

УДК 556.551

ОСОБЕННОСТИ ПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА В ДИНАМИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ШЛЮЗОВЫХ КАМЕР ВОЛГО-ДОНСКОГО СУДОХОДНОГО КАНАЛА ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА

© 2025 г. Н. Г. Тарасова*, О. В. Мухортова*, ©, С. В. Быкова**,
Я. В. Стройнов*, И. С. Микрякова*, А. С. Семенова*, ***

*Институт биологии внутренних вод, п. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., 152742 Россия

**Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН,
ул. Комзина, д.10, Тольятти, 445030 Россия

***Атлантический филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения
“Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии”,
ул. Дмитрия Донского, д. 5, Калининград, 236022 Россия

©E-mail: muhortova-o@mail.ru

Поступила в редакцию 04.04.2024 г.

После доработки 04.07.2024 г.

Принята к публикации 07.07.2024 г.

Исследовано состояние планктонного сообщества в шлюзах Волго-Донского судоходного канала и прилегающих участках незарегулированной Волги и Цимлянского водохранилища. В его составе зарегистрировано 195 видов водорослей, около 65 видов инфузорий и 100 видов зоопланктона. Невысокое сходство состава всех компонентов планктонного сообщества между отдельными шлюзами позволило сделать заключение об особых условиях, создающихся в каждом из них, и формировании высокого видового богатства всех компонентов планктонного сообщества за счет специфических видов-планктеров, развивающихся в отдельных шлюзах. В состав всех компонентов планктонного сообщества (фито-, прото- и метазоопланктона) входили чужеродные виды “южных” комплексов. В шлюзовых камерах, несмотря на постоянную турбулентность, смертность зоопланктеров была невелика. Наибольшая смертность среди представителей метазоопланктона была характерна для фильтраторов (коловраток и кладоцер) и регистрировалась в концевых шлюзах Волжской и Донской лестниц ВДСК с высокими показателями мутности и минерализации.

Ключевые слова: бактерии, фитопланктон, инфузории, зоопланктон, биоразнообразие, доминанты, шлюзовые камеры, Волго-Донской канал

DOI: 10.31857/S1026347025020086

Масштабное строительство различных гидротехнических сооружений (плотины, ГЭС, каналы и др.), проведенное в середине прошлого столетия, оказало значительное влияние на структуру и функционирование экосистем крупных рек. Исследования, направленные на изучение действия этих сооружений на гидробионтов, связаны в основном с действием плотин и проводились в верхних и нижних бьефах плотин и ГЭС, на разных гидрологических участках водохранилищ (Сиренко, 1990; Щербак и др., 2005; Минеева и др., 2017 и т.д.).

Каналы – искусственные водотоки, являющиеся вместе со шлюзовыми камерами сложными гидротехническими сооружениями, часто служат для соединения бассейнов двух рек. Основное назначение Волго-Донского судоходного канала (ВДСК) – обеспечение связи между двумя крупнейшими

реками – Волгой и Доном, а через них с Азовским, Черным и Каспийским морями, и через систему каналов – с Балтийским и Белым морем (Вязовиков, 1956; Цимлянское водохранилище..., 2011). Соединение каналом пяти морей в единую систему способствовало расширению возможностей биологических инвазий (Slynko *et al.*, 2002; Щербак и др., 2005; Корнева, 2007, 2015; Лазарева и др., 2018; Гаврилова, Довгаль, 2019; Лазарева, Сабитова, 2021; Kolarova, Napiórkowski, 2023) в различных направлениях. Беспозвоночные чутко реагируют на резкое изменение гидрологических, гидродинамических условий, происходящих в динамичной системе шлюзов канала, соединяющего бассейны рек с различными водными массами. Бесперебойную работу канала ВДСК обеспечивает постоянная работа 13 шлюзовых камер. Шлюзы – это неотъемлемые сооружения канала,

основная функция которых заключается в повышении уровня воды и обеспечении движения в обоих направлениях, что превращает их в сложную динамическую систему с быстро меняющимися гидрологическими условиями (Muszyńska-Jeleszyńska, Marciniak, 2016). Изначально при строительстве шлюзов не предусматривалось изучение биологических объектов (Вязовиков, 1956). Первые исследования канала относятся к 80-м годам XX в., в которых описывали структуру и динамику фитопланктона (Оксиук, Стольберг, 1986; Оксиук и др., 1990). Отдельно работы по ВДСК осуществляли на участках, расположенных между шлюзовыми камерами (Лазарева, Сабитова, 2021; Lazareva, 2022 и т.д.). Непосредственно в шлюзовых камерах работ, касающихся изучения водных организмов, не проводили.

Цель работы – установить видовой состав гидробионтов и изменения, происходящие в комплексе доминирующих видов планктонных организмов (бактерио-, фито-, протозоо- и метазоопланктона) в шлюзах ВДСК, на водоразделе, а также в близлежащих участках Волги (Сарепта, Красноармейский затон) и Цимлянском водохранилище (Калач-на-Дону); выявить характер распределения компонентов планктонного сообщества в шлюзах на всем протяжении ВДСК.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Волго-Донской канал по своей протяженности относится к крупнейшим судоходным каналам мира. ВДСК соединяет Волгу и Дон в месте,

где они максимально приближаются друг к другу. Он является звеном единой глубоководной транспортной системы европейской части России, введенным в эксплуатацию в 1952 г. (Вязовиков, 1956). Общая длина ВДСК составляет 101 км (рис. 1). Пропускная способность канала достигает 26.6 млн т воды в год (Вязовиков, 1956; Цимлянское водохранилище..., 2011). По характеру и рельефу местности канал делится на 3 участка: Волжский склон (Волжская лестница, волжские шлюзы) протяженностью 25 км, водораздел – 21 км и Донской склон (Донская лестница, донские шлюзы) – 55 км. Волжская лестница состоит из первых 9 шлюзов. По ней суда поднимаются на 88 метров к водоразделу (Варваровское водохранилище) рек Волги и Дона. Затем, по Донской шлюзовой лестнице, состоящей из четырех шлюзов (№ 10–13), осуществляется спуск к Дону (Цимлянскому водохранилищу). Между шлюзом № 9 и шлюзом № 10 находится Варваровское водохранилище, крупный искусственный водоем, питающий водой весь Волжский склон. Между шлюзами № 10–11 находится Береславское, а между шлюзами № 12–13 – Карповское водохранилище (рис. 1). Вода в шлюзах и питание канала осуществляется в основном из верховьев Цимлянского водохранилища, где находятся три насосные станции: Карповская, Мариновская и Варваровская. Волжская вода попадает только в шлюзы № 1–2 при их наполнении (рис. 1). Объем шлюзовой камеры небольшой: длина – 145 м, ширина – 18 м, глубина – 4 м, что приводит к значительной турбулентности при ее работе. Берега канала заросли *Phragmites altissimus* (Benth.) Mabilie и *Phragmites australis* (Cav.) Trin.

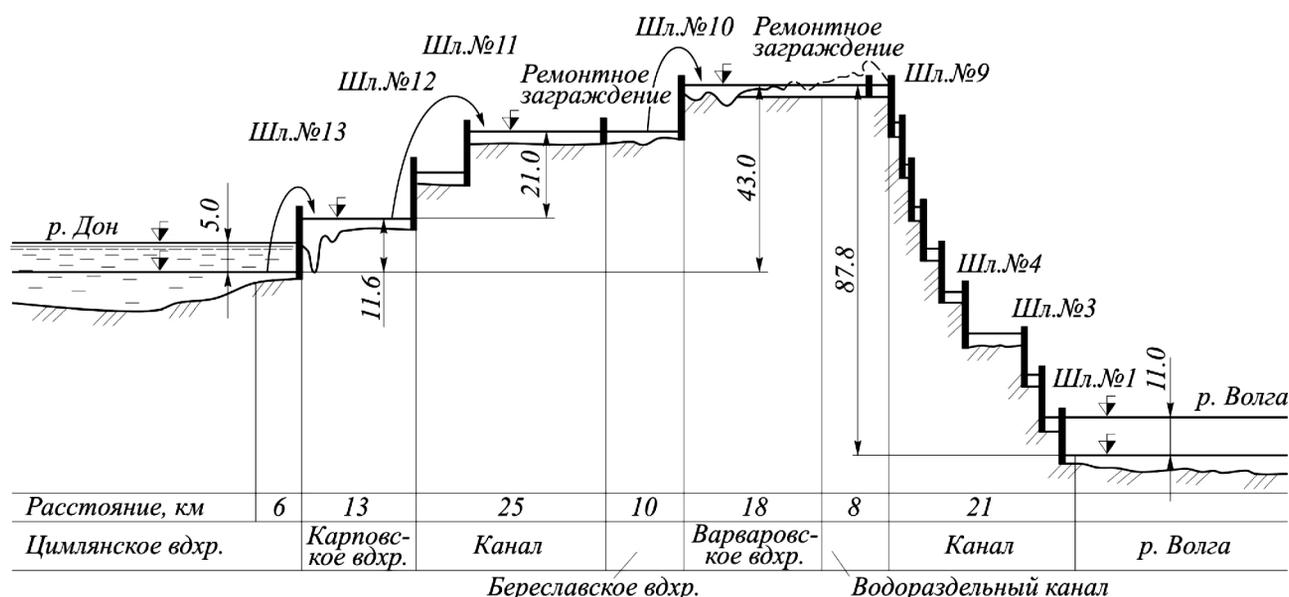


Рис. 1. Схема продольного профиля со шлюзами Волго-Донского судоходного канала имени В. И. Ленина. Источник <https://studfile.net/preview/1854988/page:6/>.

ex Steud.; дно покрыто *Vallisneria spiralis* L., *Chara* sp., *Fontinalis* sp., местами отмечались харовые водоросли (Charophyceae). Канал пересекает Волго-Донской водораздел со светло-каштановыми комплексными солонцеватыми почвами, распространенными в условиях аридного климата (Цимлянское водохранилище..., 2011).

Материал для исследований был собран в комплексной экспедиции Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН в конце августа 2023 г. с судна “Академик Топчиев”. В работе использовали данные, полученные при синхронном отборе проб бактерио-, фито-, прото- и метазоопланктона с поверхностного горизонта (0–1 м). Параллельно проводили измерение абиотических параметров ручным многофункциональным зондом Aqua TROLL 500, который регистрировал координаты (°), глубину (м), электропроводность (мкСм/см), мутность (НЕМ – нефилометрическая единица мутности), насыщенность водной толщи кислородом (%), pH и температуру воды (°C) (табл. 1, 2).

Пробы бактериопланктона после отбора помещали в стерильные пластиковые флаконы объемом 60 мл, фиксировали 37%-ным формалином до конечной концентрации 2% и хранили до анализа в темноте при температуре 4°C. Численность и размеры гетеротрофного бактериопланктона и его размерно-морфологических групп (одиночных, агрегированных, нитевидных) определяли методом эпифлуоресцентной микроскопии с использованием флуорохрома DAPI и окрашенных судановым черным ядерных фильтров с диаметром пор 0.17 мкм (Porter, Feig, 1980; Newall, Christian, 1981).

Пробы фитопланктона объемом 0.5 л фильтровали последовательно через мембранные фильтры с диаметром пор 5 мкм и 0.8 мкм до 5 мл с использованием вакуумного насоса. Материал консервировали раствором Люголя с добавлением формалина и ледяной уксусной кислоты (Методика..., 1975; Корнева, 2015). Для оценки численности подсчет клеток водорослей проводили в камере Учинская-2 объемом 0.01 мл (Гусева, 1959). Биомассу определяли методом геометрического подобия.

Количественный учет инфузорий проводили на сулемовых препаратах после предварительного концентрирования пробы объемом 0.25 л самотеком через мембранные фильтры с диаметром пор 8 мкм, до 10 мл (Ротарь, 1995; Small, Lynn, 2000).

Зоопланктон учитывали в тотальных пробах, которые отбирали мерным цилиндром (10 л) и сетью Апштейна с диаметром входного отверстия 12 см и ситом с диагональю ячеек 105 мкм. Сборы фиксировали 40%-ным формалином до конечной концентрации в пробе 4% (Определитель..., 2010). Для выявления и учета мертвых особей зоопланктона, пробы, отобранные по указанной выше методике, прижизненно окрашивали 7.5%-ным раствором анилинового голубого красителя (С.И. 42780,

Таблица 1. Станции отбора проб и их координаты в ВДСК

Станция	Дата отбора проб	Широта,	Долгота,
Незарегулированный участок Волги			
Сарепта (ст. 14)	2023-08-24	48.53	44.52
Красноармейский затон (ст. 15)	2023-08-24	48.52	44.54
Волжская лестница			
Шлюз 1	2023-08-25	48.51	44.55
Шлюз 2	2023-08-25	48.51	44.55
Шлюз 3	2023-08-25	48.49	44.55
Шлюз 4	2023-08-25	48.43	44.51
Шлюз 5	2023-08-25	48.42	44.48
Шлюз 6	2023-08-26	48.42	44.45
Водораздел (ст. 16)	2023-08-26	48.42	44.44
Шлюз 7	2023-08-26	48.43	44.43
Шлюз 8	2023-08-26	48.44	44.42
Шлюз 9	2023-08-26	48.44	44.41
Водораздел (Нариман) (ст. 17)	2023-08-26	48.48	44.24
Донская лестница			
Шлюз 10	2023-08-26	48.57	44.15
Шлюз 11	2023-08-27	48.66	43.86
Шлюз 12	2023-08-27	48.66	43.79
Шлюз 13	2023-08-27	48.63	43.59
Цимлянское водохранилище			
Калач-на-Дону (ст. 18)	2023-08-27	48.66	43.53

$C_{37}H_{27}N_3Na_2O_9S_3$, М.м. 799.8) (Дубовская, 2008; Семенова, 2010; Vickel *et al.*, 2008). Окрашивание зоопланктона проводили сразу же после его отбора, на борту судна, что исключало дополнительную гибель зоопланктеров в результате транспортировки проб. После окрашивания пробы промывали и фиксировали 40%-ным формалином с сахарозой. В качестве показателя относительной смертности использовали соотношение мертвых и живых особей по численности и биомассе или долю мертвых особей в валовой (суммарной) численности и биомассе живых и мертвых особей (Дубовская, 2008; Семенова, 2010).

Статистический анализ полученных данных проводили в пакете программ Microsoft Office 2021. Для оценки степени видового сходства планктонного сообщества отдельных участков ВДСК использовали индекс Серенсена. Для наглядного представления оценки видового сходства были построены диаграммы Венна с использованием электронного ресурса <https://www.semestr.online/graph/>.

Таблица 2. Данные по электропроводности, насыщения воды кислородом, pH, мутности и прозрачности в ВДСК

Станция	Электропроводность (мкСм/см) при 25 °С	O ₂ , %	pH	Мутность, НЕМ	T, °С	Прозрачность, см
<i>Незарегулированный участок Волги</i>						
Сарепта (ст. 14)	396	80	9.0	1.4	24.4	240
Красноармейский затон (ст. 15)	1399	115	9.1	13.3	26.9	80
<i>Волжская лестница</i>						
Шлюз 1	1435	100	9.1	34	25.3	90
Шлюз 2	1412	100	9.2	34	25	110
Шлюз 3	1428	102	9.2	45	25.3	115
Шлюз 4	1412	108	9.2	3	24.8	120
Шлюз 5	1422	100	9.2	3	24.1	145
Шлюз 6	1171	98	8.7	7	22.9	150
Водораздел (ст. 16)	1420	94	9.0	7	23.8	155
Шлюз 7	1410	93	8.8	6	23.2	180
Шлюз 8	1402	90	8.8	6	23.3	150
Шлюз 9	1406	92	8.9	5	23.6	200
Водораздел (Нариман) (ст. 17)	1372	86	9.0	2	23.2	270
<i>Донская лестница</i>						
Шлюз 10	1300	88	9.0	4	23.6	250
Шлюз 11	882	71	8.5	5	23.2	150
Шлюз 12	936	98	9.0	13	23.3	90
Шлюз 13	825	81	8.9	39	23.7	80
<i>Цимлянское водохранилище</i>						
Калач-на-Дону (ст. 18)	811	88	9.2	27	24.3	80

Распределение диаграмм в работе было выстроено по убыванию количества видов в шлюзах.

Для оценки степени влияния абиотических и биотических факторов на численность (N) и биомассу (B) различных компонентов планктона использовали непараметрический корреляционный анализ (ранговый коэффициент Спирмена при уровне значимости $p \leq 0.05$) в программе Statistica 12.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Абиотические показатели. Электропроводность сильно менялась при переходе от Волги к Дону (табл. 1, 2). Резкое увеличение электропроводности (более чем в 3.5 раза) происходило непосредственно в преддверии первого шлюза (Красноармейский затон). Затем показатели сохранялись на одном уровне на протяжении всей Волжской лестницы, а начиная с водораздельных 9 и 10 шлюзов, вновь снижались до уровня, зарегистрированного в Цимлянском водохранилище, которые тем не менее были вдвое выше, чем

в Волге. Максимальные показатели мутности отмечались только в первых трех волжских и донских шлюзах. Рост прозрачности происходил по направлению от волжских к донским шлюзам. Значение pH изменялось незначительно на протяжении всего ВДСК от 8.5 до 9.2. Температура была повсеместно высокой и изменялась от 22.9 (шлюз 6) до 26.9 °С в мелководном, слабопроточном Красноармейском затоне. Насыщение кислородом превышало 80% на всех станциях (табл. 1, 2).

Таксономическая структура планктонных сообществ. В составе планктонного сообщества организмов (фито-, прото- и метазоопланктона) всего зарегистрировано 350 видов организмов, из них общими для всех исследованных участков (станции "Волга", "Дон", "шлюзовые камеры") было 53 вида, или 15%. Общими для Волги и Дона оказались 55 видов (32%), Волги и шлюзовых камер – 102 (30%), Дона и шлюзовых камер – 88 видов (27%). Всего в шлюзовых камерах было зарегистрировано 314 вида планктонных организмов, что составляет 90% от общего видового богатства на исследуемом участке. Только в шлюзовых камерах было

встречено 50% от общего видового богатства всех планктонных организмов. Это говорит о специфичности сообщества планктона, формирующегося в динамичных условиях шлюзов ВДСК (рис. 2, 3).

В составе бактериопланктона ВДСК были зарегистрированы следующие морфологические группы: одиночные, на детрите, палочки, нити. Максимальные показатели численности отмечены во 2-м (12 млн кл/мл), 3-м (11.69 млн кл/мл) и 13-м (11.71 млн кл/мл) шлюзах. Максимальные показатели биомассы наблюдали во 2-м шлюзе, где они и составили 204 мгС/м³. Основной вклад в формирование общей численности и биомассы вносили одиночные бактерии и бактерии, развивающиеся на детрите, доля которых максимальна в первых трех шлюзах Волжской лестницы.

В составе фитопланктона шлюзов было зарегистрировано 195 таксонов водорослей рангом ниже рода. Основную роль в формировании видового богатства альгофлоры планктона вносили зеленые водоросли, которые составляли 36% от общего числа зарегистрированных видов, разновидностей и форм. Далее следовали диатомовые, на долю которых приходилось 27% от общего числа видовых и внутривидовых таксонов. Третье место в ранжированном ряду занимали цианобактерии, которые вносили 16% в общее видовое богатство альгофлоры. Роль представителей других отделов водорослей в формировании видового богатства была не велика. Увеличение удельного числа видовых и внутривидовых таксонов водорослей в шлюзах отмечалось по направлению от Волги к Дону. В Волжской шлюзовой лестнице ВДСК всего было зарегистрировано 139 таксонов водорослей, рангом ниже рода, в Донской – 129. Таксономическая структура альгофлоры планктона отличалась: в Волжской шлюзовой лестнице, по сравнению с Донской, была выше доля диатомовых водорослей, в Донской – цианобактерий. Сходство альгофлоры шлюзов Волжской лестницы несколько ниже (в среднем 41%), чем

между шлюзами Донской лестницы (соответственно, 45%). Максимальное видовое сходство (61%) было зарегистрировано между альгофлорой шлюза № 13 и Цимлянского водохранилища. В шлюзе № 9 встречены неразрушенные колонии *Volvox aureus* Ehrenberg (рис. 3), сохранившиеся даже в условиях интенсивного перемешивания.

Всего в шлюзах ВДСК было выявлено 65 видов свободноживущих инфузорий, из них: 48 – в шлюзах Волжского склона и 38 – в шлюзах Донского склона. Сходство видового состава инфузорий шлюзов Волжского и Донского склонов составило по коэффициенту Серенсена 61%. При этом сходство сообществ инфузорий соседних (смежных) шлюзов в целом уменьшалось по направлению от Волги к Дону.

Всего в составе зоопланктона ВДСК было выявлено 100 видов: Rotifera – 51, Cladocera – 31, Copepoda – 18 (Cyclopoida – 15, Calanoida – 3), из них 93 видов во всех шлюзах: 75 – в шлюзах Волжского и 49 – в шлюзах Донского склонов. В среднем в шлюзах удельное число видов составило от 20 до 25 с максимумом в первом шлюзе. Сходство видового состава зоопланктона шлюзов Волжского и Донского склонов, рассчитанное с использованием коэффициента Серенсена, было 48%. При этом сходство сообществ зоопланктона смежных шлюзов в целом уменьшалось по направлению от Волги к Дону. Отмечалось значительно меньшее сходство сообществ зоопланктона шлюзов Донского склона между собой, по сравнению с Волжским (коэффициент Серенсена – 28%, тогда как в шлюзах Волжского склона – 53%). Дополнительный вклад в видовое богатство зоопланктона на протяжении всего ВДСК вносила зарослевая фауна (например, *Mytilina ventralis* subsp. *ventralis* (Ehrenberg, 1830), *Lophocharis oxysternon* (Gosse, 1851) и прикрепленные формы (*Colotheca* sp.). На станциях, расположенных в районе незарегулированной Волги (Сарепта), в зоопланктоне регистрировали коловраток *Synchaeta stylata* Wierzejski, 1893 (рис. 3)

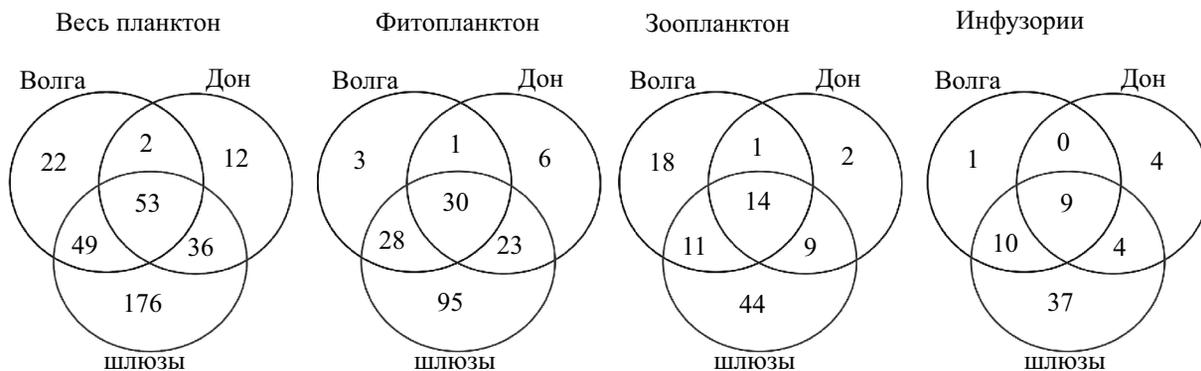


Рис. 2. Распределение числа общих и специфических видов отдельных компонентов планктонного сообщества шлюзов ВДСК (диаграмма Венна).

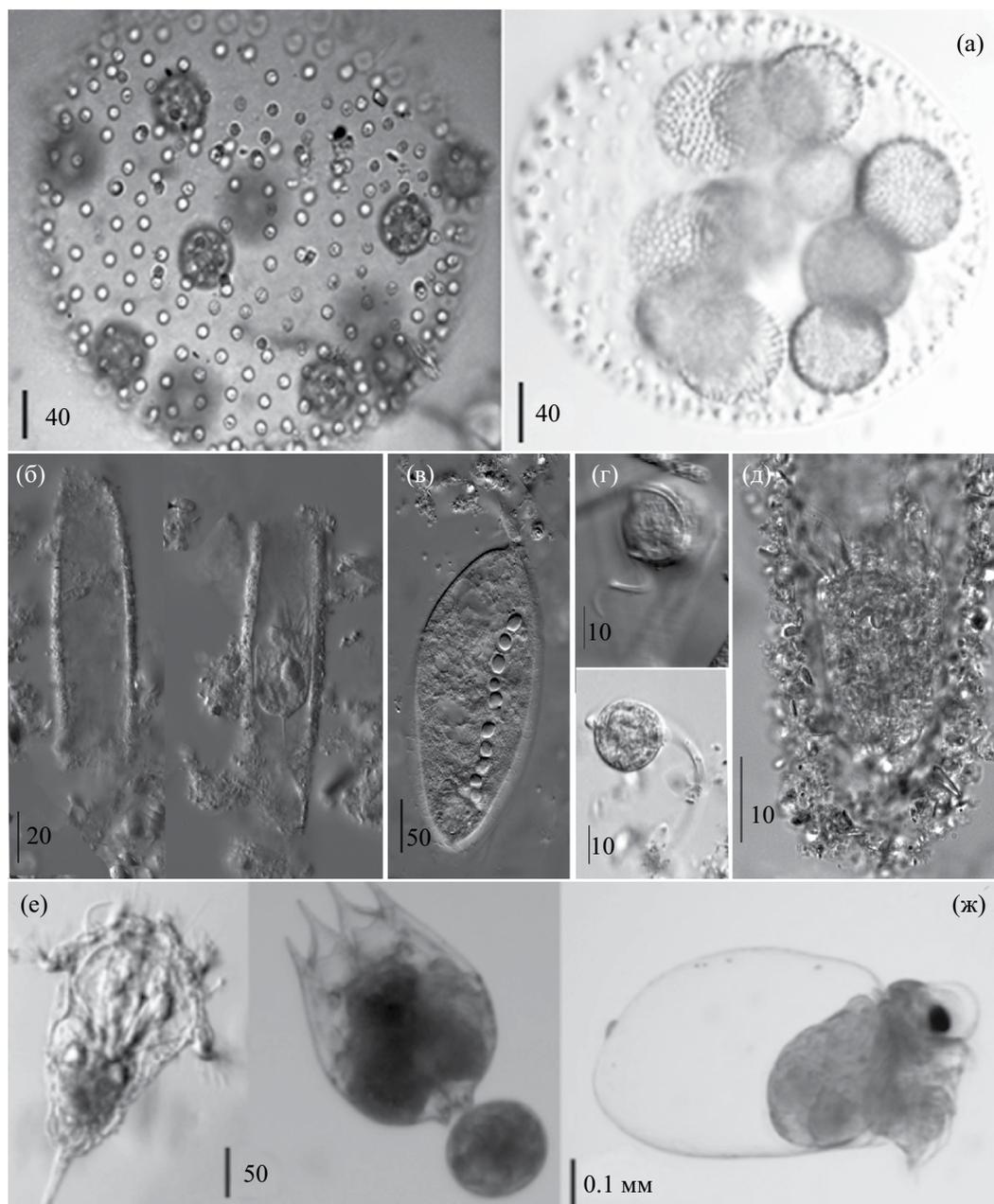


Рис. 3. Виды планктонных организмов различных групп: а – разновозрастные клетки *Volvox aureus* Ehrenberg, 1832, б – *Leprotintinnus pellucides* (Cleve, 1899); в – *Pelagodileptus trachelioides* (Zacharias, 1894) Foissner, Berger & Schaumburg, 1999; г – *Pelagovorticella mayeri* Fauré-Fremiet, 1920; д – *Tintinnidium* sp.; е – *Synchaeta stylata* Wierzejski, 1893, *Brachionus calyciflorus* Pallas, 1766; ж – *Podonevadne trigona ovum* (Zernov, 1901). Масштаб: а, б–д, е – мкм, ж – мм.

и ветвистоусых ракообразных *Daphnia galeata* Sars, 1864, *Daphnia cucullata* Sars, 1862 и их гибриды. В ВДСК эти организмы были встречены единично, только в первом шлюзе.

Доминирующие таксоны планктонных сообществ. Состав доминирующего комплекса видов водорослей значительно изменялся на протяжении всего участка исследования. На станции, расположенной на р. Волге (Сарепта), преобладали цианобактерии,

обычно вызывающие “цветение” воды в волжских водохранилищах: *Microcystis aeruginosa* Kützing, 1846 и *Aphanizomenon flos-aquae* (Linnaeus) Ralfs ex Borne & Flahault, 1888 (Корнева, 2015). Численность цианобактерий на этой станции составляла 71 млн кл/л, а биомасса – 5 мг/л. При этом *M. aeruginosa* составлял 70% от общей численности и 60% от общей биомассы. На долю *A. flos-aquae* приходилось соответственно 24 и 33% от этих

показателей. В Красноармейском затоне, у входа в ВДСК, резко увеличивалась минерализация воды, и доминирующую позицию занял понто-каспийский вселенец, эвригалитный вид *Skeletonema subsalsum* (Cleve-Euler) Bethge, 1928. Этот вид продолжил свое активное развитие и преобладал в составе фитопланктона в первых четырех шлюзах, характеризующихся максимальными показателями общей минерализации. Наряду с ним в состав доминирующего комплекса видов устойчиво, на протяжении всего канала, входила *Leptolyngbya foveolarum* (Gomont 1892) Anagnostidis and Komárek 1988. По отношению к традиционным местам обитания вид имеет широкую экологическую амплитуду, он может обитать и в бентосе, и в планктоне, и в обрастаниях. Вероятнее всего, он достигал массового развития на стенах шлюзов, откуда постоянно смывался во время их работы в толщу воды. По мере продвижения к Дону в состав доминантов в фитопланктоне устойчиво входили нитчатые цианобактерии, активно развивавшиеся в Цимлянском водохранилище, а именно *Pseudoanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek 1974, *Planktothrix agardii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988.

По составу основных доминантов инфузорий прослеживалась смена сообществ при переходе от Волги к Дону. На волжской станции (Сарепта) и в целом в шлюзах Волжской лестницы по численности лидировали эпипланктонные виды рода *Vorticella* на колониях *Microcystis*, *Aphanizomenon*, средние по размеру *Urotricha* spp., *Rimostrombidium hyalinum* (Mirabdulaev, 1985) Petz & Foissner, 1992 и *Halteria* sp. В шлюзах Донской лестницы и Цимлянском водохранилище в сообществе инфузорий явно преобладал (17–37% численности) миксотроф *Coleps hirtus viridis* Ehrenberg, 1831. Кроме него, в состав доминантов входили *Pelagovorticella natans* (Faure-Fremiet, 1924) Jankowski, 1985 (шлюзы) и *Tintinnopsis cylindrata* Kof. & Cam., 1892, *Vorticella* sp. (Калач-на-Дону, Цимлянское водохранилище). Среди волжских шлюзов интересны первые два с точки зрения важных находок: в состав доминантов в них и на рядом расположенной станции Волги (Красноармейский затон) входили *Leprotintinnus pellucides* (Cleve, 1899) и впервые найденный *Tintinnidium* sp., отличающийся от других тинтинид мощным широким коническим домиком, а от близкого к нему *Tintinnidium ephemeridium* Hilliard, 1968 наличием только одного макронуклеуса (рис. 3). На уровне субдоминантов различия не выражены. На волжских станциях и в шлюзах Волжского склона значима роль *Cinetochilum margaritaceum* Perty, 1852, *Rimostrombidium lacustris* (Foissner, Skogstad & Pratt, 1988) Petz & Foissner, 1992, *T. cylindrata*, *Urotricha* spp. (< 25 мкм), *Pelagostrombidium* sp., *Pelagohalteria viridis* (Fromentel, 1876) Foissner, Skogstad & Pratt, 1988, на станции Цимлянского водохранилища значительную часть численности формировал

Limnostrombidium pelagicum (Cleve, 1899). Обращает на себя внимание и единичная находка в Варваровском водохранилище (т.е. на водоразделе, при относительно спокойных гидродинамических условиях) вида, считающегося морским по происхождению, *Pelagovorticella mayeri* (Faure-Fremiet, 1920), но уже неоднократно отмечавшегося нами в бассейне Волги и Камы (рис. 3).

Среди зоопланктона на волжской станции (Сарепта) преобладали по количественным показателям коловратки *Synchaeta oblonga* Ehrenberg, 1831 (по численности – 25% и биомассе – 9%) и *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, 1832 (10%, 5% соответственно); и ракообразные *D. galeata* (21%, 60% соответственно), *D. cucullata* (10%, 20% соответственно). В Волжской лестнице (в шлюзах № 1–6) по численности доминировала коловратка *Bipalpus hudsoni* (Imhof, 1891) (от 10–15%) и *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834) (10–12%) и др. Основу биомассы составляли кладоцеры: *Podonevadne trigona ovum* (Zernov, 1901) (до 23%) (рис. 3), а в третьем шлюзе – *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891) (16%) и т.д.

Значительно выделялось сообщество Красноармейского затона, где регистрировали коловратку *Eiphanes senta* (O.F. Müller, 1773), численность которой составляла 11% от общей численности, и кладоцеру *Pleuroxus aduncus* Jurine, 1820, на долю которого приходилось 10% от общей биомассы. Эти виды в большей степени приурочены к прибрежным или зарослевым зонам.

В Донской лестнице (в шлюзах № 10–13) и в зоне водораздела (Нариман, Варваровское водохранилище) по численности преобладали рачки *Bosmina (Bosmina) longirostris* (O.F. Müller, 1785) (10–12%), *Thermocyclops taihokuensis* Harada, 1931 (30–47%) и *Moina cf. micrura* Kurz, 1874 (10–27%). Возле г. Калач-на-Дону (Цимлянское водохранилище) в состав доминантов входили *Diaphanosoma orghidani* Negrea, 1982 (10% и 14%) и *Th. taihokuensis* (11% и 15% соответственно).

Уровень смертности в сообществе зоопланктона.

Можно предположить, что, проходя через шлюзы, в условиях постоянной турбулентности зоопланктон подвергается механическим повреждениям, что ведет к гибели организмов (Tang et al., 2014). Как показали наши исследования, для всего зоопланктона доля мертвых особей была невелика и составляла на различных станциях от 1.2 до 9.5% численности и 0.6 до 8.4% биомассы зоопланктона (рис. 4, 5). Максимальная доля мертвых особей была отмечена в Красноармейском затоне. В Волжских шлюзах происходило постепенное снижение доли погибших организмов от первых шлюзов к последующим (от 4–6% до 1–2%) общей численности. Минимальные доли мертвых особей были отмечены в районе шлюза № 8 (около 1%). Затем их число возрастало вплоть до реки Дон, оставаясь примерно на одном и том же уровне (5–8%). Максимальные показатели

смертности регистрировались в Волге (6–7%) и Доне (5–8%) (рис. 5). Доля мертвых особей зоопланктона (включая коловраток и кладоцер), достоверно значимо, растет с увеличением показателей мутности ($r = 0.67$ при $p \leq 0.05$) и минерализацией ($r = 0.61$ при $p \leq 0.05$) (рис. 5). Достоверно значимых связей с другими абиотическими факторами (прозрачностью, температурой, pH, насыщением кислородом), определяющих, предположительно, смертность/развитие копепод, не установлено ($r = 0.21$ при $p \leq 0.05$).

Из 100 зарегистрированных видов зоопланктона мертвые особи отмечались в популяциях 31 вида. При этом они наблюдались не только среди массовых и доминирующих видов, но и среди единичных. Доля мертвых особей изменялась в популяциях разных видов в очень широких пределах (рис. 4, 5). Наибольшей она была среди представителей видов, которые являются тонкими фильтраторами: в Волжской шлюзовой лестнице у *Brachionus calyciflorus* Pallas, 1766 (рис. 3) (6–10%) и *D. galeata* (15–100%), в Донской – у *Bosmina (Bosmina) longirostris* (20–23%) и *Moina cf. micrura* (9–25%). Для *D. orghidani* смертность составляла 13–14% на протяжении всего Волго-Донского канала. Для видов со смешанным типом питания *P. trigona ovum*, *Calanipeda aquaedulcis* Krichagin, 1873 она была 1–4%. Среди инвазийных видов *Cercopagis (Cercopagis) pengoi* (Ostroumov, 1891), *Eurytemora caspica* Sukhikh & Alekseev, 2013 и *Heterocope caspia* Sars G.O., 1897 мертвых организмов не было, за исключением *Th. taihokuensis* (в среднем 2%) и *Cornigerius maeoticus maeoticus* (Pengo, 1879), у которого при невысокой численности все особи были мертвы (рис. 4, 5).

Доля мертвых особей в различных таксономических группах также изменялась в широких пределах. Для *Rotifera* она была на низком уровне в Волге и Цимлянском водохранилище, в шлюзовых камерах возрастала, составляя от 10 до 18% с максимумом в первом и втором шлюзах Волжской лестницы и одиннадцатом – Донской. Для *Cladocera*, доля которых в зоопланктоне Волги и Дона была достаточно велика, на протяжении всего ВДСК, отмечалась высокая смертность (до 9–15%), с максимумом в незарегулированной части Волги и шлюзовых камерах Донской лестницы. Доля мертвых особей среди *Soropoda* была на среднем уровне и составляла 4–7% (рис. 4, 5).

Факторы, влияющие на показатели планктонного сообщества. С целью выявления основных факторов, влияющих на показатели развития отдельных компонентов планктонного сообщества (бактерио-, фито-, протозоо- и метазоопланктона) в шлюзах, был проведен непараметрический корреляционный анализ, результаты которого представлены в табл. 3–6. Установлена достоверная положительная взаимосвязь развития бактерий с параметрами температуры воды и pH среды (табл. 3). При этом в структуре бактериального сообщества велика доля форм, связанных с детритом, для которых отмечена положительная корреляционная связь с мутностью воды. Показатели общей численности и биомассы фитопланктона связаны отрицательно с прозрачностью воды; для диатомовых водорослей отмечается положительная связь с температурой, pH и мутностью (табл. 3). Развитие зоопланктона (коловраток) зависело от показателя электропроводности и содержания кислорода в водной толще (табл. 3, рис. 4).

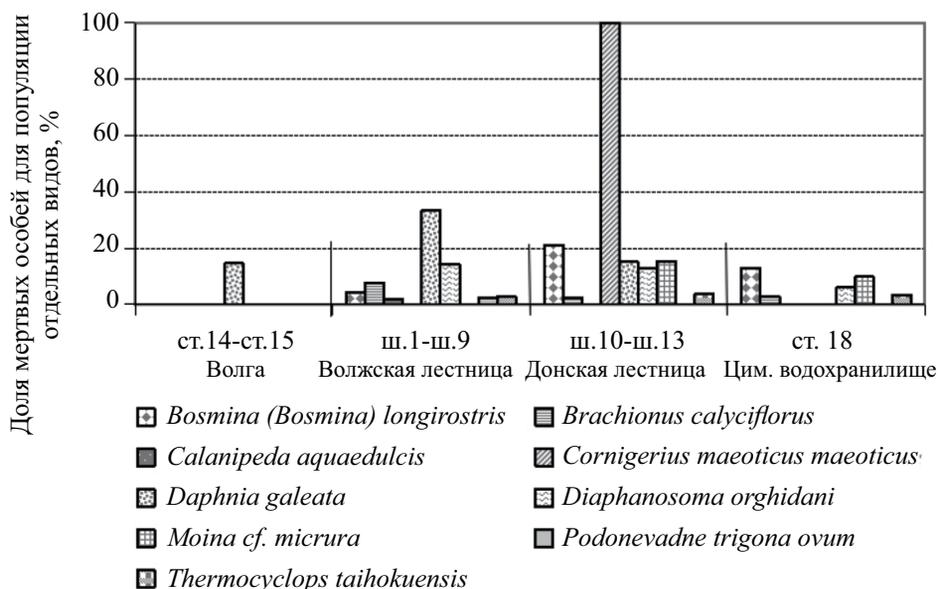


Рис. 4. Доля (%) мертвых особей по численности в популяциях отдельных видов зоопланктона в шлюзах ВДСК.

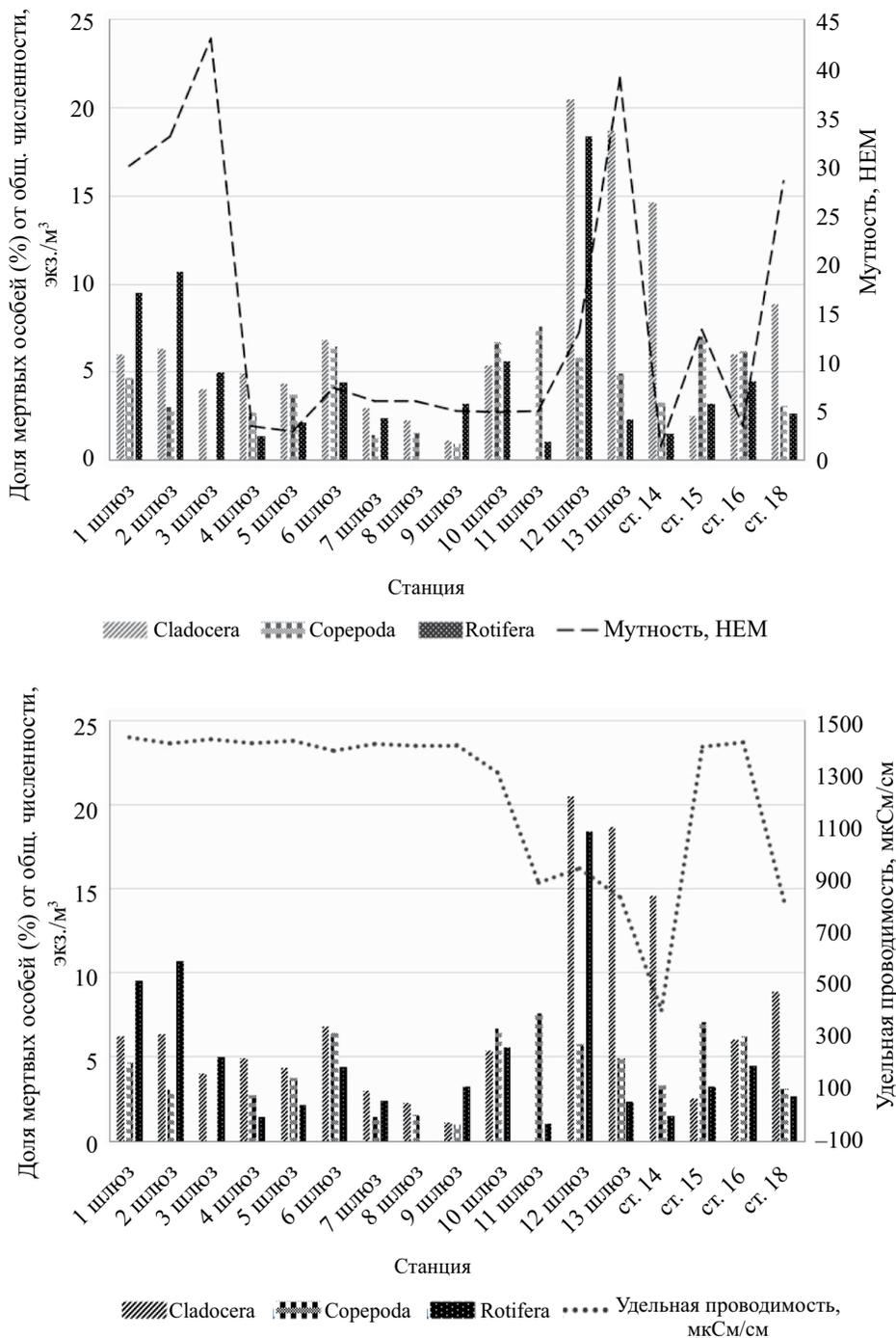


Рис. 5. Изменение доли (%) мертвых особей в отдельных систематических группах зоопланктона, мутности (НЕМ) (а) и электропроводности (мкСм/см) (б) в шлюзах ВДСК.

Для всех компонентов планктона характерна сложная система взаимоотношений, от которых зависят возможности их питания, размножения и распространения. Найти и доказать эти связи чрезвычайно сложно. Однако проведенная ранговая корреляция Спирмена помогла выявить

некоторые достоверно значимые зависимости. Так, доля коловраток в сообществе зоопланктона выше, если выше численность инфузорий ($r = 0.51$, $p \leq 0.05$); биомасса коловраток положительно коррелировала с биомассой зеленых водорослей ($r = 0.48$). Кроме того, показатели развития

Таблица 3. Достоверные корреляционные связи между компонентами планктонного сообщества и абиотическими параметрами (достоверность при уровне значимости $p \leq 0.05$)

Компоненты планктонного сообщества	Прозрачность, см	Электропроводность (мкСм/см) при 25°C	O ₂ , %	pH	Температура, °C	Мутность, НЕМ
Фитопланктон						
Н общ.	-0.52	-	-	-	-	-
В общ.	-0.56	-	-	-	-	-
цианобактерии, N	-0.50	-	-	-	-	-
цианобактерии, N%	-	-0.52	-0.63	-	-	-
цианобактерии, В	-	-0.65	-	-	-	-
цианобактерии, В%	-	-0.80	-0.73	-	-	-
диатомовые, N	-0.57	-	0.51	0.57	0.69	0.67
диатомовые, N%	-	0.52	0.67	-	-	-
диатомовые, В	-0.59	-	-	-	-	0.69
диатомовые, В%	-	-	0.60	-	-	-
зеленые, N%	0.67	-	-	-	-	-
зеленые, В %	0.79	-	-	-	-	-
Инфузории						
миксотрофные, В	-	-	-	0.49	-	-
Зоопланктон						
коловратки, N%	0.54	0.62	-	-	-	0.65
клядоцеры, В	-	0.68	0.58	-	-	0.61
Бактерии						
Н общ.	-	-	-	-	0.50	0.50
В общ.	-	0.58	0.51	0.67	0.71	-
одиночные, N%	-	-	-0.74	-0.50	-	-0.54
одиночные, В%	-	-0.50	-0.71	-0.68	-0.54	-
на детрите, N	-	-	0.67	0.61	-	0.51
на детрите, N%	-	-	0.76	0.52	-	0.53
на детрите, В	-	0.50	0.69	0.65	0.52	-
на детрите, В%	-	0.54	0.77	0.66	0.52	-
нити, N	-	-	-	-	-	0.55
нити, N%	-	-	-	-	-	0.52
палочки, В	-	-	-	-	-	-

Примечание. “-” – связь между параметрами недостоверна (для табл. 3–6).

коловраток, истинных фильтраторов, достоверно положительно коррелировали с суммарной биомассой бактерий ($r = 0.49$) и с биомассой всех групп бактерий (одиночные, на детрите, палочки) ($r = 0.52-0.62$). Однако они избегали массового развития цианобактерий ($r = -0.49$). Инфузории, особенно миксотрофные (содержащие в качестве симбионтов зоохлореллы и иногда питающиеся ими), положительно связаны с зелеными водорослями ($r = 0.50-0.62$). Цианобактерии отрицательно коррелировали с бактериями на детрите ($r = -0.52 - -0.67$) и положительно – с одиночными бактериями ($r = 0.61-0.65$). Для диатомовых наблюдалась обратная реакция: положительная

корреляция – с бактериями на детрите и отрицательная – с одиночными бактериями. Это косвенным образом показывает конкурентные взаимоотношения между цианобактериями и диатомовыми водорослями, хотя непосредственно достоверно значимых связей между ними не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Состав гидробионтов (бактерио-, фито-, протозоо- и метазоопланктона) шлюзовых камер судоходного Волго-Донского канала представлен в настоящей работе впервые. Это связано

Таблица 4. Достоверные корреляционные связи между компонентами планктонного сообщества и бактериями (достоверность при уровне значимости $p \leq 0.05$)

Компонент планктона	Компонент планктона							
	Бактерии							
	суммарно		одиночные		на детрите		палочки	
	<i>N</i>	<i>B</i>	<i>N</i>	<i>B</i>	<i>N</i>	<i>B</i>	<i>N</i>	<i>B</i>
Фитопланктон								
цианобактерии, <i>N</i> %	–	–	–	–	–0.57	–0.52	–	–
цианобактерии, <i>B</i> %	–	–	–	–	–0.53	–0.55	–	–
диатомовые, <i>N</i>	0.67	0.72	–	0.61	0.68	0.68	–	–
диатомовые, <i>N</i> %	–	–	–	–	0.61	0.59	–	–
диатомовые, <i>B</i>	0.56	0.51	–	0.58	0.55	0.53	–	–
диатомовые, <i>B</i> %	–	–	–	–	0.69	0.70	–	–
зеленые, <i>N</i>	0.51	–	0.65	–	–	–	–	–
зеленые, <i>B</i>	–	–	0.79	0.52	–	–	–	–
Зоопланктон								
клароцеры, <i>N</i>	–	–	–	–	–	–	0.55	–
клароцеры, <i>N</i> %	–	–	–	–	–	–	0.53	–
коловратки, <i>B</i>	–	0.49	–	0.52	0.56	0.57	0.52	0.62

Таблица 5. Достоверные корреляционные связи между компонентами планктонного сообщества и фитопланктоном (достоверность при уровне значимости $p \leq 0.05$)

Компонент планктона	Компонент планктона							
	синезеленые		диатомовые				зеленые	
	<i>N</i> %	<i>B</i> %	<i>N</i>	<i>N</i> %	<i>B</i>	<i>B</i> %	<i>N</i>	<i>B</i>
Инфузории								
<i>B</i> общ.	–	–	–	–	–	–	0.53	–
миксотрофные, <i>N</i>	–	–	–	–	–	–	0.62	0.53
миксотрофные, <i>N</i> %	0.50	–	–	–	–	–	0.50	–
миксотрофные, <i>B</i>	–	–	–	–	–	–	0.53	–
Зоопланктон								
коловратки, <i>N</i> %	–	–	–	–	–	–	–	0.48
коловратки, <i>B</i>		–0.49	–	–	–	–	–	–
Бактерии								
<i>N</i> общ.	–	–	0.67	–	0.56	–	0.51	–
<i>B</i> общ.	–	–	0.72	–	0.51	–	–	–
одиночные, <i>N</i>	–	–	–	–	–	–	0.65	0.79
одиночные, <i>N</i> %	0.61	0.65	–0.54	–0.67	–	–0.78	–	–
одиночные, <i>B</i>	–	–	0.61		0.58		–	0.52
одиночные, <i>B</i> %	–	0.57	–0.54	–0.50		–0.60	–	–
на детрите, <i>N</i>	–0.57	–0.53	0.68	0.61	0.55	0.69	–	–
на детрите, <i>N</i> %	–0.63	–0.67	0.54	0.65		0.75	–	–
на детрите, <i>B</i>	–0.52	–0.55	0.68	0.59	0.53	0.70	–	–
на детрите, <i>B</i> %	–0.56	–0.63	0.56	0.60		0.68	–	–

с техническими сложностями при отборе проб в условиях постоянной турбулентности. Вероятно, повышенные минерализация и электропроводность

на всем протяжении Волжского склона ВДСК формировались за счет специфических почвенно-геологических и климатических условий аридной зоны

Таблица 6. Достоверные корреляционные связи между компонентами планктонного сообщества и инфузориями, также зоопланктоном (достоверность при уровне значимости $p \leq 0.05$)

Компонент планктона	Компонент планктона				
	Инфузории				
	N общ.	B общ.	миксотрофные инфузории		
N			N%	B	
Фитопланктон					
цианобактерии, N	–	–	–	0.50	–
зеленые, N	–	0.53	0.62	0.50	0.53
зеленые, B	–	–	0.53	–	–
Зоопланктон					
коловратки, N%	0.51	–	–	–	–
Бактерии					
одиночные, B%	–	–	–	–0.52	–
	Зоопланктон				
	Кладоцеры		Коловратки		
	N общ.	N	N%	N%	B
Фитопланктон					
цианобактерии, B%	–	–	–	–	–0.49
зеленые, B%	–	–	–	0.48	–
Инфузории					
N общ.	–	–	–	0.51	–
Бактерии					
B общ.	–	–	–	–	0.49
одиночные, B	–	–	–	–	0.52
на детрите, N	–	–	–	–	0.56
на детрите, B	–	–	–	–	0.57
палочки, N	–	0.55	0.53	–	0.52
палочки, N%	0.50	0.55	–	–	–
палочки, B	–	–	–	–	0.62

(Королюк и др., 2024). Возможно также, что влияние оказывали светло-каштановые комплексные солонцеватыми почвами территории, на которой расположен канал (Цимлянское водохранилище..., 2011).

Район Красноармейского затона, где отмечались максимальные показатели минерализации, характеризовался небольшой глубиной, постоянным поступлением воды из первого шлюза, самой высокой во всем районе исследования температурой. Высокая мутность в первых трех шлюзах Волжской лестницы (табл. 2), вероятно, связана с высокой турбулентностью, а ее увеличение в шлюзах Донской лестницы – с процессом активного “цветения” воды цианобактериями, куда непосредственно осуществляется закачка воды из Цимлянского водохранилища (табл. 3, 5).

Максимальные показатели биомассы бактерий, отмеченные в первых трех шлюзах за счет прокариот, развивающихся на детрите, находятся в прямой зависимости от мутности воды, и, соответственно, от числа взвешенных в водной толще частиц (табл. 3). Увеличение показателей развития этой группы бактерий в шлюзовых камерах Донской лестницы связано, по-видимому, с активным “цветением” воды и использованием ими колоний цианобактерий в качестве субстрата (табл. 4).

Планктонное сообщество ВДСК отличается высоким видовым богатством. При этом сходство видового состава планктонных организмов аналогично для всех его компонентов (фитопланктона, прото- и метазоопланктона) и невелико как между отдельными шлюзами, так и между шлюзами, Волгой и Доном (рис. 2). Это позволяет сделать заключение об особых условиях в каждой шлюзовой камере и участках Волги и Дона и формировании богатого видами планктонного сообщества именно за счет его специфичности в каждой шлюзовой камере.

Более высокое сходство видового состава фитопланктона между шлюзами Донской лестницы, по сравнению с Волжской можно объяснить тем, что в период массового развития цианобактерий в Цимлянском водохранилище формируется устойчивое сообщество фитопланктона, которое, попадая в шлюзы при закачке воды, мало изменяется. Максимальное сходство регистрировалось непосредственно между альгофлорой Цимлянского водохранилища и конечным шлюзом (шлюзовой камерой № 13). Невысокое сходство сообществ водорослей, формирующихся в других участках исследованного района, вероятно, связано со специфическими гидродинамическими, гидрохимическими и гидробиологическими факторами, создающимися в каждом шлюзе. Исследования проводились в период “цветения” воды, при этом видовое богатство цианобактерий было выше в 2 раза в Цимлянском водохранилище, по сравнению с незарегулированной Волгой. Это оказало влияние на различия в таксономическом составе альгофлоры планктона Волжской и Донской лестниц. В составе альгофлоры планктона Волжской лестницы выше доля диатомовых водорослей, в составе Донской – цианобактерий. Состав комплекса доминирующих видов водорослей в незарегулированной Волге (Сарепте) и Цимлянском водохранилище не имел общих видов. На станции Сарепта в фитопланктоне лидирующая роль принадлежала цианобактериям, вызывающим процесс “цветения” воды волжских водохранилищ (Корнева, 2015), в Цимлянском водохранилище лидирующую роль в формировании общей численности и биомассы фитопланктона играли виды цианопрокариот планктотрихетового комплекса (Reynolds *et al.*, 2002). В условиях повышенной минерализации и температуры (табл. 2),

характерных для Красноармейского затона и первых четырех шлюзовых камер Волжской лестницы, отмечается активное развитие *S. subsalsum* – эвригалного, термофильного, понто-каспийского вида, активно расселившегося в водохранилищах волжского бассейна после завершения основного гидростроительства (табл. 3) (Корнева, 2015).

Значительно меньшее сходство сообществ инфузорий шлюзов Донского склона (от 7% до 25% по коэффициенту Серенсена против 25% и 58% шлюзов Волжского склона) объясняется большей протяженностью канала в этой части и наличием водохранилищ между шлюзами. В целом от Волги к Дону прослеживается тенденция снижения вклада альгофагов и неселективных всеядных видов (от 77% до 42%) и увеличения вклада трофических групп, активно участвующих в разложении органического вещества: бактерио-детритофагов и гистофагов (с 21% до 57%). Вероятно, это обусловлено повышенным содержанием биогенных элементов, поступающих в воды в результате разложения цианобактерий интенсивно “цветущей” Донской лестницы и Цимлянского водохранилища (численность цианобактерий до 549 млн кл/л, биомасса – до 18 мг/л) и массовом развитии на этом участке бактерий.

Небольшое сходство видового состава прото- и метазоопланктона, развивающегося в различных шлюзовых камерах, можно объяснить воздействием на эти организмы гидродинамического фактора (турбулентность). В целом доля мертвых особей зоопланктона оказалась неожиданно невысокой, несмотря на логичное предположение о негативном влиянии турбулентности на них. Наибольшая смертность зоопланктона была характерна для тонких фильтраторов (коловраток и кладоцер) и регистрировалась в концевых шлюзах Волжской и Донской лестниц ВДСК (рис. 5). Вероятно, это связано с тем, что в этих шлюзах отмечались наибольшие показатели мутности или выносом масс зоопланктона при сработке шлюзовых камер. Мелкие взвешенные частицы могли забивать традиционный аппарат зоопланктона, приводя к их гибели (Гутельмахер, 1986; Ривьер, 1990). В составе зоопланктона шлюзовых камер ВДСК преобладали активные хищники и организмы со смешанным типом питания. Негативное влияние специфических гидродинамических условий, складывающихся в связи с функционированием шлюзов, испытывают на себе, в первую очередь, классические представители протозоопланктона волжских водохранилищ – тинтиниды. Проявляется это в том, что они часто покидают свои домики. В волжских водохранилищах мы отмечали это при штормовых условиях. В первом и втором шлюзах ВДСК, например, доля домиков *L. pellucides* без особей достигала 56% и 67% соответственно, а на близлежащей волжской станции (Красноармейский затон) в спокойных

гидродинамических условиях – всего 14%. Это может быть связано и с высокой турбулентностью, и с отсутствием в шлюзах достаточного количества мелких минеральных частиц, которые тинтиниды используют для построения своих домиков (Dolan *et al.*, 2012).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В летний период 2023 г. в составе планктонного сообщества ВДСК и прилегающих акваторий незарегулированной Волги и Цимлянского водохранилища было зарегистрировано 195 видов водорослей, около 65 видов инфузорий и 100 видов зоопланктона. Невысокое сходство состава планктонного сообщества между отдельными шлюзами позволило сделать заключение об особых условиях, формирующихся в каждом из них, и формировании высокого видового богатства всех компонентов планктонного сообщества за счет специфических видов планктонов, развивающихся в отдельных шлюзах. Максимальные показатели развития бактериопланктона, обусловленные развитием прокариот, связанных с детритом, отмечались в концевых шлюзах Волжской и Донской лестниц канала. В составе альгофлоры планктона Волжской шлюзовой лестницы наблюдалась повышенная доля диатомовых водорослей, Донской – цианобактерий. Значительно меньшее сходство сообществ инфузорий и метазоопланктона шлюзов Донского склона объясняется большей протяженностью канала в этой части и наличием водохранилищ между шлюзами. Значительный вклад в формирование видового богатства зоопланктона вносила зарослевая фауна.

Наибольшая смертность зоопланктона была характерна для тонких фильтраторов (коловраток и кладоцер) и регистрировалась в концевых шлюзах Волжской и Донской лестниц ВДСК с высокими показателями мутности и минерализацией.

В составе всех компонентов планктонного сообщества присутствовали представители южного комплекса инвазийных видов, которые входили в ранг доминантов в некоторых шлюзах ВДСК.

В структуре бактериального сообщества велика доля форм, связанных с детритом, для которых отмечалась положительная корреляционная связь с мутностью воды. Показатели общей численности и биомассы фитопланктона были связаны отрицательно с прозрачностью воды, а для диатомовых водорослей положительно с температурой, рН и мутностью. Развитие зоопланктона (коловраток) определялось показателем электропроводности и содержанием кислорода в водной толще. Также установлена достоверная связь с между компонентами планктонного сообщества (бактерио-, фито-, протозоо- и метазоопланктона).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность команде судна “Академик Топчиев” и Ярославу Рыкову за помощь в проведении исследований, а также анонимным рецензентам за внимательное прочтение работы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственных заданий №124032100076-2 гостемы ИБВВ РАН “Структура, функционирование и разнообразие первичных продуцентов континентальных вод”, № 124032500016-4 гостемы ИБВВ РАН “Разнообразие, биология и экология водных и околоводных беспозвоночных континентальных вод”, № 122032500063-0 гостемы ИЭВБ РАН “Изменение, устойчивость и сохранение биологического разнообразия под воздействием глобальных изменений климата и интенсивной антропогенной нагрузки на экосистемы Волжского бассейна”, № 124032500012-6 гостемы ИБВВ РАН “Разнообразие, структура, функционирование и роль вирусов, прокариотных и эукариотных микроорганизмов в формировании биологического режима континентальных вод”.

ОДОБРЕНИЕ ЭТИКИ И СОГЛАСИЕ НА УЧАСТИЕ

Эта работа не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы этой работы заявляют, что у них нет конфликтов интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вязовиков М. И.* Волго-Донской судоходный канал им. Ленина. Сталинград: Кн. Изд-во, 1956. 80 с.
- Гаврилова Н.А., Довгаль И.В.* Раковинные планктонные инфузории (Ciliophora, Tintinnida) Черного и Азовского морей // Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН. Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2019. 176 с.
<https://doi.org/10.21072/978-5-6042938-7-4>.
- Гусева К.А.* К методике учета фитопланктона // Труды Ин-та биологии водохранилищ АН СССР. 1959. Т. 2. С. 44–51.
- Гутельмахер Б.Л.* Метаболизм планктона как единого целого. Трофометаболические взаимодействия зоо- и фитопланктона. Л., 1986. С. 155.
- Дубовская О.П.* Оценка количества мертвых особей рачкового зоопланктона в водоеме с помощью окрашивания проб анилиновым голубым: методические аспекты применения // Журн. Сиб. Фед. ун-та. Сер. Биология. 2008. № 2. С. 145.
- Корнева Л.Г.* Современные инвазии планктонных диатомовых водорослей в бассейне р. Волги и их причины // Биология внутренних вод. 2007. № 1. С. 30–39.
- Корнева Л.Г.* Фитопланктон водохранилищ Волги. Кострома: Костромской печатный дом. 2015. 284 с.
- Королюк А.Ю., Лактионов, А. П., Сенатор С.А.* Псаммофитные сообщества Доно-Цимлянского Песчаного массива // Растительность России. 2024. № 48. С. 51–69.
<https://doi.org/10.31111/vegus/2024.48.51>.
- Лазарева В.И., Сабитова Р.З.* Зоопланктона Цимлянского водохранилища и канала Волга-Дон // Зоологический журнал. 2021, Т. 100. № 6. С. 603–617.
<https://doi.org/10.31857/S0044513421040115>
- Лазарева В.И., Сабитова Р.З., Быкова С.В., Жданова С.М., Соколова Е.А.* Распределение летнего зоопланктона в каскаде водохранилищ Волги и Камы // Труды Ин-та биологии внутренних вод РАН. 2018. Вып. 83 (86). С. 62–84.
<https://doi.org/10.24411/0320-3557-2018-10030>.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 239 с.
- Минеева Н.М., Корнева Л.Г., Соловьева В.В.* Продукционные характеристики фитопланктона верхних и нижних бьефов ГЭС водохранилищ Волги // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 6. С. 653–662.
<https://doi.org/10.7868/S0321059617060062>.
- Оксиюк О.П., Олейник Г.Н., Шевцова Л.В.* Гидробиология каналов Украинской ССР. Киев: Наук. думка, 1990. 238 с.
- Оксиюк О.П., Стольберг Ф.В.* Управление качеством воды в каналах. Киев: Наукова думка, 1986. 173 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. Ред. Алексеев В.Р. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2010. 495 с.
- Ривьер И.К.* Влияние стоков г. Череповца на зоопланктон Шекснинского плеса. Влияние стоков Череповецкого промышленного узла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища. Рыбинск, 1990. С. 42–58.
- Ротарь Ю.М.* Планктонные инфузории Куйбышевского водохранилища: Дис. канд. биол. наук. СПб, 1995. 161 с.
- Семенова А.С.* Индикаторная роль зоопланктона в оценке экологического состояния Куршского залива: Дис. канд. биол. наук. Борок. 2010. 280 с.
- Сиренко Л.А., Денисова А.И., Пахомова М.Н.* Влияние ГЭС на качество воды и развитие фитопланктона в нижних бьефах водохранилищ // Гидротехн. стро-во. 1990. № 6. С. 22–25.

- Цимлянское водохранилище: состоянии водных и прибрежных экосистем, проблемы и пути их решения, 2011. Изд-во ЮНЦ РАН. 216 с.
- Щербак В.И., Сиренко Л.А., Кузьминчук Ю.С. Особенности развития фитопланктона верхних и нижних бьефов равнинных водохранилищ (на примере р. Тетерев) // Гидробиол. журн. 2005. Т. 41. № 6. С. 44–52.
- Bickel S.L., Tang K.W., Grossart H.P. Use of aniline blue to distinguish live and dead crustacean zooplankton composition in freshwaters // *Freshwater Biol.* 2008. V. 54. № 5. P. 971.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02141.x>.
- Dolan, J. R., Montagnes, D. J., Agatha, S., Coats, D. W., Stoecker, D.K. The biology and ecology of tintinnid ciliates: models for marine plankton // John Wiley & Sons. 2012. 296 с.
<https://doi.org/10.1002/9781118358092.ch10>.
- Kolarova N., Napiórkowski P. Are rotifer indices suitable for assessing the trophic status in slow-flowing waters of canals? // *Hydrobiologia.* 2023. 851(12-13):1–11.
<https://doi.org/10.1007/s10750-023-05275-7>.
- Lazareva V.I. Distribution of some ponto-caspian and alien copepods (Crustacea, Copepoda) in plankton of the Don river basin // *Rus. J. of Biological Invasions.* 2022. 15(3):79-98.
<https://doi.org/10.35885/1996-1499-15-3-79-98>.
- Muszynska-Jeleszynska D., Marciniak Z. Kanał Bydgoski i kanał Finow-Jedna historia. Dwa kanały. Wspólna przyszłość. *Gospod. Wodna.* 2016. (12), 430–433.
- Newall S. Y., Christian R. R. Frequency of dividing cells as an estimator of bacterial productivity // *Appl. Environ Microbiol.* 1981. V. 42. № 1. P. 23–31.
<https://doi.org/10.1128/aem.42.1.23-31.1981>.
- Porter K. G., Feig Y.S. The use DAPI for identifying and counting of aquatic mikroflora // *Limnol., Oceanogr.* 1980. V. 25. № 5. P. 943.
<https://doi.org/10.4319/LO.1980.25.5.0943>.
- Reynolds C., Huszar V., Kruk C., Naselli-flores L., Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // *J. Plankton Res.* 2002. V. 24. № 5. P. 417–428.
<https://doi.org/10.1093/plankt/24.5.417>.
- Slynko Yu. V., Korneva L. G., Rivier I. K., Papchenkov V. G. Scherbina G. H. Orlova M. I. & Therriault T. W. The Caspian – Volga – Baltic Invasion Corridor // *Invasive aquatic species of Europe. Distributions, impacts and management.* Kluwer Acad. Pub.: Dordrecht, Boston, London, 2002. P. 399–411.
https://doi.org/10.1007/978-94-015-9956-6_40.
- Small E. B., Lynn D. H. Phylum Ciliophora Doflein, 1901 // *An Illustrated guide to the protozoa.* 2nd ed / eds. J.J. Lee et al. (Lawrence, Kansas: Allen Press) 2000. P. 371–675.
- Tang K.W., Gladyshev M.I., Dubovskaya O.P. Zooplankton carcasses and non-predatory mortality in freshwater and inland sea environments // *J. Plankton Res.* 2014. V. 36. № 3. P. 597–612.
<https://doi.org/10.1093/plankt/fbu014>.

Features of the plankton community in the dynamic conditions of the lock chambers of the Volga-Don Shipping Canal named after V.I. Lenin

N. G. Tarasova¹, O. V. Mukhortova^{1, #}, S. V. Bykova²,
Y. V. Stroynov¹, I. S. Mikryakova¹, A. S. Semenova^{1, 3}

¹*Institute of Inland Water Biology, Borok settlement, Nekouz district, Yaroslavl region, 152742 Russia*

²*Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences, Komzina St. 10, Togliatti, 445030 Russia*

³*Atlantic Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography," Dmitry Donskoy St., 5, Kaliningrad, 236022 Russia*

[#]*e-mail: muhortova-o@mail.ru*

The state of the plankton community in the locks of the Volga-Don shipping canal and adjacent sections of the unregulated Volga and the Tsimlyansk reservoir was investigated. It includes 195 species of algae, about 65 species of ciliates and 100 species of zooplankton. The low similarity of the composition of all components of the plankton community between individual gateways made it possible to conclude about the special conditions created in each of them and the formation of a high species richness of all components of the plankton community due to specific species-plankters developing in individual gateways. All components of the planktonic community (phyto-, proto- and metazooplankton) included alien species of “southern” complexes. In sluice chambers, despite constant turbulence, the mortality rate of zooplankters was low. The greatest mortality among the representatives of metazooplankton was typical for filtrators (Rotifera and Cladocera) and was recorded in the end locks of the Volga and Don stairs of the VDSK with high rates of turbidity and mineralization.

Key words: bacteria, phytoplankton, ciliates, zooplankton, biodiversity, dominants, sluice chambers, Volga-Don canal