

Сообщество фито- и зоопланктона Усинского залива Куйбышевского водохранилища в период начала «цветения» воды

© 2025. О. В. Мухортова^{1,2}, с. н. с., к. б. н.,
Н. Г. Тарасова^{1,2}, с. н. с., к. б. н., В. С. Жихарев³, доцент, к. б. н.,
¹Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок,
²Институт экологии Волжского бассейна РАН,
445003, Россия, г. Тольятти, ул. Комзина, д. 10,
³Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
603022, Россия, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23,
e-mail: muhortova-o@mail.ru, tnatag@mail.ru, zhiharev@ibbm.unn.ru

Проанализированы результаты исследований планктонного сообщества (фито- и зоопланктона) Усинского залива и прилегающей к нему акватории Приплотинного плёса Куйбышевского водохранилища в период начала процесса «цветения» воды. Установлено, что в этот период на акватории Усинского залива и Приплотинного плёса Куйбышевского водохранилища сложились благоприятные условия для развития процесса «цветения» воды – достаточно высокая температура, слабощелочная реакция среды. Планктонное сообщество Усинского залива характеризовалось большим видовым богатством, чем Приплотинный плёс. Показатели численности и биомассы фитопланктона изменялись в очень широких пределах: от 2,31 до 149,52 млн кл./л и от 0,53 до 13,15 мг/л соответственно. В зависимости от структуры планктонного сообщества исследуемую территорию можно разделить на три зоны: водохранилищная (включая устье реки), переходная и зона залива. В фитопланктоне Приплотинного плёса в этот период преобладали криптофитовые водоросли, в Усинском заливе – цианобактерии. Явление «цветения» воды зарегистрировано только на двух станциях залива, удалённых от Куйбышевского водохранилища: с уровнем от «умеренного» до «интенсивного». Показатели численности и биомассы зоопланктона также изменялись в широких пределах: от 78 до 579 тыс. экз./м³ и от 0,61 до 2,33 г/м³ соответственно. В составе зоопланктона водохранилища преобладали науплиальные и копепоидные стадии *Heterocope caspia* Sars, 1897 (Copepoda), в то время как в Усинском заливе – её взрослые особи. На станциях, максимально удалённых от устья реки, отмечалось изменение доли основных таксонов зоопланктона в формировании общей численности и биомассы, которое выражалось в увеличении доли коловраток и уменьшении ветвистых рачков.

Ключевые слова: Усинский залив, Куйбышевское водохранилище, фитопланктон, зоопланктон, сообщество, структура, численность, биомасса.

Phyto- and zooplankton community of Usinskiy Bay and adjacent waters of the Kuibyshev Reservoir during the blooms starting

© 2025. O. V. Mukhortova^{1,2}, ORCID: 0000-0002-4134-223X,
N. G. Tarasova^{1,2}, ORCID: 0000-0002-8587-3526,
V. S. Zhikharev³, ORCID: 0000-0003-3241-2133,

¹I.D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters RAS,
Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, Russia, 152742,
²Institute of Ecology of the Volga Basin RAS,
10, Komzina St., Togliatti, Russia, 445003,
³Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,
23, Gagarin ave., Nizhny Novgorod, Russia, 603022,
e-mail: muhortova-o@mail.ru, tnatag@mail.ru, zhiharev@ibbm.unn.ru

The article presents the results of studies the plankton community (phyto- and zooplankton) of the Usinskiy Bay (UB) and the adjacent water area of the Priplotinnyy (near-dam) reach (PR) during the blooms starting. We found that favorable conditions for the blooms development were formed in the UB and PR water areas – sufficiently high temperature and a slightly alkaline environment. The UB plankton community has greater species richness than the PR one.

Phytoplankton abundance and biomass varied widely: 2.31–149.52 million cells/L and 0.53–13.15 mg/L, respectively. Depending on the plankton community structure the studied area can be divided into three zones: reservoir (including the river estuary), transitional, and the bay. During the studies period Cryptophyta prevailed in the PR phytoplankton, and Cyanobacteria were predominant in the UB. The blooms phenomenon with a level from “moderate” to “intense” was recorded only at two sampling stations, remote from the Kuibyshev reservoir. Zooplankton abundance and biomass varied widely: 78–579 thousand specimens/m³ and 0.61–2.33 g/m³, respectively. The naupliar and copepodite stages of *Heterocope caspia* Sars, 1897 (Copepoda) dominated in zooplankton of the reservoir, while its adults prevailed in the UB. At farthest from the Usa River estuary sampling stations, there was a change in the share of the main zooplankton taxa: an increase of the rotifers share and a decrease in branched crayfish share.

Keywords: Usinskiy Bay, Kuibyshev Reservoir, phytoplankton, zooplankton, community, structure, abundance, biomass.

Малая река представляет собой сложный природный объект (территориально-аквальный комплекс), находящийся в тесной связи с окружающей средой, реагирующий на естественные и антропогенные изменения её компонентов [1]. Она имеет меньшую водосборную площадь, меньшую протяжённость и глубину, чем средние и крупные реки, и вместе с тем испытывает на себе также значительную антропогенную нагрузку. Это способствует созданию специфических условий, приводящих к развитию определённой биоты. В свою очередь, впадая в средние и крупные реки, она оказывает влияние на них, которое может заключаться в локальном изменении химического состава воды, в привнесении специфических организмов и т. д. [2]. Небольшие глубины, низкая скорость течения и высокая температура воды способствуют массовому развитию в водоёмах цианобактерий (ЦБ), часто вызывающих явление «цветения» воды, сопровождающееся рядом негативных последствий, и оказывающее влияние на все группы организмов [3]. «Цветение» воды представляет собой сложный экологический процесс, который затрагивает

не только гидробиологические сообщества, но и экономические и социальные аспекты водопользования.

Цель работы – определить состав, уровень развития фито- и зоопланктона на различных участках Усинского залива и прилегающей акватории Куйбышевского водохранилища в период начала процесса «цветения» воды в малой реке.

Объекты и методы исследования

Река Уса – правый приток Куйбышевского водохранилища, впадающая в его Приплотинный плёс (замыкающее озеровидное расширение, самый глубокий, хорошо прогреваемый участок водоёма, с низкими скоростями течения) (рис. 1). Бассейн реки расположен в пределах Волжской возвышенности, лесостепной физико-географической области Русской равнины [1, 2]. Русло умеренно извилистое, слабodeформирующееся, зарастает водной растительностью. На расстоянии 23 км от устья наблюдается выход грунтовых вод. В верхнем течении русло р. Усы имеет ширину 2–2,5 м, глубину 0,10–0,15 м. В месте впаде-

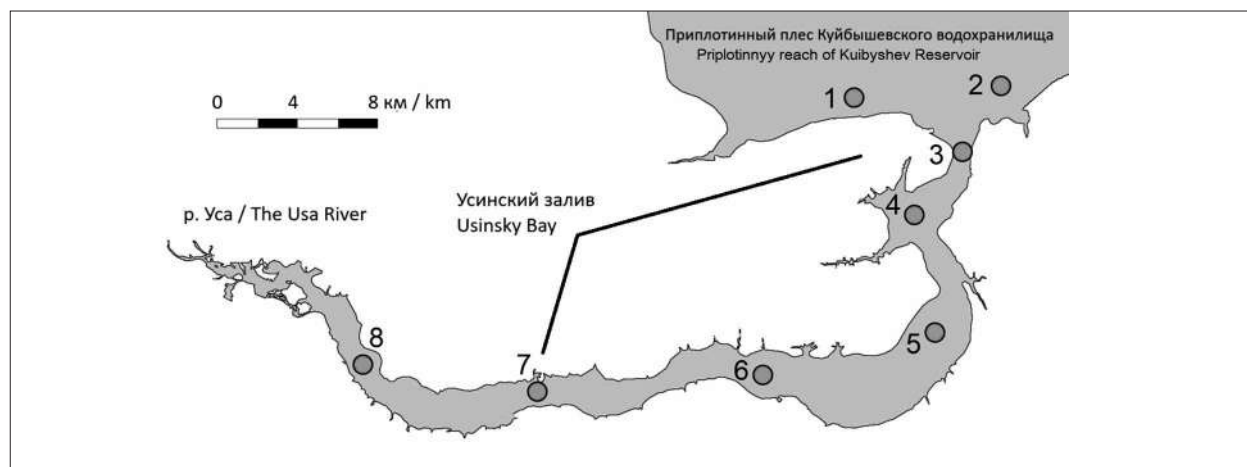


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб фито- и зоопланктона в Усинском заливе и Приплотинном плёсе Куйбышевского водохранилища
Fig. 1. Map-scheme of phyto- and zooplankton sampling stations in Usinskiy Bay and Priplotinnyy (near-dam) reach of Kuibyshev Reservoir

Таблица / Table

Расположение станций отбора проб в Усинском заливе и Приплотинном плёсе
Куйбышевского водохранилища в июне 2023 г. / Locations of the sampling stations
in Usinskiy Bay and Priplotinnyy reach of the Kuibyshev Reservoir in June 2023

№	Станция / Station	Географические координаты (с.ш. / в.д.) Geographic coordinates (N/E)
Куйбышевское водохранилище / Kuibyshev reservoir		
1	Выше устья р. Усы / Above the the Usa River estuary	53°24'13" / 49°10'38"
2	Ниже устья р. Усы / Below the Usa River esrtuary	53°24'14" / 49°17'20"
Усинский залив / Usinsky Bay		
3	Устье р. Усы / The Usa River esrtuary	53°22'23" / 49°14'51"
4	Гора Плешка / The Pleshka mount	53°21'11" / 49°13'7"
5	П. Междуреченск / u.t.s. Mezhdurechensk	53°17'3" / 49°12'9"
6	Выше п. Междуреченск / Above the u.t.s. Mezhdurechensk	53°17'14" / 49°5'26"
7	Ниже п. Красный Миронов / Below the u.t.s. Krasny Mironov	53°16'33" / 48°56'48"
8	П. Печерские Выселки / The u.t.s. Pecherskie Vyselki	53°16'14" / 48°51'22"

Note: u.t.s. – urban-type settlement.

ния в залив ширина реки составляет 20–50 м, глубина – 1–2 м [2].

Исследования фито- и зоопланктона проводили 17–18 июня 2023 г. в совместной экспедиции ИЭВБ РАН на научно-исследовательском судне «Биолог» «Биолог» в Усинском заливе Куйбышевского водохранилища и прилегающей к нему акватории Приплотинного плёса (рис. 1, табл.).

Пробы отбирали с корабля батометром Дьяченко (10 л) [4]. В работе приведены данные, полученные при анализе интегральных проб, полученных путём смешения равных объёмов воды, отобранной с поверхности воды и глубин, кратных показателям 1, 2 и 3 прозрачности воды, определяемой по диску Секки (фотического слоя, в котором отмечались максимальная освещённость и активное развитие водорослей). Температуру и pH определяли с помощью портативного полевого прибора «Эксперт-003» (ООО «Эконикс-Эксперт», Россия).

Концентрирование проб фито- и зоопланктона проводили путём фильтрования 0,5 л воды через мембранный фильтр с диаметром пор 0,7 мкм до 10 мл с использованием насоса Комовского. Материал консервировали 4% раствором формалина [4]. Для оценки численности подсчёт клеток водорослей проводили в камере Учинская-2 объёмом 0,01 мл [5]. Биомассу определяли методом геометрического подбора.

Концентрирование проб зоопланктона проводили путём пропускания через сито с диагональю ячеек 105 мкм 10 л воды, отобранной

с каждого горизонта. Сборы фиксировали 4% раствором формалина [6]. Микроскопический анализ проводили под стереоскопическим микроскопом MC-5 ZOOM LED и «Биомед-6» вар. 2 LED с бинокулярной визуальной насадкой (TourCam, Россия) [6, 7].

Рассчитаны показатели среднее $\pm$ ошибка среднего ($M \pm m$), а также удельное число видов в пробе, т. е. число видов в конкретной пробе.

Анализ избыточности (RDA) использовался для проверки корреляционных связей между экологическими показателями и видовой структурой зоопланктонных сообществ. Значимость моделей RDA проверялась с помощью теста на перестановку (1000 перестановок). Все анализы проводились с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом R (пакет «vegan») [8, 9].

Для проведения иерархического кластерного анализа в качестве исходных данных служила матрица расстояний между пробами, сформированная на основе косинуса угла между векторами видов [10, 11], в качестве метода расчёта расстояний между группами проб (кластеров) был использован метод средней связи [12, 13].

Для определения значимых различий показателей в разных сообществах зоопланктона применялся дисперсионный анализ (ANOVA) [12].

Результаты и обсуждение

Абиотические факторы. Исследования проходили в период начала активного раз-

вития ЦБ в водоёме. Средняя прозрачность воды составляла $1,50 \pm 0,35$ м. Она изменялась в очень широких пределах – от 0,75 м в верхнем участке Усинского залива (у п. Красный Миронов) до 2,3 м на его среднем участке (г. Плешка). Водоросли, входящие в состав фитопланктона, являются фотоавтотрофами, поэтому освещённость водной толщи и связанная с ней прозрачность являются важными факторами для их развития. Массовое развитие ЦБ может происходить и в условиях низкой освещённости. Возможно, это связано с тем, что пигменты ЦБ выполняют фотозащитную функцию, а газовые вакуоли придают клеткам плавучесть, что позволяет им перемещаться в слое воды и легко адаптироваться к изменению уровня освещённости или концентрации питательных веществ [14]. В свою очередь массовое развитие ЦБ в водной толще вызывает уменьшение показателя прозрачности воды.

Средняя температура воды в момент исследования составляла $19,0 \pm 0,9$ °С. Она изменялась незначительно. В Куйбышевском водохранилище её показатели были на 1 °С выше, чем в Усинском заливе. Цианобактериальные «цветения» обычно наблюдаются, когда температура воды достигает 20–25 °С, что превышает оптимальную температуру для развития других представителей пресноводного фитопланктона [15]. Наиболее благоприятная для «цветения» обстановка складывается при отсутствии течения, ветрового перемешивания [16, 17]. Можно сделать заключение, что на исследуемом участке в середине июня по этому показателю сложились условия перехода к периоду «цветения» воды.

Показатель pH изменялся незначительно (от 7,71 до 7,91), и составлял в среднем $7,80 \pm 0,08$, что соответствовало слабощелочной реакции среды. Основная масса ЦБ является нейтрофилами. При массовом развитии они вызывают увеличение показателя pH среды. Невысокие показатели pH в период исследования позволяют сделать заключение о начальном периоде «цветения» воды.

Компоненты планктонного сообщества.

В составе альгофлоры планктона выявлено 136 таксонов водорослей, рангом ниже рода из 8 отделов. В формировании видового богатства основная роль принадлежала зелёным водорослям, на долю которых приходилось 56% от общего числа видовых и внутривидовых таксонов, затем следовали диатомовые и ЦБ, составляя соответственно по 14%, доля представителей других отделов не превышала 8%. Видовое богатство водорослей в Усинском заливе было в 2 раза выше, чем в Приплотинном плёсе Куйбышевского водохранилища, при этом число видов ЦБ было больше в 1,9, диатомовых водорослей в 1,7, зелёных – в 2,6 раз. Среднее удельное число видов (в одной пробе) было выше в водохранилище ($31,0 \pm 10,7$), чем в заливе ($22,1 \pm 11,5$).

В составе зоопланктона было зарегистрировано 28 видов, включая коловраток и ракообразных, соотношение которых в заливе и водохранилище было почти одинаковым. Видовое богатство организмов в Куйбышевском водохранилище и Усинском заливе было близко и составило соответственно 22 и 19 видов. Однако среднее удельное число видов отличалось значительно и было выше в Куйбышевском водохранилище в три раза

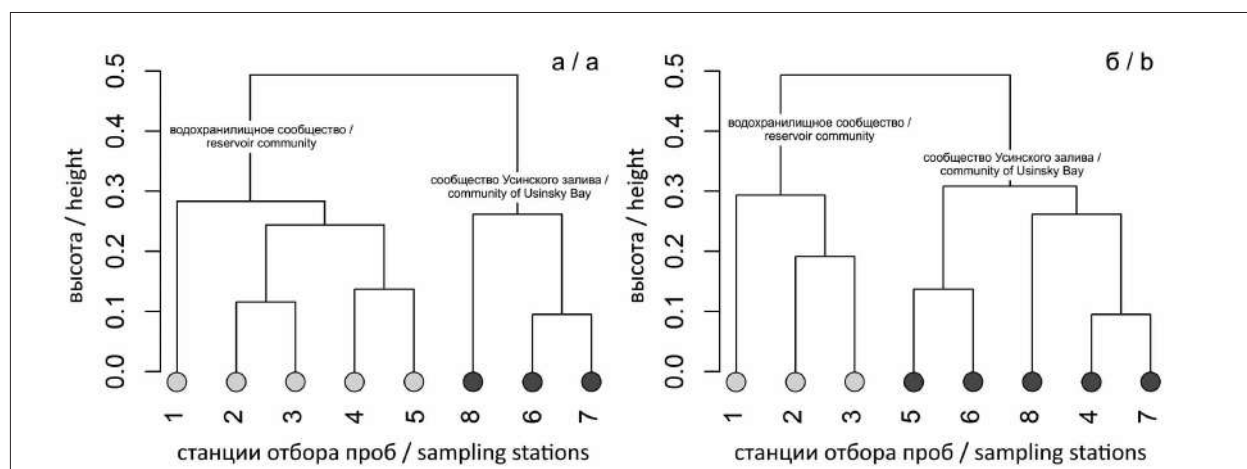


Рис. 2. Дендрограмма иерархической кластеризации проб фито- (а) и зоопланктона (б) Усинского залива. Расположение станций см. в таблице

Fig. 2. Dendrogram of hierarchical clustering of phyto- (a) and zooplankton (b) samples of Usinskiy Bay. See the table for the stations' location

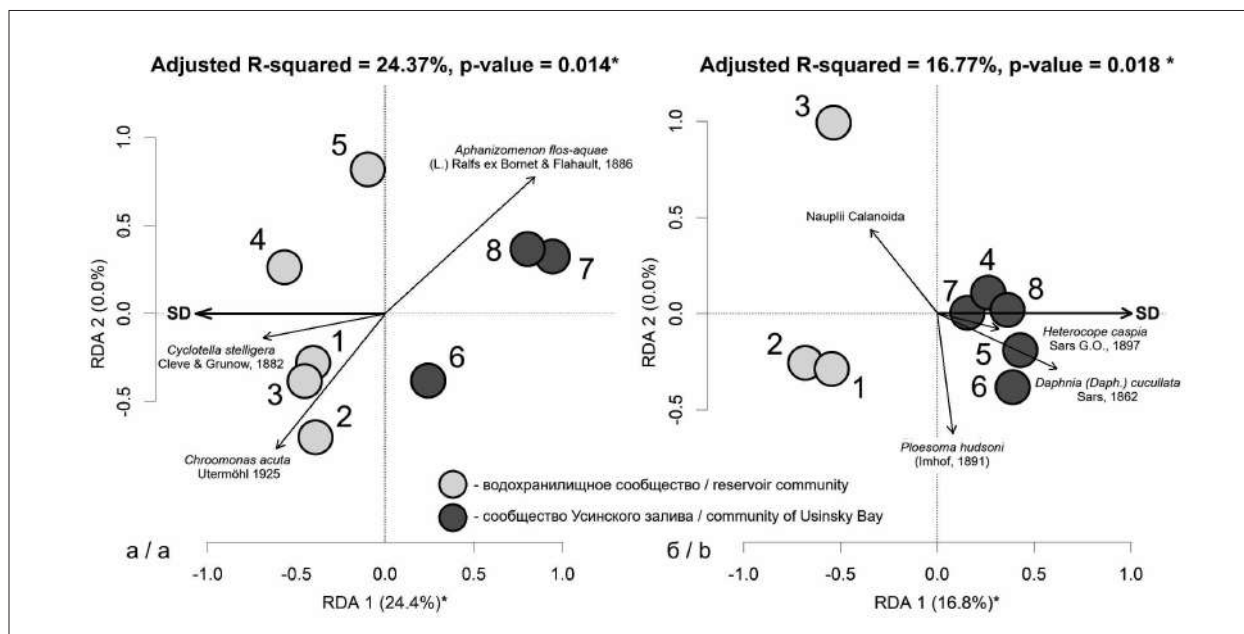


Рис. 3. Ординационная диаграмма анализа избыточности (RDA) для сообществ фито- (а) и зоопланктона (б) Усинского залива. SD – прозрачность воды; Depth – глубина на станции отбора пробы. Расположение станций приведено в таблице

Fig. 3. Redundancy analysis (RDA) ordination diagram for phyto- (a) and zooplankton (b) communities of Usinsky Bay. SD – water transparency; Depth – depth at the sampling station. See the table for the stations' location

($10,0 \pm 1,4$ и $3,5 \pm 1,1$, соответственно). Это позволяет сделать вывод о том, что на отдельных станциях Усинского залива складываются особые условия, которые служат фактором для формирования специфического планктонного сообщества.

В дендрограмме иерархической кластеризации проб фито- (рис. 2а) и зоопланктона (рис. 2б), выделились два кластера (группы) станций – собственно водохранилища и Усинского залива, которые в дальнейшем именуются как одноимённые сообщества.

Ординационная диаграмма анализа избыточности, построенная для сообществ фито- и зоопланктона, показывает, что основным фактором ($p\text{-value} < 0,05$), влияющим на распределение организмов, является прозрачность воды (рис. 3). При этом в составе сообщества фитопланктона выделяется водохранилищный участок, включая устье р. Уса (ст. 1–3), с преобладанием диатомовых и криптофитовых водорослей. Обособленно расположено также сообщество средней части залива (ст. 4, 5) и его верхнего участка (ст. 6–8) (рис. 3а), с преобладанием ЦБ *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., часто вызывающей «цветение» воды внутренних водоёмов.

В сообществе зоопланктона выделяется две группы станций – водохранилище, включая устье реки (ст. 1–3) и залив (ст. 4–8). При

этом в водохранилищной части преобладали науплии и копепоиды *Heterocope caspia* Sars, 1897 (Copepoda), а в заливе – уже взрослые особи *H. caspia*, также ветвистоусые ракообразные *Daphnia (Daphnia) cucullata* Sars, 1862 и коловратка *Ploesoma hudsoni* (Imhof, 1891) (рис. 3б).

В Приплотинном плёсе основную роль в формировании общей численности и биомассы фитопланктона играли криптофитовые и диатомовые водоросли (рис. 4а, б). В нижней части Усинского залива (ст. 3, 4) – диатомовые, а начиная со станции 5, основная роль в формировании общей численности практически полностью переходит к ЦБ (рис. 4а, см. цв. вкладку VI). В формировании общей биомассы на станции 5 значительную роль продолжали играть диатомовые водоросли, что, вероятно, связано с влиянием водохранилища, где на их долю приходилось около 30% от общего значения этого показателя, тогда как в верхней части залива они составляли не более 3%. На станции 8 велика доля в формировании общей биомассы зелёных водорослей, что, возможно, обусловлено влиянием речного участка (рис. 4б, см. цв. вкладку VI). От водохранилища к верховьям залива увеличивается и биомасса зелёных водорослей в 8 раз, и их доля в формировании общей биомассы фитопланктона от 6 до 45%.

О. В. Мухортова, Н. Г. Тарасова, В. С. Жихарев
«Сообщество фито- и зоопланктона Усинского залива
Куйбышевского водохранилища в период
начала "цветения" воды». С. 74.

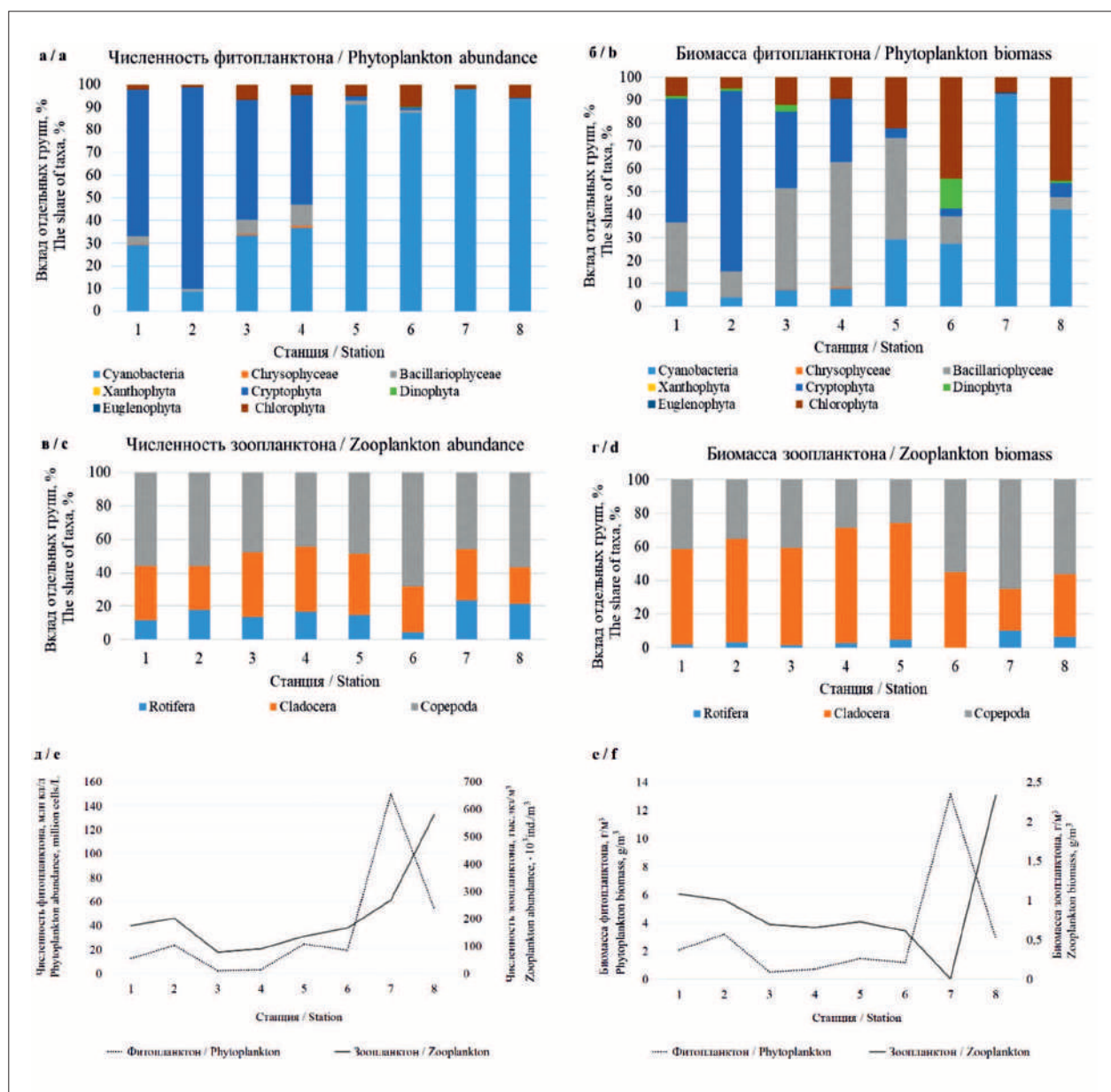


Рис. 4. Вклад основных систематических групп организмов в численность (а, в) и биомассу (б, г) и количественные показатели фито- и зоопланктона (д, е) Усинского залива. Расположение станций приведено в таблице

Fig. 4. The share of the major taxa in abundance (a, c) and biomass (c, d) and quantitative indicators of phyto- and zooplankton of the Usinskiy Bay (e, f). See the table for the stations' location

По сравнению с Приплотинным плёсом в Усинском заливе в формировании в общей численности и биомассе зоопланктона увеличивалась доля коловраток, для которых характерно смешанное питание (рис. 4в, г, см. цв. вкладку VI). Например, доминирующая *P. hudsoni* – хищный вид, питающийся другими планктонными коловратками, а также крупными одноклеточными водорослями, что во многом может объяснять июньский пик развития [18]. Роль ветвистоусых раков, напротив, снижается на станциях, где регистрировалось явление «цветения» воды (рис. 4в-е, см. цв. вкладку VI). Это, возможно, связано со сложностью фильтрования колоний ЦБ и их токсическим воздействием на зоопланктёров [19].

Показатели численности и биомассы фитопланктона в Приплотинном плёсе и Усинском заливе значительно различались и составляли соответственно в среднем $12,81 \pm 10,62$ млн кл./л и $50,21 \pm 58,05$ млн кл./л; $1,91 \pm 1,34$ г/м³ и $3,87 \pm 5,25$ г/м³. Это связано с тем, что в заливе уже начался процесс «цветения» воды, и на отдельных станциях его можно было охарактеризовать как «интенсивное» (рис. 4 д, е). Показатели численности организмов зоопланктона в Приплотинном плёсе Куйбышевского водохранилища ($151,81 \pm 37,60$ тыс. экз./м³) и Усинском заливе ($268,11 \pm 106,81$ тыс. экз./м³) так же значительно различались. Различия биомассы зоопланктона в водохранилище ($0,93 \pm 0,21$ г/м³) и заливе ($1,08 \pm 0,34$ г/м³) были меньше (рис. 4д, е).

На ст. 1–6 явление «цветения» воды не зарегистрировано, на станции 8 его можно охарактеризовать как «умеренное», а на станции 7 как «интенсивное» [20]. Можно сделать предположение, что в Усинском заливе складываются благоприятные условия для этого процесса: небольшие глубины, высокая температура, замедленное, по сравнению с речным участком, течение. Меньшее развитие водорослей на станции 8, вероятно, связано с влиянием речного участка Усы.

Развитие фито- и зоопланктона происходит в противофазе: вслед за увеличением численности и биомассы водорослей отмечается увеличение этих показателей у зоопланктона (рис. 4д, е). Сообщество зоопланктона представлено в основном ракообразными, которые являются активными организмами со смешанным типом питания (в целом, всеядны), а также фильтраторами, вслед за увеличением показателей их количественного

развития, снижается численность и биомасса фитопланктона. Особенности питания зоопланктёров и их способность переходить от одного типа питания на другой создаёт большие адаптационные возможности этим видам организмов.

Заключение

В исследуемый период на акватории Усинского залива и Приплотинного плёса Куйбышевского водохранилища сложились благоприятные условия для процесса «цветения» воды – достаточно высокая температура, слабощелочная реакция среды. Планктонное сообщество Усинского залива характеризовалось большим видовым богатством, чем Приплотинный плёс, которое достигается за счёт специфических видов-планктёров, регистрируемых на отдельных станциях.

В зависимости от структуры планктонного сообщества исследуемую территорию можно разделить на три зоны: водохранилищная (включая устье реки), переходная (ст. 4, 5), и залива (ст. 6–8). По направлению от Приплотинного плёса к речному участку происходит увеличение численности и биомассы фитопланктона и изменение состава основных отделов водорослей, участвующих в их формировании. Развитие фито- и зоопланктона происходит в противофазе.

Явление «цветения» воды зарегистрировано только на двух станциях залива, удалённых от Куйбышевского водохранилища: на станции 7 его уровень можно оценить как «интенсивное», на станции 8 как «умеренное». На станциях, где отмечалось «цветение» воды, увеличивается доля в формировании показателей количественного развития коловраток, и снижается – ветвистоусых рачков.

Отдельно авторы выражают признательность за помощь в отборе проб м. н. с. Е. С. Красновой и инженеру-исследователю Т. А. Ракитиной (Институт экологии Волжского бассейна РАН).

Исследование выполнено за счёт средств гранта Российского научного фонда № 23-14-20005, <https://rscf.ru/project/23-14-20005/>.

Литература

1. Малые реки России / отв. ред. Н.И. Коронкевич, Г.М. Черногаева. М.: ИГ: МЦГО, 1994. 249 с.
2. Зинченко Т.Д., Саксонов С.В., Сенатор С.А., Минеев А.К., Головатюк Л.В., Горохова О.Г., Болотов С.Э.,

Курина Е.М., Абросимова Э.В., Уманская М.В., Кузнецова Р.С., Михайлов Р.А., Попченко Т.В. Экологический паспорт реки Усы (правобережный приток Волги) // Самарская лука: Проблемы региональной и глобальной экологии. 2019. Т. 28. № 2. С. 156–188. doi: 10.24411/2073-1035-2019-10220

3. Корнева Л.Г., Минеева Н.М., Копылов А.И. «Цветение» воды цианобактериями (синезелёными водорослями) – реальная угроза ухудшения качества воды в водохранилищах Волги // Бассейн Волги в XXI-м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ: материалы докладов Всерос. конф. Ижевск: Издатель Пермиков С.А., 2012. С. 135–138.

4. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоёмов / под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. 240 с.

5. Гусева К.А. Методы эколого-физиологического исследования водорослей // Жизнь пресных вод. Т. 4. Ч. 1. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 122–159.

6. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской части России. Т. 1. Зоопланктон / под ред. В.Р. Алексеева. М.: Товарищество науч. изданий КМК, 2010. 495 с.

7. Лазарева В.И. Расселение чужеродных понтокаспийских видов зоопланктона в водохранилищах Волги и Камы // Российский журнал биологических инвазий. 2019. Т. 12. № 3. С. 29–52.

8. Borcard D., Gillet F., Legendre P. Numerical ecology with R. Springer, 2011. 306 p. doi: 10.1007/978-3-319-71404-2

9. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. 2020 [Электронный ресурс] <http://www.R-project.org/> (Дата обращения: 14.11.2024).

10. Черепенников В.В., Шурганова Г.В., Артельный Е.В. Использование многомерного векторного анализа для оценки пространственного размещения зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища // Экологические проблемы бассейнов крупных рек-3: тезисы докл. междунар. и молодёжной конф. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. С. 303.

11. Шурганова Г.В., Черепенников В.В. Оценка динамики соотношения численностей популяций гидробионтов Чебоксарского водохранилища с использованием метода многомерного векторного анализа // Методы популяционной биологии: материалы VII Всерос. популяционного семинара. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2004. Ч. 1. С. 246–247.

12. Legendre P., Legendre L. Numerical ecology. Amsterdam: Elsevier, 2012. 990 p.

13. Yakimov B.N., Shurganova G.V., Cherepennikov V.V., Kudrin I.A., Il'in M.Yu. Methods for comparative assessment of the results of cluster analysis of hydrobiocenoses structure (by the example of zooplankton communities of the Linda River, Nizhny Novgorod region) // Inland Water Biol. 2016. V. 9. No. 2. P. 200–208. doi: 10.1134/S1995082916020164

14. Reynolds C.S. Ecology of phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 535 p.

15. Makhalanyane T.P., Valverde A., Velázquez D., Gunnigle E., Van Goethem M.W., Quesada A., Cowan D.A. Ecology and biogeochemistry of cyanobacteria in soils, permafrost, aquatic and cryptic polar habitats // Biodivers. Conserv. 2015. V. 24. P. 819–840. doi: 10.1007/s10531-015-0902-z

16. Ашихмина Т.Я., Кутявина Т.И., Домнина Е.А. Изучение процессов эвтрофикации природных и искусственно созданных водоёмов (литературный обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 6–13. doi: 10.25750/1995-4301-2014-3-006-013

17. Деревенская О.Ю., Мингазова Н.М., Унковская Е.Н. Факторы зональности и их влияние на зоопланктон озёр Среднего Поволжья // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 1. С. 166–174. doi: 10.25750/1995-4301-2024-1-166-174

18. Rogozin A.G. Материалы по фауне и экологии коловраток Урала. Семейство Synchaetidae (Rotifera, Eurotatoria, Ploima). Рода *Ploesoma*, *Synchaeta* // Зоологический журнал. 2022. Т. 101. № 3. С. 243–255. doi: 10.31857/S0044513422010093

19. Герасимова Т.Н., Садчиков А.П. Восстановление качества вод: влияние зоопланктона на развитие цианобактерий в двух эвтрофных прудах // Жизнь Земли. 2021. Т. 43. № 3. С. 336–346. doi: 10.29003/m2438.0514-7468.2020_43_3/336-346

20. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии. Киев: Генеза, 2004. 400 с.

References

1. Small rivers of Russia / Eds. N.I. Koronkevich, G.M. Chernogaeva. Moskva: IG: MCGO, 1994. 249 p. (in Russian).

2. Zinchenko T.D., Saksonov S.V., Senator S.A., Mineev A.K., Golovatyuk L.V., Gorokhova O.G., Bolotov S.E., Kurina E.M., Abrosimova E.V., Umanская M.V., Kuznetsova R.S., Mikhailov R.A., Popchenko T.V. Ecological passport of the Usa River (right tributary of the Volga River) // Samarskaya luka: Problemy regionalnoy i globalnoy ekologii. 2019. V. 28. No. 2. P. 156–188 (in Russian). doi: 10.24411/2073-1035-2019-10220

3. Korneva L.G., Mineeva N.M., Kopylov A.I. Water blooms with cyanobacteria (blue-green algae) are a real threat of deterioration of water quality in the Volga reservoirs // The Volga basin in the 21st century: Structure and functioning of reservoir ecosystems: materialy dokladov vserossiyskoy konferentsii. Izhevsk: Izdatel Permyakov S.A., 2012. P. 135–138 (in Russian).

4. Methodology for studying biogeocenoses of inland water bodies / Ed. F.D. Mordukhai-Boltovskiy. Moskva: Nauka, 1975. 240 p. (in Russian).

5. Guseva K.A. Methods of ecological and physiological study of algae // Life of fresh waters. V. 4. Pt. 1.

Moskva–Leningrad: Izdatelstvo AN SSSR, 1956. P. 122–159 (in Russian).

6. Guide to zooplankton and zoobenthos of fresh waters in the European part of Russia. V. 1. Zooplankton / Ed. V.R. Alekseev. Moskva: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010. 495 p. (in Russian).

7. Lazareva V.I. Spreading of alien Ponto-Caspian zooplankton species in reservoirs of the Volga and Kama rivers // Russian Journal of Biological Invasions. 2019. V. 12. No. 3. P. 29–52.

8. Borcard D., Gillet F., Legendre P. Numerical ecology with R. Springer, 2011. 306 p. doi: 10.1007/978-3-319-71404-2

9. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. 2020 [Internet resource] <http://www.R-project.org/> (Accessed: 14.11.2024).

10. Cherepennikov V.V., Shurganova G.V., Artelny E.V. Use of multivariate vector analysis to assess the spatial arrangement of zooplanktonocenoses in the Cheboksary reservoir // Environmental problems of major river basins-3: tezisy dokladov mezhdunarodnoy i molodezhnoy konferentsiy. Tolyatti: IEVB RAN, 2003. P. 303 (in Russian).

11. Shurganova G.V., Cherepennikov V.V. Assessment of the dynamics of the ratio of the populations of aquatic organisms of the Cheboksary reservoir using the method of multidimensional vector analysis // Population biology methods: materialy VII vserossiyskogo populyatsionnogo seminara. Syktyvkar: Komi NTs UrO RAN, 2004. Ch.1. P. 246–247 (in Russian).

12. Legendre P., Legendre L. Numerical ecology. Amsterdam: Elsevier, 2012. 990 p.

13. Yakimov B.N., Shurganova G.V., Cherepennikov V.V., Kudrin I.A., Il'in Yu. Methods for comparative assessment of the results of cluster analysis of hydrobiocenoses

structure (by the example of zooplankton communities of the Linda River, Nizhny Novgorod region) // Inland Water Biol. 2016. V. 9. No. 2. P. 200–208. doi: 10.1134/S199508291602016

14. Reynolds C.S. Ecology of phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 535 p.

15. Makhalanyane T.P., Valverde A., Velázquez D., Gunnigle E., Van Goethem M.W., Quesada A., Cowan D.A. Ecology and biogeochemistry of cyanobacteria in soils, permafrost, aquatic and cryptic polar habitats // Biodivers. Conserv. 2015. V. 24. P. 819–840. doi: 10.1007/s10531-015-0902-z

16. Ashikhmina T.Ya., Kutyavina T.I., Domnina E.A. Studying the processes of natural and man-made reservoirs eutrophication (review) // Theoretical and Applied Ecology. 2014. No. 3. P. 6–13 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2014-3-006-013

17. Derevenskaya O.Yu., Mingazova N.M., Unkovskaya E.N. Zoning factors and their influence on lakes' zooplankton in the Middle Volga region (Russia) // Theoretical and Applied Ecology. 2024. No. 1. P. 166–174 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2024-1-166-174

18. Rogozin A.G. Materials on the fauna and ecology of rotifers of the Urals. The family Synchaetidae (Rotifera, Eurotatoria, Ploima). The genera *Ploesoma*, *Synchaeta* // Zoologicheskii zhurnal. 2022. V. 101. No. 3. P. 242–255 (in Russian). doi: 10.31857/S0044513422010093

19. Gerasimova T.N., Sadchikov A.P. Water quality restoration: the effect of zooplankton on cyanobacteria development in two eutrophic ponds // Life of the Earth. 2021. V. 43. No. 3. P. 336–346 (in Russian). doi: 10.29003/m2438.0514-7468.2020_43_3/336-346

20. Romanenko V.D. Fundamentals of Hydroecology. Kyiv: Geneza, 2004. 400 p. (in Russian).