

Научная статья
УДК 504.064.2:574.583
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-15-24>
EDN JZNOQZ

Абиотические факторы в формировании прибрежного зоопланктонного сообщества озера Виштынецкого как основы кормовой базы пополнения сиговых

**Екатерина Владимировна Кривопускова[✉],
Мария Николаевна Шибаева, Анна Сергеевна Бурбах**

*Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, ekaterinakrivopuskova@yandex.ru[✉]*

Аннотация. Мелководные участки водных объектов являются важной частью водных экосистем, где благодаря влиянию физико-химических факторов, морфологическим особенностям побережья и различным уровням антропогенной нагрузки образуются разнообразные экотопы, обеспечивающие формирование пополнения основных промысловых популяций рыб. Для этих участков, за счет большого видового разнообразия планктонных сообществ, характерны напряженные трофические связи, но в то же время в большинстве случаев именно эти участки наиболее подвержены изменениям. Зоопланктон прибрежной части озер является важным компонентом трофических цепей. Он не только потребляет биомассу фитопланктона, участвуя в самоочищении водоемов, но и является кормовой базой для различных видов рыб. Зоопланктон прибрежной части оз. Виштынецкого является важным компонентом экосистемы, обеспечивающим кормовой базой пополнение всех популяций ихтиоценоза. Для оценки влияния абиотических факторов на развитие зоопланктона было отобрано и проанализировано более 200 проб зоопланктонного сообщества по стандартным гидробиологическим методикам. Все мониторинговые станции были сгруппированы с учетом морфологических особенностей берега, гидрологических параметров озера и уровня антропогенной нагрузки. Анализ структурных характеристик зоопланктона внутри группировок показал отсутствие значимых различий между станциями и свидетельствовал о достоверности полученных результатов для дальнейшего анализа данных с использованием усредненных «групповых» значений. Значимых различий в доминирующих комплексах зоопланктона между группами не было обнаружено, наблюдались отдельные различия, объясняющиеся наличием специфических биотопов. Однако статистический анализ показал значительную корреляцию между численностью и биомассой зоопланктона и отдельными абиотическими факторами, к которым относятся температура, циркуляция и уровень вод, концентрация общего фосфора и хлорофилла «а». Таким образом, в условиях возрастающей антропогенной нагрузки на прибрежную акваторию выявленные абиотические факторы среды, оказывающие значительное влияние на формирование скоплений зоопланктона и обеспечение кормовой базы пополнения ихтиоценоза, требуют обязательного дополнительного контроля в рамках рыбохозяйственного мониторинга оз. Виштынецкого.

Ключевые слова: зоопланктон, оз. Виштынецкое, температура, азот аммонийный, фосфор фосфатов, численность, биомасса, колебание уровня, циркуляция вод

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания «Развитие методов оценки допустимой добычи и рыбохозяйственного мониторинга ВБР, ОДУ на которые не устанавливается, во внутренних водоемах Калининградской области».

Для цитирования: Кривопускова Е. В., Шибаева М. Н., Бурбах А. С. Абиотические факторы в формировании прибрежного зоопланктонного сообщества озера Виштынецкого как основы кормовой базы пополнения сиговых // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 4. С. 15–24. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-15-24>. EDN JZNOQZ.

Original article

Abiotic factors in the formation of the coastal zooplankton community of Lake Vishtynetsky as the basis for the whitefish food base replenishment

Ekaterina V. Krivopuskova[✉], Maria N. Shibaeva, Anna S. Burbakh

*Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia, ekaterinakrivopuskova@yandex.ru[✉]*

Abstract. Shallow areas of water bodies are an important part of aquatic ecosystems, where, due to the influence of physico-chemical factors, morphological features of the coast and various levels of anthropogenic stress, various ecotopes are formed, ensuring the formation of replenishment of the main commercial fish populations. Due to the large species diversity of planktonic communities, these areas are characterized by tense trophic relationships, but at the same time, in most cases, they are the most susceptible to changes. The zooplankton of the coastal part of lakes is an important component of trophic chains. It not only consumes phytoplankton biomass, participating in waterbodies self-purification, but also serves as a food base for various fish species. Zooplankton of the coastal part of Lake Vishtynetsky is an important component of the ecosystem, providing a feeding base for the replenishment of all populations of the ichthyocenosis. To assess the influence of abiotic factors on its development, more than 200 samples of the zooplankton community were selected and analyzed using standard hydrobiological methods. All monitoring stations were grouped taking into account the morphological features of the shore, the hydrological parameters of the lake and the level of anthropogenic load. An analysis of the structural characteristics of zooplankton within the groupings showed that there were no significant differences between the stations and indicated the reliability of the results obtained for further data analysis using averaged "group" values. No significant differences were found in the dominant zooplankton complexes between the groups, but individual differences were observed due to the presence of specific biotopes. However, statistical analysis has shown a significant correlation between the abundance and biomass of zooplankton and individual abiotic factors, which include temperature, circulation and water level, concentration of total phosphorus and chlorophyll "a". Thus, in conditions of increasing anthropogenic pressure on the coastal water area, the identified abiotic environmental factors that have a significant impact on the formation of zooplankton accumulations and the provision of a feeding base for ichthyocenosis replenishment require mandatory additional monitoring within the framework of fisheries monitoring of Lake Vishtynetsky.

Keywords: zooplankton, Lake Vishtynetsky, temperature, ammonium nitrogen, phosphate phosphorus, abundance, biomass, level fluctuations, water circulation

Acknowledgment: the work was carried out within the framework of the state task "Development of methods for assessing allowable production and fisheries monitoring of the WBR, for which no TDE is established, in the inland waters of the Kaliningrad region".

For citation: Krivopuskova E. V., Shibaeva M. N., Burbakh A. S. Abiotic factors in the formation of the coastal zooplankton community of Lake Vishtynetsky as the basis for the whitefish food base replenishment. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2025;4:15-24. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-15-24>. EDN JZNOQZ.

Введение

Зоопланктонные сообщества прибрежных вод играют важную роль в функционировании водных экосистем и являются частью пищевой цепи, потребляя биомассу, сформированную продуцентами, и образуя кормовую базу не только для «постоянных» компонентов прибрежных ихтиоценозов, но для их «временных» компонентов, тем самым обеспечивая стабильность пополнения ихтиоценоза пелагиали. Зоопланктон как основной источник пищи для молоди рыб имеет критическое значение для формирования пополнения промысловой части ихтиоценоза оз. Виштынецкого. Это особенно важно для таких ценных видов, как сиг обыкновенный (*Coregonus lavaretus*, Linnaeus, 1758) и европейская ряпушка (*Coregonus albula*, Linnaeus, 1758), которые зависят от обилия прибрежного зоопланктона на ранних стадиях своего развития, а для европейской ряпушки качественные и количественные характеристики прибрежного планктонного сообщества (в особенности зоопланктонной его части) играют важную роль в постнерестовый «восстановительный» период. В то же время сезонная динамика качественных и количественных параметров зоопланктона и механизмы, управляющие их изменчивостью, достаточно чувствительны к изменению

абиотических и биотических факторов, что дает возможность использовать его как индикатор экологического состояния вод и изменений, протекающих в экосистеме, а при наличии достоверных закономерностей – как дополнительный фактор прогнозирования благополучности пополнения промысловых популяций рыб [1]. Фактически зоопланктонные сообщества являются «медиаторами» трофических и энергетических потоков в водных экосистемах.

Развитие рекреационной и хозяйственной деятельности человека в пределах водосборного бассейна водоемов и водотоков, особенно прибрежной части, увеличивает поток аллохтонных веществ в «принимающие» водоемы и в первую очередь их мелководные части. В настоящее время данные участки отличаются наибольшей нестабильностью экологических условий. Антропогенное воздействие приводит к нарушению термического режима, негативно влияет на процессы формирования биологической продукции и трансформации органического и биогенных веществ, также изменения абиотических факторов отражаются в изменении биохимической активности биоты [2, 3]. Кроме того, возрастающая антропогенная нагрузка на прибрежные акватории может приводить к изменению видового состава доминирующих сообществ.

Оз. Виштынецкое длительное время, несмотря на свой рекреационный потенциал, не привлекало большое количество отдыхающих. Основная причина этого – его удаленность от крупных административных центров, слабое развитие дорожной сети. Кроме этого, озеро имеет особый законодательный статус: по его акватории проходит российско-литовская государственная граница. Однако несмотря на эти лимитирующие рекреационную привлекательность факторы в последние годы наблюдается рост количества отдыхающих в прибрежной части, увеличилось количество койко-мест на базах отдыха. Растущий поток отдыхающих приводит к изменениям в экосистемах прибрежных вод озера, особенно это заметно в зонах оборудованных пляжей и зонах «неорганизованного» кемпинга [4]. В первую очередь эти изменения связаны с увеличением поступления органических и биогенных веществ, что, в свою очередь, оказывает прямое влияние на фито- и зоопланктон и косвенно – на прибрежные ихтиоценозы.

Как уже говорилось ранее, зоопланктон в прибрежной части является важным биотическим фактором, который влияет на трофические связи водных экосистем, их энергетические потоки и круговорот органического вещества в них, а также его можно считать идеальным биологическим индикатором изменения климата и влияния антропогенной нагрузки. Поэтому исследование влияния физико-химических параметров на зоопланктонные сообщества является важным аспектом исследований изменений экологического состояния водных экосистем под воздействием возрастающей антропогенной нагрузки.

Цель данного исследования – выявить наиболее значимые абиотические факторы, влияющие на развитие зоопланктонных сообществ в прибрежной части оз. Виштынецкого в период возрастающей антропогенной нагрузки.

Материал и методы исследований

Озеро Виштынецкое является самым крупным пресноводным водоемом на территории Калининградской области и входит в систему озер Виштынецкой возвышенности. Оно относится к системе озер Мазурского и Литовского поозерья. Данный водный объект является трансграничным.

Площадь озера составляет 18 км², а площадь водосборного бассейна – 281,9 км². Водосборный бассейн расположен на территории трех государств, что определяет разнообразие источников поступления биогенных веществ в экосистему водоема как «принимающего». Сток с акватории озера осуществляет-

ся через единственный вытекающий водоток – р. Писсу.

Для озера характерна продольно-осевая проточность с юга на север, формируемая «входящими» потоками от впадающих рек и стоком р. Писсы [5, 6]. Однако существует небольшой участок на юге, где циркуляция вод формируется исключительно за счет ветрового перемешивания. Необходимо отметить, что проточность озера имеет сильную зависимость от уровня вод. В результате климатических изменений в регионе в длительные засушливые периоды проточность достигала минимальных значений, что приводило к нарушению циркуляции и «аномальным» концентрациям биогенных элементов в прибрежной части [5, 6]. Береговая линия российской части оз. Виштынецкого составляет более 12 км, но в результате особого пограничного режима лишь центральная и северная части доступны для отдыхающих.

Пробы отбирались на 11 стандартных станциях в прибрежной части водоема (рис. 1) на глубине от 1,5 до 2,0 м, на удалении 3–4 м от берега.

Исследования основывались на данных, собранных в летний период 2017–2019 гг. в рамках комплексного экологического мониторинга. Сетка станций формировалась с учетом гидролого-морфологических особенностей озера, разнообразия прибрежных биотопов, а также уровней рекреационной освоенности как основного источника поступления «дополнительной» органики и биогенных элементов [7].

Станции были сгруппированы между собой следующим образом:

- группа 1 – южные (ст. 18а, 18, 17 и 20) – станции на данном участке озера отличаются низкой антропогенной нагрузкой, низким уровнем развития высшей водной растительности. Здесь происходит основной приток вод с водосборного бассейна через р. Черницу;

- группа 2 – центральные (ст. 42, 46 и 68) – станции с наиболее сильной, постоянной и длительной антропогенной нагрузкой;

- группа 3 – включает в себя единственную станцию в Утином заливе (ст. 5) – обширный мелководный участок с повышенным уровнем трофности (мезотрофный) [6] по сравнению с остальными участками, отличается высоким процентом зарастаемости открытой акватории и ее прибрежных частей;

- группа 4 – северные (ст. 6, 21 и 11) – станции с нарастающей антропогенной нагрузкой за счет развития инфраструктуры и увеличивающейся рекреационной привлекательностью, здесь находится единственный сток из озера (исток р. Писсы).

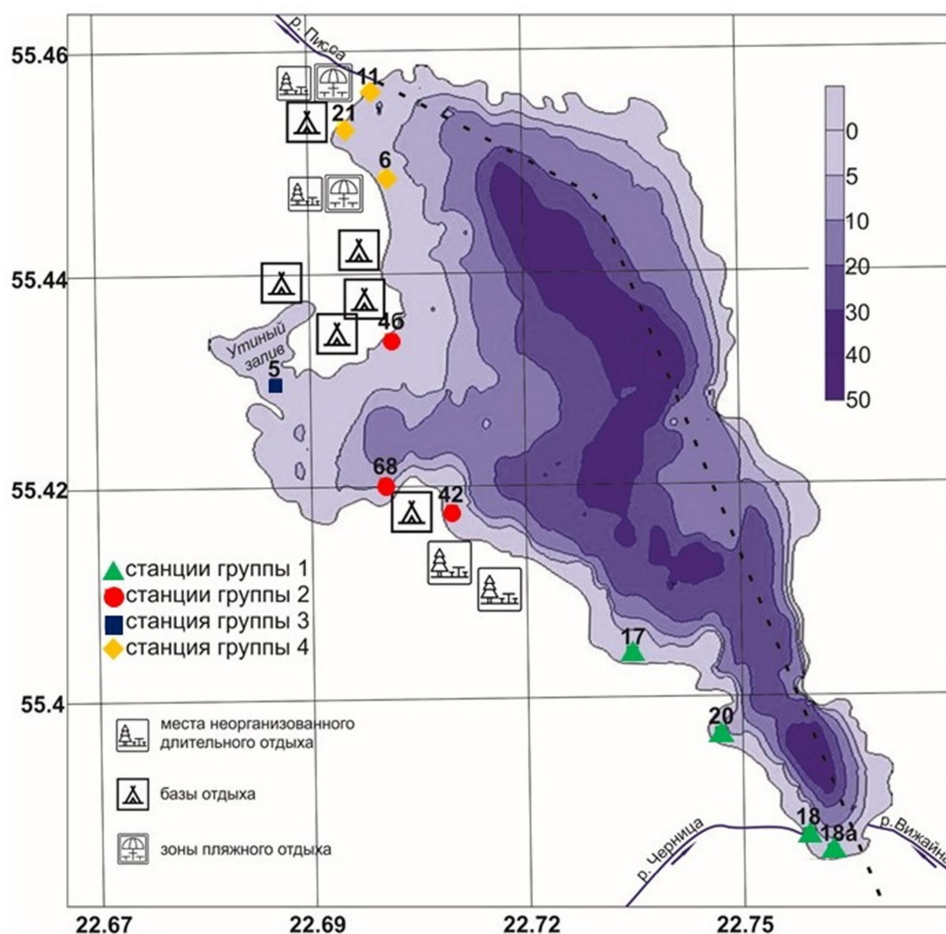


Рис. 1. Схема станций отбора проб на оз. Виштынецком

Fig. 1. The scheme of sampling stations on Lake Vishtynetsky

Пробы были собраны и обработаны на основе общепринятых методик [8]. Пробы зоопланктона собирались средней моделью сети Джели с диаметром входного отверстия 0,26 м, затем фиксировались 40 %-м формалином. Пробы для оценки физико-химических параметров отбирались в подповерхностном слое (глубина станций не более 2 м), в момент отбора на месте измерялись температура воды, электропроводность, pH и концентрация растворенного кислорода при помощи портативных полевых приборов Mettler Toledo.

Анализ отобранных проб по гидрохимическим параметрам производился по стандартным методикам [9] в лабораторных условиях. Концентрация хлорофилла «а» определялась спектрофотометрическим методом с использованием 90 %-го раствора ацетона [10]. Качественный и количественный анализ зоопланктонного сообщества производился по стандартным специализированным методикам и соответствующим пособиям [11, 12]. Обработку расчетов проводили с использованием аналитического

и графического пакета программы Excel (Microsoft, США).

Результаты и обсуждение

Анализ зоопланктона. Зоопланктон – это сообщество короткоциклового, по сравнению с зообентосом или ихтиофауной, видов, развитие которого сильно зависит от физико-химических параметров среды. Следовательно, его видовой состав изменяется в более короткие сроки в межсезонном и годовом аспектах, что связано с изменением абиотических факторов в среде обитания. Считается, что наиболее сильное влияние на видовое разнообразие оказывает температурный режим водного объекта. В то же время исследования показывают, что в прибрежных водах, где температурный режим относительно однороден по всей толще, дополнительными факторами, оказывающими влияние на видовой состав и биомассу планктона, являются pH, циркуляция вод, концен-

трация органического вещества, концентрация фосфора и хлорофилла «а».

Перестройка структуры видов, их количественное развитие зависят также и от водности года, особое значение также имеет и антропогенное воздействие. Однако оперативный мониторинг такого обширного перечня параметров с целью оценки экологического состояния экосистемы и прогнозирование пополнения ихтиоценозов с учетом формирующейся кормовой базы не всегда возможны ввиду трудоемкости и высокой стоимости, однако они обеспечивают наиболее достоверные результаты, в связи с чем остро стоит вопрос об «индивидуализации» наборов параметров для рыбохозяйственных водоемов.

Большая часть таксонов зоопланктона оз. Виштынецкого постоянно присутствует в летний период, а некоторые из них появляются эпизодически (к примеру, *Alonella exigua* (Lilljeborg 1853), *Acroperus angustatus* (Sars G. O., 1863), *Simocephalus vetulus* (O. F. Müller, 1776), *Eurycercus lamellatus* (O. F. Müller, 1776), *Paracyclops fimbriatus* (Fischer, 1853) и др.).

Видовой состав зоопланктонного сообщества прибрежной акватории в период исследований был представлен 30 таксонами, наиболее широко представлен подотряд Cladocera (11 видов). Такое видовое разнообразие представителей данного подотряда связано с большим количеством биотопов (заросли, заводи, бухты, открытые участки и т. д.). В предыдущие периоды исследований [13] наблюдалось преобладание в видовом аспекте представителей подкласса Copepoda.

Одним из факторов, который мог повлиять на данные изменения в качественном составе зоопланктонного сообщества озера, могли стать изменения циркуляции вод. Именно в этот период в водоеме стали заметны значительные колебания уровня воды [14]. Несмотря на наличие регулируемого гидротехнического сооружения в районе истока р. Писсы, в отдельные периоды уровень озера падал катастрофически, вызывая ощутимое снижение циркуляции, не связанное с работой данного сооружения.

Анализ полученных данных внутри сгруппированных станций показал существенную однородность структурных показателей зоопланктона, наблюдались небольшие межгодовые различия, связанные больше с сезонными особенностями развития отдельных видов. Аналогичные результаты показал сравнительный анализ группировок между собой, однако наблюдались некоторые отличия.

Группа 1. На станциях данной группы был обнаружен 21 вид, из них 8 представителей типа Rotifera, 7 – подотряда Cladocera и 6 представителей подкласса Copepoda. Доминирующий комплекс был сформирован следующими видами:

Asplanchna priodonta (Gosse, 1850), *Bosmina longirostris* (Baird, 1857), *Cyclops scutifer* (Sars, 1863) и *Thermocyclops oithonoides* (Sars G. O., 1863). Средневзвешенная численность зоопланктона на данном участке составляла $2\,953,0 \pm 0,9$ экз./м³, средневзвешенная биомасса – $36,6 \pm 0,5$ мг/м³. По численности и по биомассе преобладали представители вида *Asplanchna priodonta*.

Группа 2. На данном участке было обнаружено 28 видов, из них 9 представителей типа Rotifera, 10 – подотряда Cladocera и 9 представителей подкласса Copepoda. Это наиболее разнообразная в видовом аспекте часть прибрежной акватории, что может быть связано с близким расположением глубоководных зон, где формируется основная зона продольно-осевой проточности озера, поэтому отдельные виды зоопланктона в результате горизонтальной циркуляции попадают в прибрежные воды. Доминирующий комплекс также немного отличается от остальной части прибрежной акватории и представлен следующими видами: *Asplanchna priodonta*, *Bosmina longirostris*, *Cyclops scutifer*, *Thermocyclops oithonoides*, *Conochilus hippocrepsis* (Schränk, 1803), *Daphnia cucullata* (Sars, 1862) и *Eubosmina coregoni* (Baird, 1857). Средневзвешенная численность зоопланктона составляла $2\,752,7 \pm 1,2$ экз./м³, средневзвешенная биомасса – $31,4 \pm 0,4$ мг/м³. По численности и по биомассе преобладали представители вида *Thermocyclops oithonoides*, что, как и в случае с изменениями в доминирующем комплексе, связано с циркуляцией вод. Представители типа Rotifera попросту переносятся водными массами ближе к истоку Писсы, кроме этого, берег на данном участке практически не изрезан, поэтому здесь отсутствуют тихие участки, по сравнению с другими группировками, что также не способствует «накоплению» численности и биомассы видами, неспособными в полной мере противостоять течению.

Группа 3. Данный участок прибрежной акватории очень важен с точки зрения его рыбохозяйственной ценности. Именно здесь располагаются места нереста основных промысловых популяций, поэтому исследования зоопланктонного сообщества на этом участке являются частью оценки кормовой базы для будущего пополнения. На станциях данной группы было обнаружено 19 видов, из них 6 представителей типа Rotifera, 8 – подотряда Cladocera и 5 представителей подкласса Copepoda. Доминирующий комплекс был сформирован следующими видами: *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850), *Bosmina longirostris* (Baird, 1857), *Cyclops scutifer* (Sars, 1863), *Ceriodaphnia reticulata* (Jurine, 1820), *Thermocyclops oithonoides* (Sars G. O., 1863). Средневзвешенная численность зоопланктона здесь была на уровне $2\,634,0 \pm 0,5$ экз./м³, средневзвешенная биомасса – $25,1 \pm 0,3$ мг/м³. По численности и по

биомассе преобладали представители вида *Asplanchna priodonta*.

Грунна 4. Север озера обладает наибольшей точностью, именно здесь располагается исток единственной выпадающей реки. Здесь смешивается зоопланктон, принесенный водами со всей акватории озера. На данном участке было обнаружено 26 видов, из них 9 представителей типа Rotifera, 9 – подотряда Cladocera и 8 представителей подкласса Copepoda. Доминирующий комплекс был сформирован следующими видами: *Asplanchna priodonta*, *Bosmina longirostris*, *Cyclops scutifer*, *Chydorus sphaericus* (Müller, 1776), *Daphnia cucullata* (Sars, 1862), представители рода *Synchaeta* (Ehrenberg, 1832) и *Thermocyclops oithonoides* (Sars G. O., 1863). Разнообразие видов в доминирующем комплексе связано с гидрологическими особенностями данного участка (месторасположение единственного сточного участка – истока р. Писсы). Средневзвешенная

численность зоопланктона на данном участке составляла $2\,898 \pm 0,4$ экз./м³, средневзвешенная биомасса – $43,1 \pm 0,7$ мг/м³. По численности и по биомассе преобладали представители вида *Asplanchna priodonta*.

Анализ абиотических факторов. В рассматриваемый период в прибрежных водах не наблюдалось сильных колебаний абиотических параметров окружающей среды. Внутригодовые и межгодовые различия были незначительны. Однако по сравнению с предыдущими годами исследований наблюдались значительные колебания и снижение уровня циркуляции вод [14], также отмечалось увеличение концентрации хлорофилла «а» и, соответственно, закономерное увеличение концентраций общего фосфора.

Среднегодовые значения физико-химических параметров в прибрежной акватории в рассматриваемый период представлены в таблице.

Средние значения физико-химических показателей в прибрежной части оз. Виштынецкого в 2017–2019 гг.

Average values of physico-chemical parameters in the coastal part of Lake Vishtynetsky in 2017-2019

Параметр	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
Температура, °С	22,6 ± 0,1	23,4 ± 0,2	24,1 ± 0,1	23,0 ± 0,1
pH	8,4 ± 0,1	8,4 ± 0,1	8,2 ± 0,2	8,1 ± 0,2
Электропроводность, мкСм/см	259,0 ± 1,0	254,0 ± 2,0	257,0 ± 1,0	256,0 ± 2,0
Кислород, мг/дм ³	7,6 ± 0,3	8,2 ± 0,1	6,6 ± 0,1	8,5 ± 0,2
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	4,7 ± 0,2	5,4 ± 0,1	5,5 ± 0,2	4,8 ± 0,1
Хлорофилл «а», мкг/дм ³	2,096 ± 0,01	2,380 ± 0,02	6,493 ± 0,03	2,624 ± 0,02
P-PO ₄ , мг/дм ³	0,015 ± 0,001	0,018 ± 0,001	0,018 ± 0,001	0,023 ± 0,002
TP, мг/дм ³	0,206 ± 0,010	0,210 ± 0,005	0,241 ± 0,010	0,115 ± 0,015
NH ₄ , мг/дм ³	0,347 ± 0,014	0,354 ± 0,011	0,538 ± 0,026	0,328 ± 0,020
NO ₂ , мг/дм ³	0,015 ± 0,001	0,006 ± 0,001	0,006 ± 0,002	0,007 ± 0,001

Внутри групп не наблюдается значительных статистически достоверных колебаний анализируемых параметров, что является еще одним подтверждением правильности выбранных критериев при группировке мониторинговых станций и причиной использования для анализа и отображения в таблице среднегрупповых значений.

Значительных межгрупповых различий по таким параметрам, как pH и электропроводность, не наблюдается. Высокие значения нитритов на станциях, входящих в группу 1, связаны с более быстрыми, по сравнению с остальными станциями, процессами нитрификации ввиду наличия обширных мелководных зон с ослабленной циркуляцией вод из-за изрезанности берега. Наиболее выраженные различия в значениях были отмечены по температуре, перманганатной окисляемости, концентрации хлорофилла «а», общего фосфора, фосфора фосфатов и азота аммонийного. Наблюдаемые различия между группами станций согласуются с особенностями циркуляции вод, особенностями береговой линии и степенью антропогенной нагрузки.

На станциях первой группы, как наименее подверженных антропогенному влиянию, наблюдаются относительно низкие значения отмеченной группы факторов, особенно это заметно по концентрации органического вещества (перманганатной окисляемости), общего фосфора и хлорофилла «а». С увеличением антропогенной нагрузки на станции внутри последующих группировок эти значения повышаются. Колебания значений азота аммонийного в большей мере связаны с особенностями циркуляции вод и колебанием уровня водоема, так, некоторые участки станций на юге водоема (группа 1) в отдельные периоды становились малопроточными из-за формирования песчаных баров у устья р. Черницы, что способствовало накоплению данной азотной формы. Относительно низкие значения общего фосфора, азота аммонийного, перманганатной окисляемости на северных станциях связано с повышенной проточностью данного участка, так же, как и на станциях, объединенных во вторую группировку. Показателем влияния антропогенной нагрузки на «центральные» и «северные» станции с учетом влияния цир-

куляции вод при относительно постоянных естественных (фоновых) параметрах становится концентрация хлорофилла «а» как параметра, отражающего возрастание продуктивности прибрежных участков под воздействием увеличения поступления объемов аллохтонных веществ.

С учетом полученных данных о структурных характеристиках зоопланктонного сообщества и физико-химических параметрах среды был проведен однофакторный анализ зависимости численности и биомассы зоопланктона от выбранных параметров среды. Для однофакторного анализа использовались данные о температуре, циркуляции вод и их уровне, перманганатной окисляемости, концентрации общего фосфора и хлорофилла «а» как наиболее значимых для развития зоопланктонного сообщества факторах.

Влияние температуры. Температура – важный аспект в обеспечении стабильного функционирования зоопланктонных сообществ. В первую очередь от нее зависит скорость развития как самого зоопланктона, так и кормовой базы для него (фитопланктона). В то же время высокие температуры могут оказывать угнетающее действие на сообщества. Прибрежные воды оз. Виштынецкого в период проведения исследований прогревались хорошо, что делало невозможным присутствие в них представителей холоднолюбивых видов. Доминирующий комплекс, как было показано выше, состоял из теплолюбивых видов. Однако анализ полученных соотношений показал обратную зависимость между температурой и численностью и биомассой зоопланктона ($r = -0,96$). Сравнительный анализ предыдущих данных позволил сделать вывод, что в период с 2017 по 2019 г. наблюдался «перегрев» прибрежных вод, наиболее оптимальные условия формировались в южной части озера, где прибрежные участки были слегка затемнены за счет изрезанности береговой линии и высокой лесистости, чего нельзя сказать про другие станции, особенно в Утином заливе. Именно поэтому на станциях группы 1 ($36,6 \text{ мг/м}^3$; $2\,953,0 \text{ экз./м}^3$) наблюдались более высокие значения биомассы и численности по сравнению с группой 2 ($31,4 \text{ мг/м}^3$; $2\,752,7 \text{ экз./м}^3$) и 3 ($25,1 \text{ мг/м}^3$; $2\,634,0 \text{ экз./м}^3$).

Влияние циркуляции и колебания уровня вод. Ухудшение проточности в озере за счет понижения уровня вод вызывает закономерное увеличение температуры воды, что, как уже было отмечено выше, негативно отражается на рассматриваемом сообществе. В то же время есть и положительный аспект влияния снижения циркуляции вод на численность и биомассу зоопланктона, связанный с возможностью формирования высоких концентраций зоопланктона на протяжении всей прибрежной полосы, что, в свою очередь, благоприятно отражается на кормовой базе ихтиоценозов озера, особенно пополнения. Замедление циркуляции воды в озере и сдвиг «климатической» весны, наблюдаемый

в последние несколько лет в регионе, способствуют увеличению темпов роста рыб на ранних этапах развития и возможности более быстрого вступления пополнения за счет своих размерных характеристик в промысел, что, в свою очередь, может оказать негативное влияние на репродукционный потенциал промысловой популяции в целом.

Влияние перманганатной окисляемости, общего фосфора и концентрации хлорофилла «а». Активное использование прибрежных территорий для развития рекреации [4] привело к увеличению рекреационной нагрузки на прибрежные территории российской части водосбора оз. Виштынецкого, что, в свою очередь, оказало влияние на состояние прибрежной экосистемы [5]. Одним из показателей увеличивающейся антропогенной нагрузки на оз. Виштынецкое являются участвовавшие случаи «цветения» воды [5]. Оценка биомассы фитопланктона проводилась с использованием концентрации хлорофилла «а». Высокие концентрации фитопланктона отмечались в северной части озера, особенно в районе истока р. Писсы, т. к. это единственное место, обеспечивающее проточность озера, а также в Утином заливе, что закономерно, т. к. это единственный участок озера, который, независимо от уровня воды, имеет слабую проточность и длительное время имеет отличный от других участков озера трофический статус [5]. Концентрации хлорофилла «а» и общего фосфора также закономерно находятся в прямой зависимости ($r = 0,94$), так же, как и концентрации хлорофилла «а» и перманганатной окисляемости ($r = 0,92$). Зоопланктон прибрежной части оз. Виштынецкого представлен в большинстве своем активными фильтраторами, а фитопланктон является для него кормовой базой. В рассматриваемый период в прибрежной акватории оз. Виштынецкого наблюдались закономерно высокие концентрации зоопланктонного сообщества с учетом относительно высоких концентраций хлорофилла «а», перманганатной окисляемости и общего фосфора, за исключением Утиног залива, где, несмотря на высокие концентрации хлорофилла «а», численность и биомасса зоопланктона были невысоки, что связано с дополнительным влиянием температурного фактора. В то же время в дальнейшем при снижении температуры воды возможно прогнозировать скачкообразный рост численности и биомассы зоопланктонного сообщества за счет потребления своей «накопившейся» кормовой базы.

Заключение

Зоопланктонное сообщество как часть трофической цепи водных экосистем влияет на их функционирование. Оно играет важную роль в процессах самоочищения водных объектов, потребления фити и бактериопланктон, а также формирует кормовую базу для ихтиоценоза [15]. Особенно важен уровень развития зоопланктона и его видовой состав на мелководье, поскольку именно здесь у большинства

популяций рыб формируется пополнение на ранних этапах развития. В оз. Виштынецком мелководная зона (до 5 м) составляет менее 30 % акватории. Здесь располагаются места нереста и нагула почти всех видов рыб, обитающих в этом водоеме и имеющих промысловое значение. Наиболее важны эти участки как нерестилища и места нагула для представителей рода сиговых (сиг обыкновенный и европейская ряпушка). В последнее время именно в прибрежной части озера отмечаются изменения [5], обусловленные интенсификацией хозяйственной деятельности человека, в особенности туризма, признаком которых является не только изменение абиотических факторов, но и изменение структурных показателей планктонных сообществ, особенно зоопланктона.

Различные факторы окружающей среды играют важную роль в формировании качественных и количественных параметров зоопланктонных сообществ. Планктонная фауна встречается в широком диапазоне условий окружающей среды, однако присутствие некоторых видов ограничивается такими факторами, как температура, циркуляция, концентрация хлорофилла «а» и т. д.

В рамках проведенных исследований не было обнаружено четких для данного водоема отличительных тенденций в формировании зоопланктонного сообщества в прибрежных водах. Все изменения соответствуют общепризнанным законам, в то же время наблюдается общая тенденция влияния рекреационной деятельности на прибрежную экосистему с точки зрения абиотических параметров [4],

что закономерно вызывает структурные изменения в зоопланктонных сообществах.

Предложенная группировка станций для проведения экологического мониторинга среды показала свою достоверность, что отразилось не только в различиях гидрохимических показателей, но и в структуре зоопланктонного сообщества.

Ежегодно формируются разные условия существования планктонных организмов, а это означает, что обнаруженные в прибрежной части оз. Виштынецкого доминирующие комплексы могут меняться, формироваться и перемешиваться в зависимости от абиотических факторов. Проведенное исследование также позволило выделить физико-химические параметры среды, которые играют важную роль в функционировании зоопланктонного сообщества в озере, они существенно влияют на формирование его скоплений и отражают влияние антропогенной нагрузки и климатических изменений на биоту прибрежных сообществ. Полученный перечень значимых абиотических факторов для зоопланктонного сообщества как кормовой базы пополнения ихтиоценоза озера позволит увеличить скорость обработки полевых данных и обеспечить высокую достоверность результатов прогнозирования рыбопродуктивности прибрежной части озера с использованием кормовой базы, а отмеченные зависимости в дальнейшем могут быть использованы в разработке математических моделей функционирования пищевых цепей в водоеме.

Список источников

1. Ahmad U., Parveen S., Khan A. A., Kabir H. A., Mohla H. R. A., Ganai A. H. Zooplankton population in relation to physico-chemical factors of a sewage-fed pond of Aligarh (UP), India // *Biology and Medicine*. 2011. N. 3 (S12). P. 336–341.
2. Dawodu B., Aderolu Z., Elegbede I. O., Adekunbi F. Consequences of Anthropogenic Activities on Fish and the Aquatic Environment // *Poultry, Fisheries & Wildlife Sciences*. 2015. V. 3. Iss. 2. P. 138–151. DOI: 10.4172/2375-446X.1000138.
3. Droppers B., Franssen Wietse H. P., Vliet Michelle T. H., Van Nijssen B., Ludwig F. Simulating human impacts on global water resources using VIC-5 // *Geoscientific Model Development*. 2020. V. 13. P. 5029–5052. DOI: 10.5194/gmd-13-5029-2020.
4. Кривоpuskova E. B. Влияние рекреационной нагрузки на экологическое состояние российской прибрежной части акватории озера Виштынецкого в летний период // *Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. (20–22 марта 2018)*. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2018. С. 50–54.
5. Krivopuskova E., Tzvetkova N. Assessment of the trophic status of the coastal area of lake Vistytis (Kaliningrad region) by hydrochemical parameters // *Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy*. Environmental Science and Engineering. Springer, 2022. P. 41–51. DOI: 10.1007/978-3-031-08284-9_5.
6. Кривоpuskova E. B., Цветкова Н. Н. Предваритель-

ная оценка критической фосфорной нагрузки на озеро Виштынецкое (Калининградская область) // *Изв. КГТУ*. 2017. № 45. С. 83–92.

7. Кривоpuskova E. B., Берникова Т. А., Агаркова Т. С. Оценка экологического состояния озера Виштынецкого (Калининградская область) по гидрохимическим показателям // *Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: тр. Всерос. науч. конф. V Балт. мор. форума*. Калининград: Изд-во КГТУ, 2017. С. 192–197.

8. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. Л.: Гидрометеониздат, 1983. 239 с.

9. Baird R. B., Bridgewater L. L., Eaton A. D., Rice E. W. Standard methods for the examination of water and wastewater. N. Y.: APHA, 2017. 245 p.

10. ISO 10519:1997. Determination of Chlorophyll Content. International Organization for Standardization. Switzerland, 1997. 24 p.

11. Алексеев В. Р., Глаголев С. М. и др. Определи-тель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. Т. 1. Зоопланктон. 495 с.

12. Shibaeva M. N., Masyutkina E. A., Shibaev S. V. Hydrobiological Characteristics of Water Bodies in the Kaliningrad Region // *Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region. The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, Cham., 2017. V. 65. P. 285–316.

13. Шибеев С. В., Кривоpuskova E. B. Особенности формирования гидрологического режима озера Виштынецкого (Калининградская область) // *International Con-*

ference on Sustainable Development in Sciences, Management & Technology. Conference Proceedings. Oslo, Norway, 2022. P. 17–23.

14. Кривоупускова Е. В., Шибеева М. Н. Пространственное распределение видового состава зоопланктона

прибрежной части озера Виштынецкого // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: тр. IX Нац. науч. конф. IX Междунар. Балт. мор. форума (Калининград, 04–09 октября 2021 г.). Калининград, 2021. Т. 3. С. 92–97.

References

1. Ahmad U., Parveen S., Khan A. A., Kabir H. A., Mola H. R. A., Ganai A. H. Zooplankton population in relation to physico-chemical factors of a sewage-fed pond of Aligarh (UP), India. *Biology and Medicine*, 2011, no. 3 (S12), pp. 336–341.

2. Dawodu B., Aderolu Z., Elegbede I. O., Adekunbi F. Consequences of Anthropogenic Activities on Fish and the Aquatic Environment. *Poultry, Fisheries & Wildlife Sciences*, 2015, vol. 3, iss. 2, pp. 138–151. DOI: 10.4172/2375-446X.1000138.

3. Droppers B., Franssen Wietse H. P., Vliet Michelle T. H., Van Nijssen B., Ludwig F. Simulating human impacts on global water resources using VIC-5. *Geoscientific Model Development*, 2020, vol. 13, pp. 5029–5052. DOI: 10.5194/gmd-13-5029-2020.

4. Krivopuskova E. V. Vliyaniye rekreacionnoy nagruzki na ekologicheskoye sostoyaniye rossijskoy pribrezhnoy chasti akvatorii ozera Vishtyneckogo v letnij period [The influence of recreational load on the ecological state of the Russian coastal part of the water area of Lake Vishtynetsky in the summer]. *Prirodnye resursy, ih sovremennoye sostoyaniye, ohrana, promyslovoe i tekhnicheskoye ispol'zovanie: materialy IX Vseros. nauch.-prakt. konf. (20–22 marta 2018)*. Petropavlovsk-Kamchatskiy, Izd-vo KamchatGTU, 2018. Pp. 50–54.

5. Krivopuskova E., Tzvetkova N. Assessment of the trophic status of the coastal area of lake Vistytis (Kalininograd region) by hydrochemical parameters. *Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering*. Springer, 2022. Pp. 41–51. DOI: 10.1007/978-3-031-08284-9_5.

6. Krivopuskova E. V., Cvetkova N. N. Predvaritel'naya ocenka kriticheskoy fosfornoy nagruzki na ozero Vishtyneckoe (Kalininogradskaya oblast') [Preliminary assessment of the critical phosphorus load on Lake Vishtynetskoye (Kalininograd region)]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 45, pp. 83–92.

7. Krivopuskova E. V., Bernikova T. A., Agarkova T. S. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya ozera Vishtyneckogo (Kalininogradskaya oblast') po gidrohimicheskimi pokazatelyam [Assessment of the ecological state of Lake Vishtynetsky (Kalininograd region) by hydrochemical indica-

tors]. *Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoemov: trudy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii V Baltijskogo morskogo foruma*. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2017. Pp. 192–197.

8. Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenij [Guidelines on methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. Pod redaksiyey V. A. Abakumova. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983. 239 p.

9. Baird R. B., Bridgewater L. L., Eaton A. D., Rice E. W. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. New York, APHA, 2017. 245 p.

10. ISO 10519:1997. *Determination of Chlorophyll Content. International Organization for Standardization*. Switzerland, 1997. 24 p.

11. Alekseev V. R., Glagolev S. M. i dr. *Opredeletel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii* [Determinant of zooplankton and zoobenthos in fresh waters of European Russia]. Moscow, T-vo nauch. izd. KMK Publ., 2010. Vol. 1. Zooplankton. 495 p.

12. Shibaeva M. N., Masyutkina E. A., Shibaev S. V. Hydrobiological Characteristics of Water Bodies in the Kaliningrad Region. *Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region. The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, Cham., 2017. Vol. 65. Pp. 285–316.

13. Shibaev S. V., Krivopuskova E. V. Osobennosti formirovaniya gidrologicheskogo rezhima ozera Vishtyneckogo (Kalininogradskaya oblast') [Features of the formation of the hydrological regime of Lake Vishtynetsky (Kalininograd region)]. *International Conference on Sustainable Development in Sciences, Management & Technology. Conference Proceedings*. Oslo, Norway, 2022. Pp. 17–23.

14. Krivopuskova E. V., Shibaeva M. N. Prostranstvennoye raspredeleniye vidovogo sostava zooplanktona pribrezhnoy chasti ozera Vishtyneckogo [Spatial distribution of zooplankton species composition in the coastal part of Lake Vishtynetsky]. *Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoemov: trudy IX Nacional'noy nauchnoy konferentsii IX Mezhdunarodnogo Baltijskogo morskogo foruma (Kalininograd, 04–09 oktyabrya 2021 g.)*. Kaliningrad, 2021. Vol. 3. Pp. 92–97.

Статья поступила в редакцию 25.02.2025; одобрена после рецензирования 03.06.2025; принята к публикации 18.11.2025
The article was submitted 25.02.2025; approved after reviewing 03.06.2025; accepted for publication 18.11.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Екатерина Владимировна Кривоупускова – младший научный сотрудник кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; Калининградский государственный технический университет; ekaterinakrivopuskova@yandex.ru

Ekaterina V. Krivopuskova – Junior Researcher of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Kaliningrad State Technical University; ekaterinakrivopuskova@yandex.ru

Мария Николаевна Шибалева – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; Калининградский государственный технический университет; msh@klgtu.ru

Анна Сергеевна Бурбах – кандидат биологических наук; доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; Калининградский государственный технический университет; anna.burbakh@klgtu.ru

Maria N. Shibaeva – Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Kaliningrad State Technical University; msh@klgtu.ru

Anna S. Burbakh – Candidate of Biological Sciences; Assistant Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Kaliningrad State Technical University; anna.burbakh@klgtu.ru

