и аридных территорий, для которых характерны существенные межгодовые колебания погодных и связанных с ними гидрологических условий. Во-вторых, значительный ряд исследовательских работ проводится в ограниченном временном интервале, и недоучет особенностей погодных условий в отдельные годы и/или сезоны может приводить к ошибочным заключениям о состоянии сообществ и экосистем, причинах и глубине изменений. В-третьих, важно также отметить тот факт, что при изучении крупных водохранилищ, которые характеризуются высокой степенью гетерогенности условий среды, ведущее значение имеет выбор сети станций наблюдений, т.к. участки по их продольному профилю значительно различаются между собой по ряду гидрологических, гидрохимических и гидробиологических параметров, и специфично реагируют на воздействие одних и тех же факторов среды (Беркович, 2012; Даценко и др., 2017, 2020; Копылов и др., 2019). Недоучет этих фактов способен привести к появлению противоречивой и ошибочной информации. Следовательно, как при выборе участков, так и при интерпретации полученных данных необходимо учитывать место (расположение по продольному профилю) и время (сезон) сборов, что предоставит возможность давать более взвешенные выводы о состоянии водохранилищ в целом даже по результатам ограниченных временем или местом исследований.

Полученные в 2016–2019 гг. результаты изучения незарегулированного участка р. Урал и плесов Ириклинского водохранилища показали справедливость предположений о гетерогенности акватории водоема, особенностях межгодовых изменений фитопланктона на разных участках в условиях влияния одних и тех же факторов. Кроме этого, полученные данные свидетельствуют о том, что изменения трофического статуса водохранилищ и структуры фитопланктона проявляются не только в зависимости от интенсивности воздействия точечных источников внешней нагрузки, но также от изменений погодных и гидрологических условий.

ВЫВОДЫ

1. В составе фитопланктона р. Урал и Ириклинского водохранилища выявлено 358 таксонов водорослей и цианобактерий рангом ниже рода, представленных 133 родами, 66 семействами, 35 порядками, 15 классами из 9 отделов. Наибольшим богатством видов отличаются Chlorophyta (34,9%) и Bacillariophyta (33%), наименьшим – Xanthophyta (1,1%), Cryptophyta, Dinophyta и Chrysophyta (по 3,4%). Максимальным видовым богатством характеризуются фитопланктонные сообщества р. Урал и верхнего из исследованных плесов водохранилища – Чапаевского, минимальным – нижнего – Приплотинного. Межгодовые изменения видового состава сообществ определяются колебаниями суммы атмосферных осадков, объемов притока и сброса, температуры воздуха.
2. Ведущие факторы формирования численности и биомассы фитопланктонных сообществ разнотипных участков акватории – сумма атмосферных осадков и объема притока, увеличение которых обеспечивает поступление с водосбора органических и биогенных веществ. Наиболее ярко влияние этих факторов проявляется в р. Урал и в плесах верхней части водохранилища (Чапаевский и Софинский), в которые интенсивно проникают воды главной реки. В плесах нижней части водохранилища (Таналык-Суундукский и Приплотинный) количественные характеристики фитопланктона определяются объемом сброса, в Таналык-Суундукском весной также влиянием наиболее крупных притоков.
3. В условиях комбинированного воздействия ряда факторов – повышения температуры воды и снижении ее уровня при увеличении суммы атмосферных осадков и объема притока – наблюдается усиление эффекта эвтрофирования: возрастает численность и биомасса фитопланктона за счет цианобактерий, уменьшается выравненность, в составе доминантов появляются виды-индикаторы высокотрофных, α-мезо- и полисапробных вод. Наиболее ярко этот эффект проявляется в р. Урал и в плесах верхней части водохранилища.
4. По продольному профилю водохранилища максимальными количественными показателями характеризуется фитопланктон плесов верхнего участка (Чапаевского и Софинского), где в большей степени поступают биогенные и органические вещества, приносимые главной рекой и притоками. Богатый видовой состав, высокая численность и биомасса фитопланктонных сообществ этих плесов, особенности его таксономической структуры и состава доминирующих видов свидетельствуют о проявлении краевого эффекта.

5. Вода исследованных участков соответствует классу умеренно загрязненных (β-мезосапробных), лишь в р. Урал при увеличении суммы осадков и верхнем (Чапаевском) плесе при увеличении температуры воды – загрязненных (α-мезосапробных). Биомасса фитопланктона реки и верхнего (Чапаевского) плеса характеризует эти участки как наиболее трофные. Вниз по продольному профилю водохранилища качество воды повышается, трофический статус снижается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б., Ривьер И.К. Уровенный режим как фактор становления и функционирования экосистем водохранилищ // Водные ресурсы. 2000. Т. 27, № 4. С. 389−399.
2. Алехина Г.П. Изменение флористического состава планктонных водорослей среднего течения реки Урал в условия антропогенной нагрузки на водоем [Электронный ресурс]. URL: http://science-bsea.bgita.ru/2002/ekolog_2002/alehina_izmen.htm (дата обращения: 19.01.2014).
3. Алимов А.Ф. Структурно-функциональный подход к изучению сообществ водных животных // Экология. 1982. № 3. С. 45–51.
4. Баринова С.С. Методические аспекты анализа биологического разнообразия водорослей. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. М.: ВНИИПриродыы, 2000. С. 4–59.
5. Баринова С.С., Клоченко П.Д., Белоус Е.П. Водоросли как индикаторы экологического состояния водных объектов: методы и перспективы // Гидробиологический журнал. 2015. Т. 51, № 4. С. 3–23.
6. Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Водоросли-индикаторы качества окружающей среды. Москва: ВНИИ Природа, 2000. 150 с.
7. Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Ин-т Эволюции Университета Хайфы, 2006. 498 с.
8. Батурина В.Н. Протококковые водоросли Ириклинского водохранилища // Ученые записки Оренбургского гос. пед. ин-та. 1968. Вып. 20. С. 22–27.
9. Батурина В.Н. Сезонная динамика фитопланктона Ириклинского водохранилища // Споровые растения Урала: Мат. по изучению флоры и растительности Урала IV. Тр. Института экологии растений и животных. Вып. 70. Свердловск, 1970а. С. 140–144.
10. Батурина В.Н. Фитопланктон Ириклинского водохранилища (р. Урал): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 1970б. 24 с.
11. Батурина В.Н. Состав и основные закономерности распределения фитопланктона Ириклинского водохранилища (р. Урал) // Биология, экология, география споровых растений Средней Азии. Ташкент, 1971а. С. 4.
12. Батурина В.Н. Фитопланктон Ириклинского водохранилища // Тр. Уральского отд. СибНИИРХ. Свердловск, 1971б. Т. VIII. С. 47–54.
13. Батурина В.Н. Материалы к флоре водорослей Оренбургской области // Ботанический

журнал. 1977. Т. 62, № 6. С. 911–914.

14. Батурина В.Н. Состав фитопланктона Ириклинского водохранилища. Оренбург, 1983. 16 с. Деп. в ВИНИТИ 8.12.83, № 6652-В83.

15. Батурина В.Н., Лигерман В.Н. Диатомовые водоросли Оренбургской области. Оренбург, 1986. 17 с. Деп. в ВИНИТИ 16.12.86, N8549-В86.

16. Безносов В.Н., Кучкина М.А., Суздалева А.Л. Исследование процесса термического эвтрофирования в водоемах-охладителях АЭС // Водные ресурсы. 2002. Т. 29, № 5. С. 610–615.

17. Белова С.Л., Кременецкая Е.Р. О влиянии колебаний уровня воды на продукционно-деструкционные процессы в Можайском водохранилище // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 6. С. 682–691.

18. Бенинг А.Л. Материалы по гидробиологии р. Урал / Большая Эмба. М.-Л.: АН СССР, 1938. Т. II. С. 153–259.

19. Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Географический факультет МГУ, 2012. 163 с.

20. Блюмина Л.С. Материалы к характеристике фитопланктона реки Урал в районе города Оренбурга // Ботан. журн. 1962. Т. XLVII, № 11. С. 1675–1672.

21. Брагинский Л.П. О соотношении между составом прудового фитопланктона и проявлением его “потребности” в биогенных элементах // Первичная продукция морей и внутренних вод. Минск, 1981. С. 139–147.

22. Брагинский Л.П. Сиренко Л.А. Вегетационный цикл *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. // Альгология. 1997. Т. 7, № 2. С. 153–165.

23. Булгаков Н.Г., Левич А.П. Биогенные элементы в среде и фитопланктон: отношение азота к фосфору как самостоятельный регулирующий фактор // Успехи соврем. биол. 1995. Т. 15. Вып. 1. С. 13–24.

24. Бульон В.В. Влияние географических факторов на первичную продукцию озерных и наземных экосистем // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 5. С. 565–572.

25. Вайнштейн Б.А. Об оценке сходства между биоценозами // Биология, морфология и систематика водных организмов. Л.: Наука, 1976. С. 156–164.

26. Вареник А.В. Неорганический азот в атмосферных осадках г. Севастополя: источники, изменчивость и влияние на поверхностный слой прибрежных районов Черного моря // ПЭММЭ. 2017. Т. XXVIII, № 6. С. 75–84.

27. Вареник А.В., Коновалов С.К. Биогенные элементы атмосферных выпадений и их влияние на поверхностные воды Черного моря // Система черного моря. М.: Научный мир, 2018. С. 335–350.

28. Васильева И.И. Анализ видового состава и динамики развития водорослей водоемов Якутии. Якутск: Препр. ЯНЦ СО АН СССР, 1989. 48 с.

29. Васильева И.И. Эвгленовые и желтозеленые водоросли Якутии. Л.: Наука, 1987. 366 с.

30. Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П., Паламарь-Мордвинцева Г.М., Ветрова З.И., Кордюм Е.Л., Мошкова Н.А., Приходькова Л.П., Коваленко О.В., Ступина В.В., Царенко П.М., Юнгер В.П., Радченко М.И., Виноградова О.Н., Бухтиярова Л.Н., Разумна Л.Ф. Водоросли. Справочник. Киев: Наукова Думка, 1989. 608 с.

31. Веригин Б.В. О явлении термического евтрофирования водоемов // Гидробиологический журнал. 1977. Т. 13, № 5. С. 98–105.

32. Ветрова З.И. Флора водорослей континентальных водоемов Украины. Эвгленофитовые водоросли. Киев: Наукова думка, 1986. Вып. I. Ч. 1. 348 с.

33. Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо-Запада России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 367 с.

34. Водохозяйственное районирование. Центр регистра и кадастра. URL: www.gis.waterinfo.ru

35. Волошко Л.Н. Современная система золотистых водорослей // Ботанический журнал. 2008. Т. 93 (№ 8). С. 610–622.

36. Воробьева С.С. Фитопланктон водоемов Ангары. Новосибирск: Наука. Сибирская издат. фирма РАН, 1995. 126 с.

37. Габышев В.А. Видовой состав фитопланктона р. Лены в районе г. Якутска (Россия) // Альгология. 1998. Т. 8. № 3. С. 260–267.

38. Габышев В.А. Фитопланктон крупных рек Якутии и сопредельных территорий Восточной Сибири: Дис. … докт. биол. наук. Якутск, 2015. 406 с.

39. Гаязова А.О., Абдуллаев С.М. Влияние климатической изменчивости на фитопланктонные комплексы Шерневского питьевого водохранилища (Южный Урал) // Вестник ВГУ, Серия: География. Геоэкология. 2019. № 2. С. 53–64.

40. Герасимова Н.А. Фитопланктон и первичная продукция водохранилища в 1968–1971 гг. // Саратовское водохранилище. Саратов: Приволжское книжное изд-во, 1973. С. 40–60.

41. Герасимова Н.А. Фитопланктон Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Тольятти, 1996. 200 с.

42. Гидробиологические основы самоочищения вод / под ред. Г.Г. Винберга. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР, 1976. 153 с.

43. Гидробиология реки Урала / под ред. Драбкина В.С. Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1971. 103 с.

44. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Новосибирское водохранилище и озера бассейна Средней Оби / под ред. В.А. Знаменского, М.Я. Кунявского. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 155 с.

45. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз) // Под ред. К.К. Эдельштейна. М.: Изд-во «Перо», 2015. 286 с.

46. Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища. Ярославль: Филигрань, 2015. 466 с.

47. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. М.: Сов. наука. 1953. 651 с.

48. Гончаров А.В., Абдуллаева К.М. Особенности фитопланктона Москворецких водохранилищ в связи с их глубоководностью и изменением уровня воды // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014. № 34. С. 128–133.

49. Гончаров А.В., Даценко Ю.С. Зависимость степени развития фитопланктона от уровня воды в москворецких водохранилищах // Актуальные проблемы водохранилищ: Тез. конференции. Борок, 2002. С. 64–65.

50. Горюнова С.В. Закономерности процесса антропогенной деградации водных объектов: Автореферат дис. … докт. биол. наук. М.: МГУ, 2006. 49 с.

51. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды в водоемах и водотоках. М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1982.

52. Грандилевская-Дексбах М.Л., Шилкова Е.В. Донная фауна и питание рыб Ириклинского водохранилища // Тр. Уральского отд. Сибирского научно-исследовательского ин-та рыбного хозяйства. Т. 8. Свердловск: Средне-Уральское Книжное Издательство, 1971. С. 55–71.

53. Гусева К.А. “Цветение” воды, его причины, прогноз и меры борьбы с ним // Труды ВГБО. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 3–92.

54. Гусева К.А. Влияние режима уровня Рыбинского водохранилища на развитие планктона

// Тр. биол. станции "Борок" АН СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1958. Вып. 3. С. 112–124.

55. Гусева К.А. К методике учета фитопланктона // Тр. Ин-та биологии водохранилищ АН СССР. 1959. Вып. 2. № 5. С. 44–51.

56. Гусева К.А. Факторы, обусловливающие развитие фитопланктона в водоеме // Первичная продукция морей и внутренних вод. Минск, 1961. С. 301–307.

57. Гусева К.А. Фитопланктон Рыбинского водохранилища (сезонная динамика и распределение его основных групп) // Тр. биол. станции "Борок" АН СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. 2. С. 5–23.

58. Гусева К.А., Примайченко А.Д. Фитопланктон Волги от верховьев до Волгограда // Волга-1. Проблемы изучения и рационального использования биологических ресурсов водоемов. Куйбышев: Куйбышевское книжное изд-во, 1971. С. 98–107.

59. Гутельмахер Б.Л. Метаболизм планктона как единого целого. Трофометаболические взаимодействия зоо- и фитопланктона. Л.: Наука, 1986. 155 с.

60. Далечина И.Н. Фитопланктона Волгоградского водохранилища в 1963–1967 гг. // Тр. Саратовского отд. ГосНИОРХ. 1971. Т. 10. С. 30–46.

61. Далечина И.Н. Фитопланктон, его продукция и влияние на качество воды // Волгоградское водохранилище (население, биологическое продуцирование и самоочищение). Саратов: изд-во Саратовского ун-та, 1977. С. 33–55.

62. Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидроло-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 252 с.

63. Даценко Ю.С. Факторы продуцирования фитопланктона в стратифицированных водохранилищах // Труды научно-практической конференции «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов». Пермь, 2013. Т. 2. С. 96–101.

64. Даценко Ю.С., Гончаров А.В. Зависимость степени развития фитопланктона от уровня воды в москворецких водохранилищах // Актуальные проблемы водохранилищ: Тез. докладов конф. Борок, 2002. С.64–65.

65. Даценко Ю.С., Ерина О.М., Пуклаков В.В., Эдельштейн К.К. Модельная оценка влияния внутриводоемных процессов на экологическое состояние стратифицированных водохранилищ // Вода: химия и экология. 2014. № 9. С. 9–14.

66. Даценко Ю.С., Заславская М.Б. Балансовая оценка роли боковой приточности в формировании качества воды водохранилищ водораздельного бьефа канала им. Москвы // Вод-

ные ресурсы. 2012. Т. 39, № 1. С. 71–77.

67. Даценко Ю.С., Пуклаков В.В., Эдельштейн К.К. Анализ влияния абиотических факторов на развитие фитопланктона в малопроточном стратифицированном водохранилище // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. Вып. 10. С. 73–85.

68. Даценко Ю.С., Пуклаков В.В., Эдельштейн К.К. Оценка структуры баланса минерального фосфора в можайском водохранилище по результатам модельных расчетов // Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 9. С. 123–132.

69. Даценко Ю.С., Эдельштейн К.К. Основные факторы формирования и режима качества воды в источниках муниципального водоснабжения // Вода: химия и экология. 2010. № 8. С. 25–31.

70. Двуреченская С.Я. О влиянии сезонного фактора на формирование качества воды Новосибирского водохранилища в условиях изменения природно-техногенной ситуации // Сиб. экол. журн. 2006. № 6. С. 803–808.

71. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Желтозеленые водоросли (Xanthophyta) // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.-Л.: изд-во АН СССР, 1962. Вып. 5. 269 с.

72. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Матвиенко А.М., Шкорбатов Л.А. Зеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 8. М-Л.: Изд-во АН СССР, 1959. 230 с.

73. Джаяни Е.А. Межгодовые изменения фитопланктона Ириклинского водохранилища // Биология внутренних вод. 2020*а*. № 5. С. 450–457.

74. Джаяни Е.А. Фитопланктон проточного и зарегулированного участков р. Урал в разные сезоны // Поволжский экологический журнал. 2020*б*. № 1. С. 31–43.

75. Драбкин Б.С., Блюмина Л.С. Фитопланктон р. Урал в районе Орск–Оренбург // XX научная сессия Оренбург. мед. ин-та. Оренбург, 1963. С. 192–194.

76. Еремкина Т.В. К характеристике фитопланктона Ириклинского водохранилища // Вестник рыбохозяйственной науки. 2020. Т. 7. № 3(27). С. 51–68.

77. Ермохин М.В. Проблемы и перспективы исследования краевых структур биоценозов рек и водоемов речных долин // Актуальные вопросы изучения микро-, мейозообентоса и фауны зарослей пресноводных водоемов. Н. Новгород: Вектор ТиС, 2007. С. 101–129.

78. Жолткевич Г.Н., Беспалов Ю.Г., Носов К.В., Мэр К. Проблема биобезопасности эвтрофицированных источников питьевого водоснабжения: модель факторов устойчивости зоопланктона // Концепт. 2013. № 06 (июнь). ART 13125. 0,5 п.л. URL: http://e-

koncept.ru/2013/13125.htm. Гос. рег. Эл № ФС 77-49965. ISSN 2304-120X.

79. Жукинский В.Н., Оксиюк О.П., Цееб Я.Я., Георгиевский В.Б. Проект унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков и его применение для анализа качества вод // Гидробиологический журнал. 1976. Т. 12, № 6. С. 103–111.

80. Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Диатомовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Гос. изд-во «Советская Наука», 1951. Вып. 4. 616 с.

81. Залетаев В.С. Мировая сеть экотонов, ее функции в биосфере и роль в глобальных изменениях // Экотоны в биосфере. М., 1997*а*. С. 77–89.

82. Залетаев В.С. Структурная организация экотонов в контексте управления // Экотоны в биосфере. М., 1997*б*. С. 11–29.

83. Зонн И.С., Трофимов И.А., Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З. Земельные ресурсы аридных территорий России // Аридные экосистемы. 2004. Т. 10, № 22–23. С. 87–101.

84. Игнатенко М.Е., Яценко-Степанова Т.Н., Селиванова Е.А., Немцева Н.В. Дополнение к альгофлоре водоемов Оренбуржья // Бюл. Оренбург. науч. центра УрО РАН. 2013. № 2. С. 1–16.

85. Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России // http://gis.vodinfo.ru

86. Киселев И.А. Материалы к флоре водорослей района Среднего и нижнего течения р. Урала в пределах Оренбургской и Западно-Казахстанской областей // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. М.- Л.: АН СССР, 1954. Т. 16. С. 532–575.

87. Киселев И.А. Пирофитовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Гос. изд-во «Советская Наука», 1954. Вып. 6. 210 с.

88. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.

89. Кожова О.М. Водообмен и интенсивность вегетации фитопланктона Братского водохранилища // Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск: Наука, 1975. С. 75–78.

90. Козицкая В.Н. Влияние экологических факторов (освещение, температура) на рост водорослей // Гидробиологический журнал. 1989. № 6. С. 55–70.

91. Колозин В.А., Филинова Е.И., Мелёшин Д.И. Первые находки *Dreissena polymorpha*

(Pallas, 1771) в Ириклинском водохранилище // Российский журнал биологических инвазий. 2021. Т. 14. № 2. С. 63–69.

92. Комулайнен С.Ф., Чекрыжева Т.А., Вислянская И.Г. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 78 с.

93. Копылов А.И., Крылова И.Н., Косолапов Д.Б., Масленникова Т.С. Микробиологическая характеристика воды Иваньковского водохранилища // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. № 6. С. 728–74.

94. Копылов А.И., Лазарева В.И., Минеева Н.М., Масленникова Т.С., Стройнов Я.В. Влияние аномально высокой температуры воды на развитие планктонного сообщества водохранилищ Средней Волги летом 2010 г. // Доклады академии наук. 2012. Т. 442, № 1. С. 133–135.

95. Копылов А.И., Масленникова Т.С., Косолапов Д.Б. Сезонные и межгодовые колебания первичной продукции фитопланктона в Рыбинском водохранилище: влияние погодных и климатических изменений // Биология внутренних вод. 2019. № 3. С. 270–277.

96. Корнева Л.Г. Фитопланктон Рыбинского водохранилища: состав, особенности распределения, последствия эвтрофирования // Современное состояние экосистемы Рыбинского водохранилища. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. С. 50–114.

97. Корнева Л.Г. Сукцессия фитопланктона // Экология фитопланктона Рыбинского водохранилища. Тольятти: Самарский науч. центр, 1999. С. 89–148.

98. Корнева Л.Г. Альгофлора планктона водохранилищ волжского бассейна // Бот. журнал. 2008. Т. 93, № 11. С. 1673–1690.

99. Корнева Л.Г. Формирование фитопланктона водоемов бассейна Волги под влиянием природных и антропогенных факторов: Автореф. дис. … докт. биол. наук. С.-Пб., 2009. 47 с.

100. Корнева Л.Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома: Костромской печатный дом, 2015. 284 с.

101. Коршиков О.А. Підклас протококові (Protococcineae) // Визначник прісноводних водоростей УРСР. Київ: Вид-во АН УРСР, 1953. Вип. 5. 440 с.

102. Косинская Е.К. Десмидиевые водоросли // Флора споровых растений СССР. Т. V. Коньюгаты (2). М.-Л. Изд-во АН СССР. 1960. 706 с.

103. Крахмальный А.Ф. Динофитовые водоросли Украины (иллюстрированный определи-

тель / Крахмальный А. Ф. // Отв. ред. П.М. Царенко. Киев: Альтерпрес, 2011. 444 с.

104. Крупа Е.Г. Зоопланктон лимнических и лотических экосистем Казахстана. Структура, закономерности формирования. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. 392 с.

105. Крупа Е.Г., Цой В.Н., Лопарева Т.А., Пономарева Л.П., Анурьева А.Н., Садырбаева Н.Н., Асылбекова С.Ж., Исбеков К.Б. Многолетняя динамика гидробионтов озера Балхаш и ее связь с факторами среды // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2013. № 2. С. 85–96.

106. Крылов А.В. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 263 с.

107. Кузьмина А.Е. Фитопланктон р. Енисей в условиях зарегулирования (1972–1983 гг.) // Проблемы экологии Прибайкалья. Тез. Докл. к III Всесоюз. науч. конф. Иркутск, 1988. С. 105.

108. Куксн М.С. О периодичности развития сине-зеленых водорослей в Новосибирском водохранилище // Водоросли, грибы и лишайники лесостепной и лесной зон Сибири. Новосибирск, 1973. С. 90–95.

109. Куликовский М.С., Глущенко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль, 2016. 804 с.

110. Курейшевич А.В. Отклик фитопланктона эвтрофных водохранилищ на увеличение содержания в воде фосфора и азота // Гидробиологический журнал. 2005. Т. 41, № 4. С. 3–24.

111. Левич А.П., Личман Е.Г. Модельное изучение возможностей направленного изменения структуры фитопланктонного сообщества // Журнал общей биологии. 1992. Т. 53, № 5. С. 689–703.

112. Левич А.П., Максимов В.Н., Булгаков Н.Г. Теоретическая и экспериментальная экология фитопланктона: управление структурой и функциями сообществ. М.: Изд-во НИЛ. 1997. 192 с.

113. Литвинов А.С., Пырина И.Л., Рощупко В.Ф. Сопряженность межгодовой изменчивости характеристик гидрометеорологического режима и продуктивности фитопланктона в Рыбинском водохранилище // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. Тез. конференции. Минск: БГУ, 2003. С. 302.

114. Литвинов А.С., Рощупко В.Ф. Многолетняя и сезонная изменчивость водного баланса и водообмена водохранилищ верхней Волги // Водные ресурсы. 2000. Т. 27, № 4. С. 424–434.

115. Магрицкий Д.В., Кенжебаева А.Ж. Закономерности, характеристики и причины изменчивости годового и сезонного стока воды рек в бассейне р. Урал // Наука. Техника. Техно-

логия (политехнический вестник). 2017. № 3. С. 39–61.

116. Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина Н.М., Торопов П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова Г.С. Изменения стока в бассейне р. Урал // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2018. № 1. С. 90–101.

117. Маккавеев Н.И., Белинович И.В., Хмелева Н.В. Русловые процессы в зонах переменного подпора // Русловые процессы. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 318–337.

118. Маргалеф Р. Облик биосферы. М.: Мир, 1992. 214 с.

119. Матвієнко О.М., Литвиненко Р.М. Пірофітові водорості – Pyrrophyta // Визначник прісноводних водоростей УРСР. Київ: Наукова Думка, 1977. Вип. III. Ч. 2. 386 с.

120. Матвиенко А.М. Золотистые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Гос. изд-во «Советская Наука», 1954. Вып. 3. 186 с.

121. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.

122. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. Фитопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 32 с.

123. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 156 с.

124. Михайлов В.В. Оценка современного экологического состояния Новосибирского водохранилища по показателям развития фитопланктона: Дис. … канд. биол. наук. Омск, 2020. 155 с.

125. Михеева, Т.М. Сукцессия видов в фитопланктоне: определяющие факторы. Минск: Изд-во БГУ, 1983. 72 с.

126. Михеева Т.М. Структура и функционирование фитопланктона при эвтрофировании вод: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Минск, 1992. 63 с.

127. Михеева Т.М., Лукьянова Е.В. Направленность и характер многолетних изменений фитоценотической структуры и показателей количественного развития фитопланктонных сообществ Нарочанских озер в ходе эволюции их трофического статуса // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. 2006. Т. 8, № 1 (15). С. 125–140.

128. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. Рос. акад. наук, Сиб. отд., Институт водных и экол. проблем СО РАН. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 393 с.

129. Мордухай-Болтовской Ф.Д., Ривьер И.К. Беспозвоночные как показатели эвтрофирования водоемов // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. С. 28–33.

130. Муравейский С.Д. Наблюдения над весенним планктоном р. Урал и его стариц // Русский гидроб. журн. 1923. Т. II, № 1–2. С. 14–23.

131. Науменко Ю.В. Видовое разнообразие фитопланктона Оби // Сибирский экологический журнал. 1994. Т. 1. № 6. С. 575–580.

132. Науменко Ю.В. Водоросли фитопланктона реки Оби. Препринт. Новосибирск, 1995. 55 с.

133. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» / под редакцией Р.С.-Х. Эдельгериева. Т. 2. М.: ООО «Издательство МБА», 2019. 476 с.

134. Немцева Н.В., Игнатенко М.Е., Плотников А.О., Шабанов С.В. Экологические особенности развития фитопланктона открытых водоемов // Бюл. Оренбург. науч. центра УрО РАН. 2012. № 1. С. 1–11.

135. Общая характеристика речного бассейна / Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Урал (Российская часть). 2014. 274 с.

136. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.

137. Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. Т. 1, 325 с., Т.2. 376 с.

138. Отчет о научно-исследовательской работе по Государственному контракту от 26 ноября 2012 г. № 50-НИОКР/3-8-2012 по базовому проекту 12фцп-Н5-07 «Изучение влияния экстремально жарких периодов на гидрохимические и гидробиологические характеристики систем водоснабжения на примере г. Москвы» / Этап 1: «Предложения по формированию комплекса факторов, определяющих развитие продукционных процессов в экосистемах Можайского, Рузского, Озернинского и Истринского водохранилищ и в экосистемах водохранилищ водораздельного бьефа канала им. Москвы».

139. Охапкин А.Г. Фитопланктон Чебоксарского водохранилища. Тольятти: Самарский науч. центр РАН, 1994. 275 с.

140. Охапкин А.Г. Структура и сукцессии фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и ее притоков): Автореф. дис. … д-ра биол. наук. СПб., 1997. 48 с.

141. Охапкин А.Г. Динамика состава массовых видов фитопланктона при эвтрофировании и зарегулировании речного стока (на примере р. Волги) // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия Биология. 1999. № 1. С. 1–10.

142. Охапкин А.Г. Сукцессии фитопланктона при эвтрофировании и зарегулировании стока речных экосистем // Ботанический журнал. 2002. Т. 87, № 4. С. 84–92.

143. Охапкин А.Г., Микульчик И.А., Корнева Л.Г., Минеева Н.М. Фитопланктон Горьковского водохранилища. Тольятти: изд-во Самарского науч. Центра РАН, 1997. 224 с.

144. Павлейчик В.М., Сивохип Ж.П. Формирование качества поверхностных вод бассейна верхнего течения реки Урал в условиях техногенной трансформации природной среды // Водные ресурсы. 2013. Т. 40, № 5. С. 456–467.

145. Паламар-Мордвинцева Г.М. Кон'югати – Conjugatophyceae. Десмідієві – Desmidiales // Визначник прісноводних водоростей УРСР. Київ: Наукова Думка, 1986. Вип. YIII. Ч. 2. 320 с.

146. Паламарь-Мордвинцева Г.М. Зеленые водоросли. Класс Коньюгаты. Порядок Десмидиевые (2) // Определитель пресноводных водорослей СССР. Л.: Наука, 1982. Вып. 11(2). 620 с.

147. Паутова В.Н., Номоконова В.И. Динамика фитопланктона нижней Волги – от реки к каскаду. Тольятти: изд-во Самарского науч. центра РАН, 2001. 279 с.

148. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.

149. Пирожников П.Л. Биопродукционный эффект подпора крупных рек и его рыбохозяйственное значение // Волга-1. Проблемы изучения и рационального использования биологических ресурсов водоемов. Куйбышевское книжное изд-во, 1971. С. 193–208.

150. Попова Т.Г. Эвгленовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Гос. изд-во «Советская Наука», 1955. Вып. 7. 282 с.

151. Попченко И.И. Видовой состав и динамика фитопланктона Саратовского водохранилища. Тольятти, 2001. 148 с.

152. Порядина С.Н. Распределение альгофлоры р. Урал // Биология, экология, география споровых растений Средней Азии. Ташкент: ФАН УзССР, 1971. С. 39–40.

153. Порядина С.Н. Альгофлора реки Урал и ее притоков: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Ташкент, 1973*а*. 33 с.

154. Порядина С.Н. Сезонные изменения альгофлоры р. Урал // Экология и физиология микроорганизмов, водорослей и водных растений: Мат. конф. молодых ученых (5–7 февраля 1972 г.). Ташкент: Изд-во “Фан”, 1973*б*. С. 203–207.

155. Порядина С.Н., Эргашев А.Э. Эколого-флористический анализ водорослей реки Урал и ее притоков // Водоросли и грибы Средней Азии. Вып. 2. Ташкент, 1975. С. 57–77.

156. Порядина С.Н. Жовнир Г.П. Фитопланктон Ириклинского водохранилища в условиях интенсивного хозяйственного использования // Охрана природы и здоровье человека: Тез. докл. областной научно-практич. конф. Оренбург, 1983. С. 23–24.

157. Приймаченко А.Д. Фитопланктон Волги от Ярославля до Сталинграда: 1. Состав и численность фитопланктона до образования водохранилищ // Тр. ИБВ АН СССР. 1959. Вып. 2(5). С. 52–65.

158. Приймаченко А.Д. Состав и основные закономерности распределения биомассы фитопланктона в водохранилищах равнинных рек СССР // Тр. ИБВ АН СССР. 1960. Вып. 3(6). С. 59–86.

159. Приймаченко А.Д. Фитопланктон Волги от Ярославля до Волгограда в первые годы после сооружения Горьковской и Куйбышевской плотин // Растительность волжских водохранилищ. М.-Л., 1966. С. 3–35.

160. Приймаченко А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и Днепровских водохранилищ. Киев: Наукова Думка, 1981. 277с.

161. Пырина И.Л. Интенсивность фотосинтеза у водорослей в связи с сезонной освещенностью // Труды Института биологии водохранилищ. М.: Изд-во АН СССР. 1959. Вып. 1(4). С. 102–109.

162. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 847 с.

163. Россолимо Л.Л. Основы типизации озер и лимнологического районирования // Накопление веществ в озерах. М.: Наука, 1964. С. 5–46.

164. Россолимо Л.Л. Антропогенное эвтрофирование водоемов, его сущность и задачи исследования // Гидробиологический журнал. 1971. Т. 7, № 3. С. 98–108.

165. Савенко В.С., Савенко А.В. Геохимия фосфора в глобальном гидрологическом цикле. М.: ГЕОС. 2007. 257 с.

166. Сафонова Т.А. Эвгленовые водоросли Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1987.

192 с.

167. Сахарова Е.Г. Фитопланктон экотонных зон Рыбинского водохранилища: дис. … канд. биол. наук. Борок, 2017. 152 с.

168. Сахарова Е.Г., Корнева Л.Г. Фитопланктон // Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища. Ярославль: Филигрань, 2015. С. 138–149.

169. Сахарова Е.Г., Корнева Л.Г. Фитопланктон литорали и пелагиали Рыбинского водохранилища в годы с разным температурным и уровенным режимами // Биология внутренних вод. 2018. № 1. С. 11–18.

170. Сивохип Ж.П. Анализ эколого-гидрологической специфики трансграничного бассейна р. Урал в связи с регулированием стока // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2014. № 3. С. 87–94.

171. Сигарева Л.Е., Минеева Н.М. Фотосинтетическая активность фитопланктона в различных экологических условиях // Круговорот вещества и энергии в водоемах: Тез. докл. Ч. 2. Иркутск. 1985. С.78–80.

172. Сиренко Л.А. Эвтрофирование континентальных водоемов и некоторые задачи по его контролю // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. С. 137–153.

173. Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. Цветение воды и эвтрофирование. Киев: Наукова Думка, 1978. 230 с.

174. Современное состояние экосистемы Рыбинского водохранилища // Труды ИБВВ РАН. Вып. 67 (70). С-Пб.: Гидрометеоиздат, 1993. 254 с.

175. Соловых Г.Н., Раимова Е.К., Осадчая Н.Д., Фабарисова Л.Г., Никитина Л.П. Гидробиологическая характеристика Ириклинского водохранилища. Екатеринбург: УРО РАН, 2003. 179 с.

176. Структура и функционирование экосистемы Рыбинского водохранилища в начале XXI века. М.: РАН, 2018. 456 с.

177. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с.

178. Трифонова И.С., Афанасьева А.Л., Беляков В.П., Бардинский Д.С., Родионова Н.В., Русанов А.Г., Станиславская Е.В. Влияние колебаний гидрологического режима на состояние биологических сообществ эвтрофирующегося озера // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19, № 2(3). С. 561–569.

179. Управление эксплуатации Ириклинского водохранилища // http://ueiv.ru

180. Фитопланктон Нижней Волги. Водохранилища и низовье реки. С-Пб.: Наука, 2003. 232 с.

181. Фокина О.В. Материалы к флоре водорослей среднего течения реки Урал // Материалы по флоре растительности Сев. Прикаспия. Геогр. об-во СССР (Зап. Казахст. отд.). М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1968. Вып. 3. Ч. 2. С. 17–37.

182. Халиуллина Л.Ю., Яковлев В.А., Халиуллин И.И. Сезонная и межгодовая динамика фитопланктона в связи с уровенным режимом Куйбышевского водохранилища // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 4. С. 481–487.

183. Харченко Т.А. Концепция экотонов в гидробиологии // Гидробиологический журнал. 1991. Т. 27, № 4. С. 3–9.

184. Царенко П.М. Номенклатурно-таксономические изменения в системе «зелёных» водорослей // Альгология. 2005. Т. 15, № 4. С. 459–467.

185. Цветков А.И., Крылов А.В., Болотов С.Э. Отюкова Н.Г. Физико-химическая характеристика воды выделенных зон устьевой области притока // Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища. Ярославль: Филигрань. 2015. С. 56–75.

186. Чибилёв А.А., Павлейчик В.М., Дамрин А.Г. Ириклинское водохранилище: геоэкология и природно-ресурсный потенциал. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 183 с.

187. Шаров А. Н. Фитопланктон холодноводных озёрных экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов: Дис. … докт. биол. наук. Борок, 2020. 368 с.

188. Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Филимонова И.Г., Гришина Л.В., Кузина Е.Г. Формирование гидрохимического режима верхнего течения р. Урал в условиях техногенного регулирования стока // Поволжский экологический журнал. 2017. № 4. С. 417–425.

189. Шашуловский В.А., Мосияш С.С., Ермолин В.П., Далечина И.Н., Джаяни Е.А., Мосияш С.А., Сонина Е.Э., Филинова Е.И., Шашуловская Е.А. Развитие экосистемы и биоресурсного потенциала Волгоградского водохранилища в начале XXI века // Рыбное хозяйство. 2014. С. 49–55.

190. Шелль Ю.К. Материалы для ботанической географии Уфы и Оренбургской губернии (споровые растения) // Труды Общества Естествоиспытателей Императорского Казанского университета, 1883. Т. 12 (1). С. 92–184

191. Щербак В.І. Структурно-функціональна характеристика дніпровского фітопланктону: Автореф. дисс. … докт. биол. наук. Київ, 2000. 32 с.

192. Эдельштейн К.К. Водные массы долинных водохранилищ. М.: МГУ, 1991. 176 с

193. Эдельштейн К., Пуклаков В., Даценко Ю., Гречушникова О., Соколов Д. Современная методика расчета формирования качества воды в водохранилищах – источниках централизованного водоснабжения // Вода Magazine. 2013. № 6 (70). С. 48–54.

194. Эдельштейн К.К., Пуклаков В.В., Даценко Ю.С. Экспериментально-теоретические основы диагноза и прогноза цветения в водохранилищах-источниках муниципального водоснабжения // Вода Magazine. 2017. № 4 (116). С. 34–40.

195. Эдельштейн К., Даценко Ю., Пуклаков В. “Цветение” водохранилища многолетнего регулирования стока // Водные ресурсы. 2021. Т. 48, № 2. С. 164–172.

196. Экология фитопланктона Рыбинского водохранилища. Тольятти: Самарский науч. центр РАН, 1999. 264 с.

197. Яценко-Степанова Т.Н. Структурно-функциональная характеристика водорослевого сообщества и ее использование в оценке трофности водоемов озерного типа: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Оренбург, 2011. 48 с.

198. Яценко-Степанова Т.Н., Немцева Н.В., Шабанов С.В. Альгофлора Оренбуржья. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 201 с.

199. Яценко-Степанова Т.Н., Немцева Н.В., Муравьева М.Е. Флора диатомовых водорослей Оренбургской области // Вестник Оренбургского гос. ун-та. 2007. № 12. С. 51–55.

200. Adrian R., O’Reilly C.M., Zagarese H. et al. Lakes as sentinels of climate change // Limnology and Oceanography. 2009. V. 54. № 6. Pt 2. P. 2283–2297.

201. Algae of Ukraine: Diversity, Nomenclature, Taxonomy, Ecology and Geography. Vol. I. Cyanoprocaryota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta, and Rhodophyta / A.R.G. Gantner Verlag, Ruggell, 2006. 714 p.

202. Brookes J.D., Carey C.C. Resilience to blooms // Science. 2011. V. 334, № 6052. P. 46–47.

203. Castridi F., Hansen A.J., Holland M.M. (eds.) A new look at ecotones: emerging international projects on landscape boundaries // Biology International. 1988. Sp. Iss. № 17. 12 p.

204. Cholnoky B.J. Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern. J. Cramer, Lehre. 1968. 699 p.

205. Cloern J.E. Why large cells dominate estuarine phytoplankton // Limnology and Oceanography. 2018. V. 63. P. 392–409.

206. Edwards K.F., Klausmeier C.A., Litchman E. Evidence for a three-way trade-off between nitrogen and phosphorus competitive abilities and cell size in phytoplankton // Ecology. 2011. V. 92. № 11. P. 2085–2095.

207. Eppley, R.W. Temperature and phytoplankton growth in the sea // Fishery Bulletin. 1972. Vol. 70, № 4. P. 1063–1085.

208. Ettl H. Chlorophyta I. Phytomonadina // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 1983. Bd. 9. 807 s.

209. Fogg G.E. Algal Cultures and Phytoplankton Ecology. Madison and Milwaukee: University of Wisconsin Press, 1965. 1266 p.

210. Frings P.J., Fontorbe G., Clymans W., De La Rocha C.L., Conley D.J. The continental Si cycle and its impact on the ocean Si isotope budget // Chemical Geology. 2016. Vol. 425. P. 12–36. doi:10.1016/j.chemgeo.2016.01.020

211. Goncharov A.V., Puklakov V.V., Alekseeva L.I., Zamana V.G. The hydrometeorological conditions of phytoplankton growth in the water reservoirs of the Moscow Canal // Limnology and Freshwater Biology. 2020. № 4. C. 653–654.

212. Hillbricht-Ilkowska A. Miedzynarodowe sympozjum UNESCO-MAB na temat ecotonow. Sopron, Wegry, 23–27 maja, 1988 // Wiadomości Ekologiczne. 1989. V. 35, № 1. P. 87–89.

213. Hillebrand H., Dürselen C.D., Kirschtel D. et al. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae // J. Phycol. 1999. V. 35. P. 403.

214. Hodkinson I.D. Energy flow and organic matter decompositions in an abandoned beaver pond ecosystem // Oecologia. 1975. V. 21. P. 131–139.

215. Holland M.M. SCOPE/MAB technical consultations on landscape boundaries. Report of SCOPE/MAB Workshop on Ecotones // Biology International. 1988. Special Issue 17. P. 47–106.

216. Hutchinson, G.E. A treatise on limnology, Volume II. Introduction to lake biology and the limnoplankton. John Wiley & Sons, New York, London, and Sydney. 1967. 1115 p.

217. Jickells T. Atmospheric input of metals and nutrients to the oceans: their magnitude and effects // Marine Chemistry. 1995. № 48. P. 199–214.

218. Komárek J. Cyanoprocaryota 3. Teil: Heterocytous Genera // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2013. Bd. 19/3. P. 1–1131.

219. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 1999. Bd. 19/1. P. 1–548.

220. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprocaryota 2. Teil: Oscillatoriales // Süßwasserflora von

Mitteleuropa. 2005. Bd. 19/2. P. 1–759.

221. Komarek J., Fott B. Chlorophyceae (Grunalgen): Chlorococcales / Das Phytoplankton des Susswassern, Systematic und Biologie. Bd. 7 (1). Stuttgart. 1983. 1044 s.

222. Korneva L.G., Mineeva N.M. Phytoplankton composition and pigment concentration as indicator of water quality in the Rybinsk Reservoir // Hydrobiologia. 1996. V. 322 (1/3). P. 255. https://doi.org/10.1007/BF00031837

223. Krakhmalnyy A. F., Panina Z. A., Krakhmalnyy M. A. Dinophyta. Algae of Ukraine: Diversity, Nomenclature, Taxonomy, Ecology and Geography / Edited by P.M. Tsarenko, S.P. Wasser, E. Nevo. Vol. 1. Cyanoprocaryota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta, Rhodophyta. Liechtenstein: Ruggell. A.R.A. Gantner Verlag K.G., 2006. P. 383–452

224. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 1986. Bd. 2/1. 876 s.

225. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 1988. Bd. 2/2. 596 s.

226. Krammer K., Lange-Bertalot H. (Unter Mitarbeit von Håkansson, H. & Nurpel, M.) Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 1991a. Bd. 2/3. 576 s.

227. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae, kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1–4 // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 1991b. Bd. 2/4. 437 s.

228. Lin Y., Zhang H., Liu F., Yang J., Ma S. The research of the channel bed's deposition within varying backwater region of Dandjiangkou reservoir // Proceedings of the Tenth International Symposium od River Sedimentation. 2007. Vol. 6. P. 175–184.

229. National Weather Service, Climate Prediction Center, USA, URL: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/CAK.shtml

230. Nürnberg G. K. and M. Shaw, 1998: Productivity of clear and humic lakes: nutrients, phytoplankton, bacteria // Hydrobiologia. 1998. V. 382. P. 97–112

231. Paerl H.W., Paul V.J. Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria // Water Res. 2012. V. 46. P. 1349–1363.

232. Popovský J., Pfiester L.A. Dinophyceae (Diniflagellida) // Süßwasserflora von Mitteleuropa.

V. 990. Bd. 6. 272 s.

233. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing / R Core Team. 2015. [URL: http://www.R–project.org].

234. Reynolds C.S. The ecology of phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 535 p.

235. Richon C., Dutay J-C., Dulac F., Wang R., Balkanski Y., Nabat P., Aumont O., Desboeufs K., Laurent B., Guieu C., Raimbault P., Beuvier J. Modeling the impacts of atmospheric deposition of nitrogen and desert dust-derived phosphorus on nutrients and biological budgets of the Mediterranean Sea // Progress in Oceanography. 2017. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2017.04.009

236. Rosowski J. Photosynthetic euglenoids // Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification. Elsevier Sc.: Academic Press, 2003. P. 383–422.

237. Sherry A., Henson R. Conducting and Interpreting Canonical Correlation Analysis in Personality Research: A User-Friendly Primer // Journal of Personality Assessment. 2005. Iss. 84, № 1. P. 37-48.

238. Sládeček V. System of Water Quality from the Biological Point of View // Arch. Hydrobiol. 1973. Beih. 7. Ergebnisse der Limnologie. H. 7. 218 s.

239. Sládečeková A., Sládeček V. Bioindication within the aquatic environment // Acta Universitatis Carolinae. Environmentalica. 1993. V. 7. № 1–2. P. 3–69.

240. Smith V.H. Light and nutrient effects on the relative biomass of blue-green algae in lake phytoplankton // Canadian journal of fisheries and aquatic sciences. 1986. V. 43, № 1. P. 148–153.

241. Straile D., Adrian R. The North Atlantic Oscillation and plankton dynamics in two European lakes – two variations on a general theme // Global Change Biol. 2000. V. 6. P. 663–670.

242. The Changing flora and fauna of Britain / Ed. D.L. Hawksworth. London; New-York: Academe Press, 1974. P. 115–141.

243. Sommer U. Comparison between Steady State and Non-Steady State Competition: Experiments with Natural Phytoplankton // Limnology and Oceanography. 1985. V. 30. P. 335–346.

244. Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. 1983. Band 26. 175 s.

245. Weyhenmeyer G.A., Adrian R., Gaedke U. et al. Response of phytoplankton in European lakes to a change in the North Atlantic Oscillation // Verh. Int. Verein. Limnol. 2002. V. 28. P. 1436–1439.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Состав и встречаемость (%) видов фитопланктона исследованной акватории р. Урал и Ириклинского водохранилища

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
Bacillariophyta															
Achnanthidium minutissimum (Kützing) Czarnecki	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	75	0	0	0	0
Amphora ovalis (Kützing) Kützing	75	0	0	0	0	75	0	0	0	0	75	0	0	0	0
A. pediculus (Kützing) Grunow (=*A. ovalis* var. *pediculus* (Kützing))	100	25	0	25	25	100	0	0	0	0	100	0	25	0	0
Amphora sp. 1	50	0	0	0	25	50	0	0	0	0	50	0	25	0	25
Amphora sp. 2	25	0	0	25	0	50	0	0	0	25	25	0	0	0	0
Asterionella formosa Hassall	100	75	75	100	75	0	25	50	100	100	0	50	50	75	50
Aulacoseira ambigua (Grunow) Simonsen	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
A. granulata (Ehrenberg) Simonsen	50	75	75	75	75	50	75	100	100	100	25	75	100	100	100
A. granulata var. *angustissima* (O. Müller) Simonsen	0	0	0	0	0	0	0	25	25	0	0	0	25	25	25
A. distans (Ehrenberg) Simonsen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
A. italica (Ehrenberg) Simonsen	0	25	0	25	0	0	0	25	0	0	0	25	0	0	25
A. italica var. *tenuissima* (Grunow) Simonsen	25	50	0	25	25	0	0	0	0	0	0	25	0	25	0
Caloneis amphisbaena (Bory) Cleve	50	0	0	0	25	50	0	0	0	0	50	0	0	0	0
C. bacillum (Grunow) Cleve	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	25	0	25	0	0
C. silicula (Ehrenberg) Cleve	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	25	0	0	25	0
C. permagna (Bailey) Cleve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
Cocconeis pediculus Ehrenberg	50	0	0	0	50	25	0	25	25	25	25	0	25	25	0
C. placentula Ehrenberg	50	0	0	25	25	75	25	25	0	75	100	25	50	25	75
C. placentula var. *euglypta* (Ehrenberg) Cleve?	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	25	0	0	25	0
Craticula ambigua (Ehrenberg) D.G. Mann (=*Navicula cuspidata* var. *ambigua* (Ehrenberg) Cleve)	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cyclotella meneghiniana Kützing	100	100	100	25	25	100	100	75	50	50	100	25	25	50	50
Cyclotella sp.	100	100	100	75	100	100	100	75	100	75	75	75	100	100	75
Cymatopleura elliptica (Brébisson) W. Smith	25	0	0	0	0	50	0	0	0	0	25	0	0	0	0
C. elliptica var. *nobilis* (Hantzsch) Hustedt	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. solea (Brébisson) W. Smith	75	75	25	0	0	75	0	0	0	0	50	0	25	0	0
Cymbella affinis Kützing	75	0	0	0	25	25	0	25	0	0	50	0	25	0	0
C. parva (W. Smith) Kirchner	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. prostrata (Berk.) Cleve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0
Cymbella sp. 1	100	50	25	50	0	50	0	50	0	25	75	0	0	0	0
Cymbella sp. 2	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	25	0	0	0	0

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
Diatoma ehrenbergii Kützing	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D. moniliformis (Kützing) D.M. Williams (=*D. tenuis* var. *moniliformis* Kützing)	100	50	25	0	75	75	25	0	0	0	75	0	0	0	0
D. tenuis C. Agardh (=*D. elongata* (Lyngbye) C. Agardh)	100	100	100	50	50	0	0	25	0	0	50	25	25	0	0
D. vulgaris var. *linearis* Grunow in Van Heurck	0	0	0	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0
D. vulgaris var. *ovalis* (Fricke) Hustedt	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D. vulgaris Bory (=*D. vulgaris* var. *producta* Grunow)	75	25	0	0	50	0	75	0	0	75	0	50	75	25	50
Diploneis sp.	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
Epithemia sp.	0	0	0	0	50	50	0	0	0	50	50	0	0	0	25
Fallacia pygmaea (Kützing) Stickle & D.G. Mann (=*Navicula pygmaea* Kützing)	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fragilaria capucina Desmazières	50	25	25	50	50	50	0	25	75	75	75	25	0	50	50
F. crotonensis Kitton	100	75	25	25	50	50	25	100	100	100	25	25	50	75	75
F. rhabdosoma Ehrenberg (=*F. bidens* Heiberg)	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F. vaucheriae (Kützing) J.B. Petersen (=*Synedra vaucheriae* (Kützing) Kützing)	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fragilaria sp. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0
Fragilaria sp. 2	0	25	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gomphonella calcarea (Cleve) R. Jahn & N.Abarca (=*Gomphonema olivaceum* var. *calcareum* (Cleve) Van Heurck)	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
Gomphonema olivaceum (Hornemann) Brebisson var. *olivaceum*	75	25	50	50	50	50	0	50	0	0	75	25	50	0	50
G. parvulum (Kützing) Kützing	100	0	0	0	0	50	0	25	0	0	0	0	0	25	0
G. tergestinum (Grunow) Fricke	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	25	0	0	0
Gomphonema sp. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
Gyrosigma acuminatum (Kützing) Rabenhorst	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
G. attenuatum (Kützing) Rabenhorst	25	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0
G. kützingii (Grunow) Cleve)	75	0	0	0	25	75	0	0	0	0	75	0	0	0	0
Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow	0	0	0	0	0	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0
Hippodonta capitata (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski (=*Navicula hungarica* var. *capitata* (Ehrenberg) Cleve)	25	25	0	0	0	25	0	0	0	0	25	50	0	0	0
Iconella biseriata (Brébisson) Ruck & Nakov (=*Surirella biseriata* Brébisson)	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I. nervosa (A.W.F. Schmidt) C. Cocquyt & R. Jahn	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
(=*Surirella tenera* var. *nervosa* A.W.F. Schmidt) *Lindavia comta* (Kützing) T. Nakov & al. (=*Cyclotella comta* (Ehrenberg) Kützing)	25	0	0	0	25	25	25	0	0	25	25	0	50	100	75
Melosira varians C. Agardh	25	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0
Navicula capitatoradiata H. Germain ex Gasse (=*N. cryptocephala* var. *intermedia* Grunow)	100	25	25	25	25	100	25	25	0	0	75	25	25	0	25
N. cryptocephala Kützing	75	0	0	25	0	25	0	25	0	0	25	0	25	0	25
N. cryptotenella Lange-Bertalot	25	0	0	25	25	0	0	25	0	0	25	25	50	25	25
N. menisculus Schumann	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	25	0	0	0	0
N. radiosa Kützing	75	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
N. reinhardtii (Grunow) Grunow	25	0	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N. rhynchocephala Kützing	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
N. slesvicensis Grunow (=*N. viridula* var. *slesvicensis* (Grunow) Grunow)	50	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N. tripunctata (O.F. Müller) Bory (=*N. gracilis* Ehrenberg)	75	25	75	25	75	50	50	25	0	0	75	25	50	75	100
N. veneta Kützing (=*N. cryptocephala* var. *veneta* (Kützing) Rabenhorst)	50	0	0	100	75	50	50	25	25	25	100	0	0	50	50
N. viridula (Kützing) Ehrenberg	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
Navicula sp. 1	0	25	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0
Navicula sp. 2	25	50	0	0	0	0	25	0	0	0	25	0	25	0	0
Navicula sp. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
Navicula sp. 4	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Navicula sp. 5	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	25
Navicula sp. 6	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitzschia acicularis (Kützing) W. Smith	100	100	75	50	0	75	100	50	50	25	100	50	25	25	0
N. dissipata (Kützing) Rabenhorst	75	25	0	25	25	75	0	50	0	25	50	0	25	75	0
N. fruticosa Hustedt	0	50	0	0	0	50	75	25	0	0	25	25	25	0	0
N. gracilis Hantzsch	50	100	25	25	25	75	75	25	0	50	75	50	25	25	0
N. linearis W. Smith	75	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N. palea (Kützing) W. Smith	100	75	75	0	25	75	50	25	25	25	75	75	50	0	0
N. paleacea (Grunow) Grunow	25	0	25	25	0	25	25	0	25	0	25	25	0	25	0
N. recta Hantzsch ex Rabenhorst	75	100	100	100	100	50	0	0	0	0	75	25	25	25	0
N. sigma (Kützing) W. Smith	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
N. sigmoidea (Nitzsch) W. Smith	50	0	0	0	0	25	0	0	0	0	50	0	0	0	0

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
N. vermicularis (Kützing) Hantzsch	100	25	25	75	0	50	0	25	0	0	50	25	25	0	25
Nitzschia sp. 1	100	50	50	75	75	100	50	75	50	0	100	50	50	0	75
Nitzschia sp. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
Nitzschia sp. 3	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitzschia sp. 4	50	25	0	0	25	25	0	0	25	25	0	0	0	0	0
Nitzschia sp. 5	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pinnularia major (Kützing) Rabenhorst	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pinnularia sp. 1	0	0	0	0	0	25	0	0	0	25	0	0	0	0	0
Punctastriata lancettula (Schumann) P.B. Hamilton & Siver (=*Fragilaria pinnata* var. *lancettula* (Schumann) Hustedt)	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rhoicosphenia abbreviata (C. Agardh) Lange-Bertalot (=*R. curvata* (Kützing) Grunow)	50	0	25	25	0	50	25	25	0	50	25	0	0	50	25
Rhopalodia gibba (Ehrenberg) O. Müller	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
Rhopalodia sp.	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sellaphora bacillum (Ehrenberg) D.G. Mann (=*Navicula bacillum* Ehrenberg)	0	0	0	0	25	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0
S. pupula (Kützing) Mereschkovsky (=*Navicula pupula* Kützing)	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Skeletonema subsalsum (Cleve-Euler) Bethge	0	0	25	0	0	0	50	25	0	0	0	50	50	0	0
Staurosira binodis (Ehrenberg) Lange-Bertalot	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
Stephanodiscus hantzschii Grun.	100	100	75	50	50	75	100	100	75	75	100	100	75	75	100
S. neoastraea Håkansson & Hicke?	25	50	50	50	50	50	75	75	50	0	0	75	75	100	100
Stephanodiscus sp. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
Stephanodiscus sp.2	0	25	50	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
Surirella angusta Kützing	50	50	25	25	25	0	0	0	0	0	0	25	25	25	0
S. brebissonii var. *kuetzingii* Krammer & Lange-Bertalot (=*S. ovata* Kützing)	100	75	75	25	25	75	0	25	0	0	75	25	0	0	0
S. minuta Brébisson ex Kützing, nom. illeg. (=*S. ovata* var. *pinnata* (W. Smith) Hustedt)	0	25	0	25	0	0	25	25	0	0	25	0	0	0	0
Synedra nana F. Meister ?	25	25	0	0	0	25	25	0	25	25	0	0	25	0	0
*S. tabulata (*C.Agardh) Kützing	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
Tryblionella apiculata W. Gregory (=*Nitzschia apiculata* (W. Gregory) Grunow)	0	0	0	25	0	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0
T. hungarica (Grunow) Frenguelli (=*Nitzschia hungarica* Grunow)	100	50	25	0	0	50	25	0	0	0	50	0	25	50	0
Tryblionella sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	50	0	0

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
Ulnaria acus (Kützing) Aboal (=*Synedra acus* Kützing)	100	75	75	25	25	50	25	25	25	25	25	25	0	25	50
U. amphirhynchus (Ehrenberg) Compère & Bukhtiyarova (=*Synedra ulna* var. *amphirhynchus* (Ehrenberg) Grunow)	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U. delicatissima var. *angustissima* (Grunow) Aboal & P.C. Silva (=*Synedra acus* var. *angustissima* Grunow)	25	50	25	25	25	25	25	25	0	0	0	0	25	25	50
U. ulna (Nitzsch) Compère (=*Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg)	100	75	50	75	25	75	25	0	0	0	25	0	50	0	25
Cyanobacteria															
Aphanizomenon flosaquae Ralfs ex Bornet & Flahault	25	50	50	0	25	0	75	100	100	100	0	25	25	100	50
Aphanocapsa holsatica (Lemmermann) G. Cronberg & Komárek	0	0	0	0	0	0	75	25	50	25	0	0	25	25	25
A. incerta (Lemmermann) G. Cronberg & Komárek	0	50	25	0	25	0	75	100	50	100	25	75	50	100	100
Aphanocapsa sp.	0	0	0	0	0	0	25	50	0	0	0	25	25	0	0
Aphanothece sp.	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
Coelosphaerium kuetzingianum Nägeli	0	50	25	0	0	25	75	50	25	25	0	25	0	0	25
Cuspidothrix issatschenkoi (Usachev) P. Rajaniemi, Komárek, R. Willame, P. Hrouzek, K. Kastovská, L. Hoffmann & K. Sivonen	0	25	0	0	0	0	50	25	25	25	0	0	0	0	50
Dolichospermum flosaquae (Brébisson ex Bornet & Flahault) P. Wacklin, L. Hoffmann & J. Komárek	0	0	0	25	0	0	100	100	50	50	0	0	0	25	50
D. lemmermannii (Richter) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	0	25	0	0	25	0	75	50	75	50	0	0	0	0	0
D. scheremetieviae (Elenkin) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek (=*Anabaena scheremetieviae* Elenkin)	0	0	0	0	0	0	75	75	25	0	0	0	0	0	0
Dolichospermum sp. 1	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dolichospermum sp. 2	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
Leptolyngbya tenuis (Gomont) Anagnostidis & Komárek (=*Phormidium tenue* Gomont)	0	0	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0
Limnothrix redekei (Goor) Meffert	0	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	75	50	50	75
Marssoniella elegans Lemmermann	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	25	0	0	0
Merismopedia punctata Meyen	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	25	25	0	25
M. tenuissima Lemmermann	0	25	25	0	0	25	75	50	50	0	0	50	50	0	0
Microcystis aeruginosa (Kützing) Kützing	50	25	25	0	25	75	100	75	75	50	25	0	50	25	25
M. wesenbergii (Komárek) Komárek ex Komárek	0	0	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0
Microcystis sp. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
Microcystis sp. 2	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	50	0	0
Planktolyngbya limnetica (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg (=*Lyngbya limnetica* Lemmermann)	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	25	25

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
Planktothrix agardhii (Gomont) Anagnostidis & Komárek (=*Oscillatoria agardhii* Gomont)	0	50	25	0	25	25	50	0	25	0	0	0	25	0	0
Pseudanabaena catenata Lauterborn	0	25	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P. limnetica (Lemmermann) Komárek	0	50	25	50	0	25	25	50	50	25	25	50	50	50	0
P. mucicola (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe (=*Phormidium mucicola* Nauman & Huber-Pestalozzi)	0	0	0	0	0	0	25	50	50	0	0	0	25	0	25
Pseudanabaena sp. 1	0	0	0	25	25	0	25	0	0	0	25	25	25	0	0
Pseudanabaena sp. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
Rhabdoderma lineare Schmidle & Lauterborn	0	25	0	0	0	0	50	25	25	25	0	25	50	0	0
Rhabdogloea scenedesmoides (Nygaard) Komárek & Anagnostidis (=*Dactylococcopsis scenedesmoides* Nygaard)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	25
Snowella lacustris (Chodat) Komárek et Hindák (=*Gomphosphaeria lacustris* Chodat)	0	25	25	25	0	25	25	25	25	25	0	50	50	50	25
Woronichinia compacta (Lemmermann) Komárek & Hindák (=*Gomphosphaeria lacustris* f. compacta (Lemmermann) Elenkin)	0	25	0	0	0	25	75	25	25	0	0	50	25	25	75
Chlorophyta															
Actinastrum hantzschii Lagerheim	50	50	0	0	0	75	100	25	0	0	0	50	50	0	0
Ankistrodesmus fusiformis Corda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0
A. gracilis (Reinsch) Korshikov	75	25	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ankyra judayi (G.M. Smith) Fott	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
A. lanceolata (Korshikov) Fott	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0
Binuclearia lauterbornii (Schmidle) Proschkina-Lavrenko	0	0	25	0	0	0	25	25	25	0	0	25	25	0	25
Carteria globosa Korschikov	75	0	0	0	25	25	75	75	0	25	0	50	50	25	25
C. sphagnicola Matvienko	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
Carteria sp.	25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	25	25	0
Chlamydomonas globosa J.W. Snow	75	100	0	25	50	50	25	25	25	75	50	25	25	25	0
Ch. monadina (Ehrenberg) F. Stein	75	25	25	25	0	100	75	0	25	25	25	0	0	0	0
Ch. reinhardtii Dangeard?	50	25	75	50	25	50	0	50	0	25	25	0	0	0	50
Chlamydomonas sp. 1	75	0	25	25	0	75	75	25	25	25	25	25	25	0	25
Chlamydomonas sp. 2	50	50	50	0	0	50	0	0	0	25	0	25	0	0	0
Chlamydomonas sp. 3	75	25	75	50	25	25	50	0	25	50	25	50	25	0	25
Chlorangiopsis piriformis (Korshikov) Korshikov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
Chlorococcum sp.	25	25	0	25	0	25	50	50	25	25	0	25	0	0	0
Chlorogonium sp.	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	25	0	0	0

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
Closteriopsis acicularis (Chodat) J.H. Belcher & Swale	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	25	0	25	0	25
Coelastrum astroideum De Notatis	0	50	25	0	0	100	100	75	25	0	100	50	25	25	25
C. microporum Nägeli	50	75	50	0	0	75	25	25	0	25	25	25	50	0	0
Coenochloris fottii (Hindák) Tsarenko (=*Eutetramorus fottii* (Hindák) Komárek, *Sphaerocystis schroeteri* Chodat)	0	0	0	0	0	25	0	50	0	0	0	0	0	0	0
Coenochloris sp.	0	25	0	0	0	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0
Coenococcus polycoccus (Korshikov) Hindák (=*Eutetramorus polycoccus* (Korshikov) Komárek, *Sphaerocystis polycocca* Korshikov)	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coronastrum lunatum R.H. Thompson	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
Crucigenia fenestrata (Schmidle) Schmidle	0	25	0	0	0	0	50	25	0	0	0	50	50	25	50
C. quadrata Morren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
C. tetrapedia (Kirchner) W. et G.S. West	0	25	0	0	0	0	100	75	25	0	0	75	75	75	0
Crucigeniella rectangularis (Nägeli) Komárek	0	25	25	0	0	50	75	25	0	0	25	50	50	0	0
Dichotomococcus curvatus Korshikov	25	0	0	0	0	25	50	0	0	0	0	50	0	25	25
Dictyosphaerium ehrenbergianum Nägeli	0	0	25	0	0	25	0	0	0	0	0	50	0	0	0
D. pulchellum Wood	75	75	50	0	50	100	75	75	25	50	0	100	75	25	75
D. subsolitarium Van Goor	25	25	0	0	0	25	25	50	0	0	0	0	0	0	25
Didymocystis inermis (Fott) Fott	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	25	0	0	0
Diplochloris lunata (Fott) Fott (=*Dichotomococcus lunatus* Fott)	25	25	0	25	0	25	25	75	0	0	0	0	0	25	0
Elakatothrix sp.	0	0	25	50	0	0	0	0	0	25	0	25	0	25	25
Eremosphaera eremosphaeria (G.M. Smith) R.L. Smith & Bold (=*Oocystis eremosphaeria* G.M. Smith)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0
Eudorina elegans Ehrenberg	50	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Franceia sp.	0	0	0	0	0	25	0	50	0	0	0	25	0	0	0
Golenkinia radiata Chodat	25	25	25	0	0	25	50	25	25	25	0	0	0	0	0
Gonium pectorale O.F. Müller	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G. sociale (Dujardin) Warming	75	0	0	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kirchneriella contorta (Schmidle) Bohlin	0	50	0	0	0	75	50	0	0	0	25	25	50	0	0
K. contorta var. *elegans* (Playfair) Komárek	0	0	0	0	0	25	25	25	0	0	0	0	25	0	0
K. lunaris (Kirchner) Möbius	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	25	0	0	0
Kirchneriella sp. 1	25	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
Koliella longiseta (Vischer) Hindák	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0
Lagerheimia chodatii C. Bernard	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
L. ciliata (Lagerheim) Chodat	25	0	0	0	0	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0
L. genevensis (Chodat) Chodat	50	50	75	75	25	75	0	25	0	0	25	50	25	0	25
L. wratislaviensis Schrőder	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
Micractinium pusillum Fresenius	50	100	75	0	0	50	75	50	0	0	25	25	25	0	50
Monoraphidium arcuatum (Korshikov) Hindák	100	100	50	50	25	75	0	0	0	0	25	0	0	25	0
M. contortum (Thuret) Komárková-Legnerová	100	75	100	100	100	100	100	75	50	50	100	100	75	100	100
M. griffithii (Berkeley) Komárková-Legnerová	100	75	25	100	25	100	75	75	25	25	50	25	100	0	50
M. komarkovae Nygaard	100	75	75	25	0	25	0	25	0	0	25	75	25	0	25
M. minutum (Nägeli) Komárková-Legnerová	75	100	25	0	50	75	100	75	0	0	50	75	75	75	75
M. tortile (West & G.S. West) Komárková-Legnerová	0	50	0	0	0	25	25	50	25	0	0	50	25	25	25
Monoraphidium sp.	50	25	75	50	0	50	100	50	0	0	0	0	50	25	25
Oocystis borgei Snow	25	25	25	0	0	25	25	25	25	25	0	0	50	0	0
O. lacustris Chodat	25	25	25	0	0	100	100	75	25	25	0	75	50	0	50
O. marssonii Lemmermann	50	25	0	0	0	100	50	100	25	0	0	100	25	50	50
O. novae-semliae Wille	25	25	0	0	0	0	50	0	0	0	0	25	0	0	0
O. submarina Lagerheim	25	0	0	0	0	25	0	0	0	25	0	50	25	25	0
Oocystis sp.	50	50	25	0	0	25	25	25	25	25	25	25	0	50	25
Pandorina morum (O.F. Müller) Bory	100	25	25	50	0	75	50	50	25	50	0	25	0	0	0
Pediastrum boryanum (Turpin) Meneghini	75	75	50	0	0	100	100	50	25	50	100	50	25	0	0
P. duplex Meyen	0	50	0	0	0	100	75	75	75	75	50	50	50	0	100
P. duplex var. *gracillimum* W. et G.S. West	0	25	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0
P. simplex Meyen	0	0	25	0	0	0	75	0	0	0	0	0	50	0	0
P. tetras (Ehrenberg) Ralfs	0	25	0	0	0	75	75	50	0	0	0	0	25	0	0
Phacotus sp.	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Planktosphaeria gelatinosa G.M. Smith	25	50	0	0	0	25	25	25	0	0	0	0	0	25	0
Polyedriopsis spinulosa (Schmidle) Schmidle	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
Pseudocarteria peterhofiensis (Kisselev) H. Ettl (=*Carteria peterhofiensis* Kisselev)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
Pseudodidymocystis planctonica (Korshikov) E. Hegewald & Deason (=*Didymocystis planctonica* Korschikov)	0	0	0	0	0	25	50	25	0	0	0	25	0	0	0
Pteromonas aculeata Lemmermann	0	25	25	0	0	0	75	25	0	0	0	0	0	0	0
P. torta Korshikov	25	75	100	0	25	0	100	75	0	0	50	50	25	0	0
Pteromonas sp.	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quadricoccus ellipticus Hortobágyi	25	75	50	0	0	50	25	50	0	25	0	0	25	25	25

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
Scenedesmus aculeolatus Reinsch	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
S. acuminatus (Lagerheim) Chodat	50	100	50	0	0	75	75	50	0	0	25	75	50	0	0
S. acutus Meyen	100	75	50	0	0	100	50	50	0	25	75	75	50	0	25
S. armatus Chodat	25	25	0	0	0	50	25	0	0	0	50	0	25	0	0
S. bicaudatus Dedusenko	25	25	25	0	0	75	50	75	0	0	75	50	50	25	25
S. coalitus Hortobágyi ?	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S. communis E. Hegewald	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S. denticulatus Lagerheim	0	0	0	0	0	50	50	25	0	0	0	0	0	0	0
S. ellipticus (West & G.S. West) Chodat	0	50	0	0	0	25	0	0	0	0	25	50	0	0	0
S. gutwinskii Chodat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
S. helveticus Chodat	0	0	0	0	0	25	0	25	0	0	50	0	0	0	0
S. incrassatulus Bohlin	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S. intermedius Chodat	50	100	50	0	25	100	25	25	0	0	75	50	25	0	50
S. intermedius var. *balatonicus* Hortobágyi	0	0	0	0	0	25	0	0	25	0	0	0	25	25	50
S. linearis Komárek	0	25	0	25	0	50	75	25	0	0	25	50	25	0	0
S. magnus Meyen	50	25	0	0	0	50	0	0	0	0	50	0	0	0	0
S. obliquus (Turpin) Kützing	0	0	25	0	0	25	0	0	0	0	25	25	0	0	0
S. obtusus Meyen f. obtusus	0	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	25	0	0
S. obtusus f. alternans (Reinsch) Compère	0	0	0	0	0	50	25	0	0	0	0	0	0	0	0
S. opoliensis P.G. Richter	25	0	0	0	0	50	0	0	0	0	75	0	0	0	0
S. opoliensis var. *mononensis* Chodat	50	100	50	25	0	100	25	0	0	0	50	0	0	0	0
S. ovalternus Chodat	0	25	0	0	0	100	75	0	0	0	0	0	0	25	0
S. protuberans Fritsch	0	25	0	0	0	25	0	0	0	0	0	25	0	0	0
S. quadricauda (Turpin) Brébisson	100	100	100	25	25	100	100	75	25	25	100	100	50	25	0
S. quadrispina Chodat	0	50	50	0	0	75	50	50	25	0	25	50	50	50	75
S. sempervirens Chodat	50	50	0	0	0	50	75	75	0	0	50	75	0	25	0
S. ecornis (Ehrenberg) Chodat	0	25	25	75	75	50	25	25	0	0	0	25	25	25	25
Scenedesmus sp. 1	0	25	0	25	0	25	25	0	0	0	25	25	0	0	50
Scenedesmus sp. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
Schroederia setigera (Schröder) Lemmermann	0	50	50	0	25	25	50	75	50	50	0	75	50	0	25
Tetrachlorella alternans (G.M. Smith) Korshikov	0	0	0	0	0	25	0	0	25	0	0	0	0	0	0
Tetraëdron caudatum (Corda) Hansgirg	25	25	0	0	0	75	75	50	0	0	0	25	0	0	0
T. incus (Teiling) G.M. Smith	0	50	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T. minimum (A. Braun) Hansgirg	25	50	25	0	0	75	100	75	0	0	25	100	25	25	0

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
T. triangulare Korshikov	0	25	0	0	0	25	25	0	0	0	0	25	0	0	0
Tetraselmis cordiformis (H.J. Carter) F. Stein (=*Platymonas cordiformis* Korshikov)	25	0	25	25	0	0	100	50	25	25	50	25	75	75	75
Tetrastrum elegans Playfair	0	25	25	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T. glabrum (Y.V. Roll) Ahlstrom & Tiffany	0	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0
T. staurogeniaeforme (Schröder) Lemmermann	100	100	75	50	0	100	75	50	0	0	50	50	25	25	25
T. triangulare (Chodat) Komárek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	25	50
Treubaria triappendiculata Bernard	50	25	25	0	0	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0
Trochiscia aciculifera (Lagerheim) Hansgirg	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vitreochlamys velata (Korshikov) Massjuk (=*Chlamydomonas velata* Korshikov)	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Westella botryoides (W. West) De Wildeman	0	0	0	0	0	50	25	0	0	0	0	0	0	25	0
сем. Volvocaceae (не определенные до вида)	0	0	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cryptophyta															
Chroomonas nordstedtii Hansgirg	25	0	0	0	0	25	0	0	0	25	50	0	0	0	0
Chroomonas sp.	25	0	25	50	75	25	25	0	25	50	50	25	25	25	25
Cryptomonas curvata Ehrenberg	100	75	100	100	100	0	75	50	50	75	0	100	100	75	100
C. erosa Ehrenberg	75	75	100	75	50	100	100	100	75	100	50	75	75	100	100
C. marssonii Skuja	75	75	75	50	75	75	75	50	50	25	50	100	50	50	75
C. obovata Skuja	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. ovata Ehrenberg	25	25	50	25	50	0	25	25	0	25	0	75	100	75	25
C. platyuris Skuja	0	0	0	0	0	0	25	25	25	0	0	25	0	0	0
C. reflexa (Marsson) Skuja	0	50	50	0	25	75	0	25	25	0	0	25	0	0	0
Komma caudata (L. Geitler) D.R.A. Hill	100	75	100	100	100	100	75	100	100	100	100	100	100	100	100
Rhodomonas lens Pascher & Ruttner	0	25	100	100	100	0	0	0	0	0	75	75	100	100	100
Rhodomonas sp.	50	50	100	100	75	25	50	75	25	100	50	75	50	50	75
Dinophyta															
Ceratium hirundinella (O.F.M.) Bergh	0	25	0	25	25	25	25	75	100	100	0	25	0	25	25
Diplopsalis acuta (Apstein) Entz (=*Peridinium latum* Paulsen)	0	0	0	0	0	0	25	50	50	75	0	0	0	25	50
Gymnodinium helveticum Penard	0	25	25	75	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gymnodinium sp. 1	50	50	75	75	100	50	75	75	0	75	0	50	0	0	0
Gymnodinium sp. 2	0	0	25	0	0	25	0	25	0	25	0	0	0	0	0
Peridiniopsis elpatiewskyi (Ostenfeld) Bourrelly (=*Glenodinium elpatiewskyi* (Ostenfeld) Schiller)	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
P. kevei Grigorszky & F.Vasas	0	0	0	0	0	0	25	50	0	0	0	0	0	0	0
P. penardiformis (Er. Lindemann) Bourrelly (=*Glenodinium penardiforme* (Er. Lindemann) J. Schiller)	0	25	0	0	0	100	100	75	0	50	0	0	0	0	0
P. polonica (Woloszynska) Bourrelly (=*Glenodinium gymnodinium* Penard)	25	25	0	0	0	0	50	50	25	50	25	0	0	0	0
P. quadridens (F.Stein) Bourrelly (=*Glenodinium quadridens* (Stein) Schiller)	0	25	0	0	0	25	75	25	25	25	0	25	0	0	0
Peridiniopsis sp.	0	75	0	50	0	75	100	50	25	50	0	25	0	25	25
Peridinium cinctum (O.F. Müller) Ehrenberg	0	0	0	0	0	0	0	25	0	75	0	25	25	0	0
Euglenophyta															
Euglena acus Ehrenberg	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
E. granulata (G.A.Klebs) F.Schmitz	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E. oxyuris Schmarda	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	25	0	0	0
E. proxima P.A. Dangeard	0	25	0	25	0	25	0	0	0	0	0	25	0	0	0
E. texta (Dujardin) Hübner	25	25	25	0	0	0	50	0	0	0	0	25	25	0	0
E. viridis Ehrenberg	100	100	25	0	0	100	100	25	0	0	25	25	0	25	0
Euglena sp. 1	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	25	0
Euglena sp. 2	0	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0
Euglena sp. 3	0	0	25	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
Lepocinclis ovum (Ehrenberg) Lemmermann	50	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Monomorphina pyrum (Ehrenberg) Mereschkowsky	25	25	25	0	0	0	50	0	0	0	0	50	0	0	0
Phacus caudatus Hübner	0	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
Ph. curvicauda Svirenko	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ph. longicauda (Ehrenberg) Dujardian	0	25	25	0	0	0	25	0	0	0	0	25	0	0	0
Ph. pleuronectes (Ehrenberg) Dujardian	0	0	25	0	0	25	50	0	0	0	0	0	0	0	0
Ph. striatus Francé	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0
Strombomonas acuminata (Schmarda) Deflandre (=*S. acuminata* var. *verrucosa* Teodoresco)	0	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
S. fluviatilis (Lemmermann) Deflandre	25	50	0	0	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0
Trachelomonas granulata Svirenko ?	0	75	50	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
T. intermedia P.A.Dangeard	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0
T. planctonica Svirenko	0	100	50	25	0	25	100	25	0	0	0	25	25	0	0
T. volvocina (Ehrenberg) Ehrenberg	0	25	25	0	0	25	50	75	25	0	0	25	50	0	0
Trachelomonas sp. 1	50	100	100	0	0	25	100	25	0	0	0	50	50	0	0

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
Trachelomonas sp.2	0	0	0	0	0	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0
Streptophyta															
Closterium aciculare T. West	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. aciculare var. *subpronum* (West & G.S. West) West & G.S. West	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25
C. acutum var. *linea* (Perty) West & G.S. West	0	0	0	0	25	25	50	25	0	0	0	50	25	0	25
C. acutum var. *variabile* (Lemmermann) Willi Krieger	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	50	100	100	75
C. gracile Brébisson ex Ralfs	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. parvulum Nägeli	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. peracerosum F. Gay	0	50	50	25	0	25	0	0	0	0	25	25	0	25	100
C. pronum Brébisson	0	50	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
C. pronum f. brevius (West) Kossinskaja	0	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosmarium botrytis Meneghini ex Ralfs	0	0	0	0	0	25	25	0	25	0	0	0	0	0	0
C. laeve Rabenhorst	50	0	0	0	0	25	0	0	0	0	25	0	25	0	0
C. phaseolus var. *minus* (Boldt) Willi Krieger & Gerloff	0	0	0	0	0	0	75	50	0	0	0	50	50	0	25
C. subcrenatum Hantzsch	0	0	0	0	0	50	0	50	0	0	50	0	25	0	0
Cosmarium sp. 1	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosmarium sp. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
Cosmarium sp. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	25	25	0
Mougeotia sp. 1	0	0	0	0	0	0	25	0	50	75	0	0	25	25	25
Staurastrum sp. 1	75	0	0	0	0	75	25	75	50	50	25	25	25	50	50
Staurastrum sp. 2	0	0	0	0	0	0	50	25	0	0	0	25	0	0	0
Chrysophyta															
Chrysococcus rufescens Klebs	50	25	0	0	0	0	0	0	0	0	50	25	0	0	0
Dinobryon divergens O.E. Imhof	25	25	25	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
D. sociale var. *americanum* (Brunnthaler) Bachmann	25	0	0	0	0	0	25	50	25	50	0	0	0	0	0
Kephyrion cordatum (Hilliard) Starmach	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K. rubri-claustri Conrad	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25	0	0	0
Kephyrion sp.	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mallomonas tonsurata Teiling	0	25	50	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0
Mallomonas sp. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0
Mallomonas sp. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
Pseudokephyrion sp.	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Synura sp.	25	0	0	25	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
Uroglena sp.	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Вид	Весна					Лето					Осень				
	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП	Р	ЧП	СП	ТСП	ПП
Xanthophyta															
Centritractus sp.	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0
Goniochloris fallax Fott	0	25	0	0	0	25	50	0	0	0	0	0	25	0	0
G. mutica (A. Braun) Fott	0	50	25	0	0	75	50	50	0	0	25	0	0	25	0
Ophiocytium capitatum Wolle	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0