



УДК 574.583

ВИДОВОЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА МАЛЫШЕВСКОЕ

Бубнов Виктор Андреевич, студент 1 курса магистратуры кафедры экологии
ННГУ им. Н.И. Лобачевского
603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.

Гаврилко Дмитрий Евгеньевич, к.б.н., доцент кафедры экологии, заведующий
лабораторией водных экосистем кафедры экологии
ННГУ им. Н.И. Лобачевского
603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.

Жихарев Вячеслав Сергеевич, к.б.н., доцент кафедры экологии
ННГУ им. Н.И. Лобачевского
603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда
№ 24-74-00016, <https://rscf.ru/project/24-74-00016/>*

Аннотация. В исследовании анализировалось разнообразие и видовая структура зоопланктона в различных биотопах литоральной зоны озера Малышевское. Показано, что макрофиты, создавая структурную гетерогенность среды, формируют выраженный градиент условий и структуры зоопланктонных сообществ. Анализ избыточности (RDA) показал, определяющую роль типа биотопа в формировании видовой структуры. Выявлены чёткие закономерности пространственного распределения доминирующих видов между разнотипными зарослями макрофитов и открытой водой. Показано, что видовое и функциональное разнообразие зоопланктонных сообществ меняются независимо.

Ключевые слова: коловратки, ракообразные, видовая структура, функциональные индексы, макрофиты, озеро

ВВЕДЕНИЕ

Литоральная зона водоёмов является ключевым звеном в продуктивности водных экосистем, отличаясь наибольшим биоразнообразием и интенсивностью биологических процессов (Зимбалевская и др., 1987). Макрофиты, как основной средообразующий фактор, создают гетерогенность среды, определяющую состав и распределение сообществ зоопланктона (Choi et al., 2014). Для лучшего понимания функционирования зоопланктоценозов необходим анализ не только видовой структуры, что является общепринятым подходом, но и функционального разнообразия сообществ, учитывающего,

например, размеры организмов, тип питания или способ передвижения, что позволяет оценить устойчивость и эффективность использования ресурсов в экосистеме (Stephen et al., 2019; Braghin et al., 2021).

Озеро Малышевское – пойменный непроточный водоем, расположенный на территории памятника природы «Малышевские гривы» в автозаводском районе Нижнего Новгорода. Исследования зоопланктона данного водоёма ранее не проводились, что определяет актуальность настоящей работы.

Целью работы была характеристика разнообразия и видовой структуры сообществ зоопланктона литоральной зоны озера Малышевское

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб проводили 26 июля 2024 г. в период максимального развития макрофитов при оптимальных погодных условиях (отсутствие ветровых и нагонных явлений и осадков) в дневное время. Исследованы три типа биотопов: смешанные заросли манника большого (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb., 1919) с водокрасом лягушачим (*Hydrocharis morsus-ranae* L. (1753)), заросли роголистника погруженного (*Ceratophyllum demersum* L. (1753)) и открытая вода на краю зарослей. Вдоль поперечного разреза от пояса гелофитов до открытой воды заложены трансекты, на которых через каждые 2 м отбирали пробы зоопланктона (по 5 проб на трансекту). Сбор и обработку материала проводили стандартными в практике гидробиологических исследований методами (Методы ..., 2024). Идентификацию организмов зоопланктона проводили с помощью определителей (Определитель..., 2010; Коровчинский и др., 2021).

В каждой точке отбора проб фиксировали ключевые биотические и абиотические показатели. Прозрачность воды оценивали с помощью диска Секки. Параметры температуры, pH, электропроводности и концентрации хлорофилла-а измеряли мультипараметрическим зондом Aquared AP 2000 (Великобритания), содержание растворенного кислорода — портативным оксиметром МАРК-303 (Россия). Проективное покрытие макрофитов определяли по стандартной методике (Папченков, 2001)

Для характеристики видового разнообразия и видовой структуры применяли следующие индексы: доминирования Паляя-Ковнацки, видового разнообразия Шеннона, выравнивания Пиелу, доминирования Симпсона (Баканов, 1987). Для оценки влияния факторов среды на видовую структуру сообществ применяли Анализ избыточности (RDA) (Шитиков, Розенберг, 2013). Для выделения функциональных групп использовали базу функциональных признаков пресноводного зоопланктона (Гаврилко и др., 2020). Для оценки функционального разнообразия были выбраны индексы функционального богатства (FRic), выравнивания (FEve) и дивергенции (FDiv) (Cornwell et al., 2006; Villeger et al., 2008). Статистическую обработку материала проводили в среде R (пакеты «nortest», «car», «multcomp», «mvtnorm», «vegan», «dplyr») (R core team).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные попарные сравнения характеристик водной среды между разными трансектами показали статистически значимые различия по большинству параметров. Было установлено, что прозрачность и электропроводность воды статистически значимо возрастала при переходе от зарослей манника с водокрасом к зоне открытой воды. В зарослях роголистника наблюдалось повышение показателей pH по сравнению с соседними биотопами и одновременное снижение концентрации кислорода относительно открытой воды.

В литоральной зоне озера Малышевское было идентифицировано 102 вида зоопланктона: 63 вида коловраток, 26 видов ветвистоусых и 13 веслоногих ракообразных. Анализ избыточности выявил определяющее влияние типа биотопа на видовую структуру зоопланктона (80,2% доли объясняемой дисперсии). Наибольший вклад в изменение видовой структуры кроме приуроченности к биотопу внесли факторы проективного покрытия макрофитов (65,7%) и прозрачности воды (36,4%), прочие же факторы при

построении полной модели оказались не значимы, не смотря на высокую индивидуальную долю объясняемой дисперсии. Полная модель RDA объясняла 86,5% от общей дисперсии видовой структуры сообществ зоопланктона. Статистически значимыми в модели были первые 3 оси,

Разделение сообществ подтверждается формированием 3 групп проб, четко приуроченных к конкретным зонам зарослей макрофитов или открытой воды (рис.1). Зарослевые пробы оказались в левой части диаграммы потому как их видовая структура в большей степени обусловлена проективным покрытием макрофитов, в отличие от проб открытой воды.

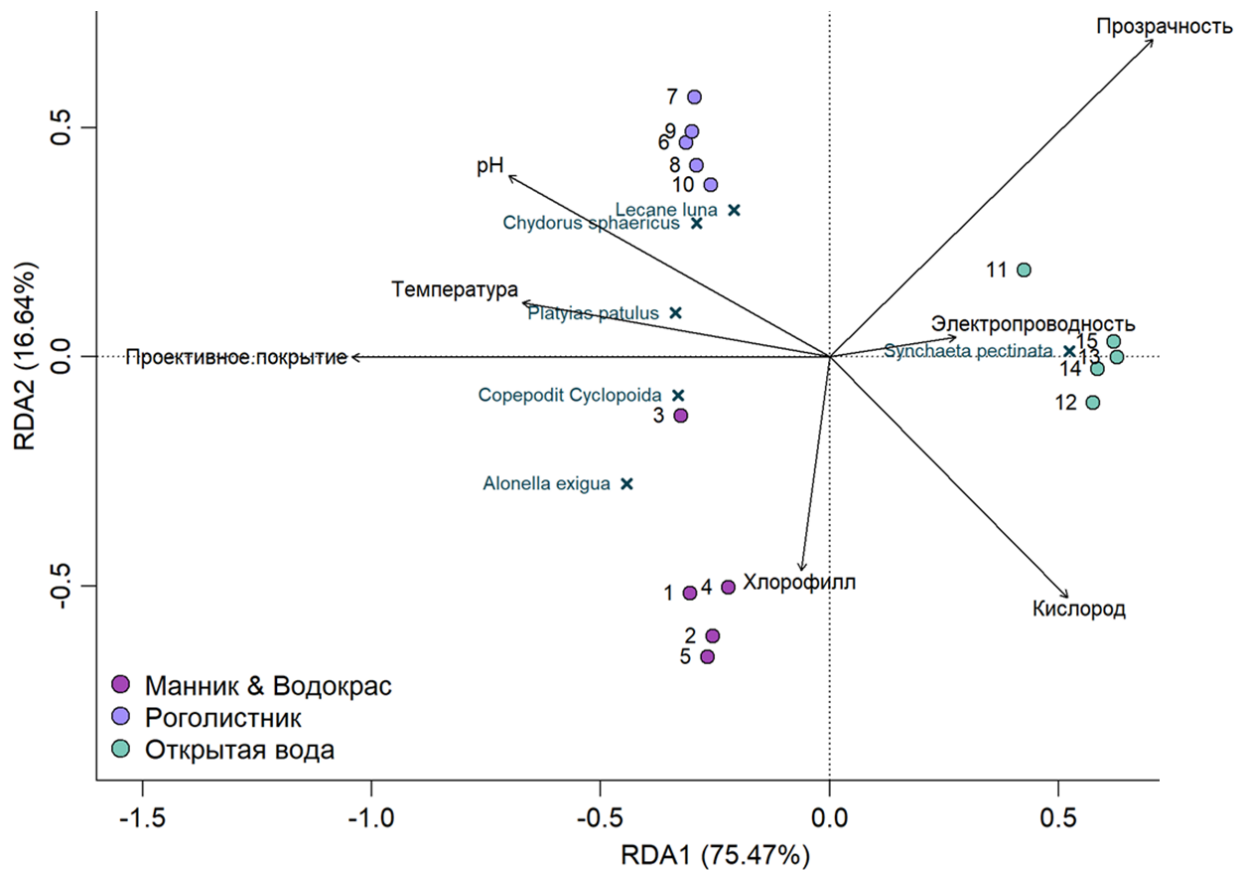


Рис.1. Ординационная диаграмма, построенная по результатам анализа избыточности для проб озера Малышевское 26 июля 2024 г.

Кроме того, на диаграмме можно увидеть приуроченность доминантных видов к конкретным условиям среды и, соответственно к определённым типам зарослей. Так, коловратка *Synchaeta pectinata* Ehrenberg, 1832 располагается рядом с облаком проб открытой воды, а зарослевые виды коловраток и ветвистоусых рачков располагаются соответственно между зарослевыми пробами

Сравнение индексов разнообразия в различных биотопах выявило независимый характер изменчивости видового и функционального аспектов структуры зоопланктоценозов. Подтверждением этому служит сообщество открытой воды, которое, обладая сниженными значениями видового разнообразия и выравненности, а также повышенным уровнем доминирования, одновременно с этим характеризовалось наиболее высоким функциональным богатством, по сравнению с другими биотопами.

От прибрежных зарослей манника с водокрасом к открытой воде наблюдалась тенденция снижения индекса выравненности Пиелу при одновременном росте индекса функционального богатства. При этом максимальные значения индекса функциональной дивергенции отмечены именно в смешанных зарослях манника и водокраса, что

обусловлено большими различиями в размерах зоопланктона, поддерживаемыми наибольшей структурной гетерогенностью этого биотопа.

Анализ видовой структуры сообществ зоопланктона выявил закономерности пространственного распределения доминирующих видов. При переходе от зарослей макрофитов к открытой воде наблюдалось увеличение обилия коловраток при одновременном снижении доли кладоцер и копепод. Было отмечено постепенное уменьшение доли основных доминантов – *Alonella exigua* (Lilljeborg, 1901) и копеподитных стадий веслоногих рачков, а также субдоминанта *Coronatella rectangula* Sars, 1862 – при переходе от зарослей манника с водокрасом к зоне открытой воды. В зарослях роголистника доминировали коловратки *Plationus patulus* (Müller, 1786) и *Lecane luna* (Müller, 1776), а в открытой воде доминировала эупланктонная коловратка *S. pectinata*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Макрофиты озера Малышевское, создавая структурную гетерогенность, формировали выраженный пространственный градиент условий среды и, как следствие, градиент структуры зоопланктонных сообществ. Анализ избыточности подтвердил, что тип биотопа являлся ключевым фактором структурирования сообществ. Соответственно, в разнотипных макрофитных поясах озера формировались дифференцированные по видовой структуре зоопланктоценозы. Видовое и функциональное разнообразие сообществ зоопланктона изменялись независимо: сообщество зоны открытой воды характеризовалось максимальным функциональным разнообразием при низком видовом разнообразии. При этом максимальные значения индекса функциональной дивергенции отмечены в зарослях манника и водокраса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баканов, А.И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах // Фундаментальный обзор индексов обилия и доминирования. – Деп. в ВИНТИ 08.12.1987, № 8593-B87. – 63 с.
2. Гаврилко Д.Е., Шурганова Г.В., Кудрин И.А., Якимов В.Н. Выявление функциональных групп пресноводного зоопланктона на основе функциональных признаков видов // Поволжский экологический журнал. 2020. № 3. С. 290–306.
3. Зимбалева Л.Н., Плигин Ю.В., Хороших Л.А. и др. Структура и сукцессии литоральных биоценозов днепровских водохранилищ. Киев: Наук. думка, 1987. 202 с.
4. Коровчинский Н.М., Котов А.А., Бойкова О.С., Смирнов Н.Н. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. 1. М.: Т-во науч. изд. КМК. 2021. 481 с.
5. Методы гидробиологических исследований внутренних вод / А.В. Крылов, И.А. Барышев, Д.М. Безматерных и др.; под ред. А.В. Крылова. Борок: ИБВВ РАН; Ярославль: Филигрань, 2024. 592 с.
6. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1: Зоопланктон. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 495 с.
7. Папченков В.Г. Растительность водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 214 с.
8. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Ранговые распределения в экологии. М.: Наука, 2013. 368 с.
9. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

10. Braghin L.B., Almeida B.A., Santino E.K. et al. Habitat influence on zooplankton functional diversity in floodplain lakes // *Freshwater Ecology*. 2021. Vol. 30, № 2. P. 123–135.
11. Choi J., Kim S., Kim J. Effect of macrophytes on zooplankton distribution in the littoral zone of a lake // *Hydrobiologia*. 2014. Vol. 722, № 1. P. 31–45.
12. Cornwell W.K., Schwikl D.W., Ackerly D.D. A trait-based test for habitat filtering: convex hull volume // *Ecology*. 2006. Vol. 87, № 6. P. 1465–1471.
13. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing, 2025.
URL: <https://www.R-project.org/>
14. Stephen D., Bagg J., Brady M. Zooplankton functional structure as an indicator of ecosystem health // *Journal of Plankton Research*. 2019. Vol. 41, № 5. P. 589–602.
15. Villeger S., Mason N.W.H., Mouillot D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology // *Ecology*. 2008. Vol. 89, № 8. P. 2290–2301.

SPECIES AND FUNCTIONAL DIVERSITY OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES IN THE LITTORAL ZONE OF LAKE MALYSHEVSKOYE

Viktor A. Bubnov, Dmitry E. Gavrilko, Vyacheslav S. Zhikharev

***Abstract.** The study analyzed the diversity and species structure of zooplankton in different biotopes of the littoral zone of Lake Malyshevskoye. It is shown that macrophytes, by creating structural heterogeneity of the environment, form a pronounced gradient of conditions and structure of zooplankton communities. Redundancy analysis (RDA) revealed the determining role of the biotope type in shaping the species structure. Clear patterns of spatial distribution of dominant species between different types of macrophyte beds and open water were identified. It is demonstrated that the species and functional diversity of zooplankton communities change independently.*

***Keywords:** rotifers, crustaceans, species structure, functional indices, macrophytes, lake.*