

Научная статья

УДК 574.583

DOI 10.46845/1997-3071-2025-79-39-53

**Видовой состав гетеротрофных микробных сообществ оз. Виштынецкого
Калининградской области в июне 2022-2023 гг.**

Анастасия Ивановна Моисеева

Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

nastya.m.1234@mail.ru

Аннотация. Оз. Виштынецкое – самое большое и глубокое в Калининградской области, относящееся к водоемам природного парка «Виштынецкий». По гидрохимическим показателям водоем отнесен к олиготрофным с некоторыми чертами мезотрофности в прибрежных зонах. Целью работы было установление видового состава гетеротрофных микробных сообществ озера Виштынецкого и выявление физиологических групп бактерий, участвующих в трансформации органических соединений. Материалом для исследований послужил гетеротрофный бактериопланктон воды из оз. Виштынецкого в июне 2022–2023 гг. В исследуемый период численность гетеротрофных бактерий в среднем не превышала $0,7 \times 10^3$ КОЕ/мл, что обычно соответствует олиготрофным водоемам. Отличия по численности гетеротрофных бактерий по годам исследования не выявлены. Установлены изменения количества гетеротрофов по станциям отбора проб, наибольшее значение микробного числа воды зафиксировано на мелководных, хорошо прогреваемых участках озера, наименьшее – в глубоководных зонах. Аналогичная закономерность колебаний численности гетеротрофов определена в зависимости от температуры воды на анализируемых станциях наблюдения. В микробных сообществах оз. Виштынецкого циркулируют виды бактерий, активно ферментирующих углеводы, расщепляющих белки, редуцирующих нитраты с образованием молекулярного азота. По численности преобладали виды бактерий, разлагающих широкий спектр углеводов и многоатомный спирт маннит. В видовом составе определены палочковидные бактерии родов *Aeromonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, кокковые бактерии родов *Staphylococcus*, *Sarcina*. Для некоторых таксонов бактерий установлена как дезаминирующая активность, так и способность разлагать углеводы. Однородность структуры микробного сообщества, его биохимическая активность указывают на процессы самоочищения оз. Виштынецкого.

Ключевые слова: озеро Виштынецкое, микробные сообщества, видовой состав, гетеротрофные бактерии.

Для цитирования: Моисеева А. И. Видовой состав гетеротрофных микробных сообществ оз. Виштынецкого Калининградской области в июне 2022–2023 гг. // Известия КГТУ. 2025. № 79. С. 39–53. DOI 10.46845/1997-3071-2025-79-39-53.

Original article

Species composition of the heterotrophic microbial communities of Lake Vishtynetskoe of the Kaliningrad region in June 2022-2023

Anastasiya I. Moiseeva

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
nastya.m.1234@mail.ru

Abstract. Lake Vishtynetskoye is the largest and deepest lake in the Kaliningrad region, and it is a part of the Vishtynetsky Nature Park. According to the hydrochemical indicators, the lake is classified as oligotrophic with some mesotrophic characteristics in the coastal areas. The purpose of our study was to determine the species composition of the heterotrophic microbial communities in Lake Vishtynetskoe and to identify the physiological groups of bacteria involved in the transformation of organic compounds. The material of the research was heterotrophic bacterioplankton from Lake Vishtynetsky in June 2022-2023. During the study period, the average number of heterotrophic bacteria did not exceed $0,7 \times 10^3$ CFU/ml, which is typical for oligotrophic water bodies. No clear differences in the number of heterotrophs between the years of the study were found. Changes in the number of heterotrophs at the sampling stations, with the highest microbial number in the shallow, well-heated areas of the lake and the lowest in the deep-water zones were revealed. We also found a similar pattern of fluctuations in the number of heterotrophs depending on the water temperature at the observation stations. In the microbial communities of Lake Vishtynetsky, there are species of bacteria that actively ferment carbohydrates, break down proteins, and reduce nitrates to form molecular nitrogen. The abundance of bacteria that decompose a wide range of carbohydrates and the polyatomic alcohol mannitol is significant. Rod shape bacteria as *Aeromonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, coccus bacteria as *Staphylococcus*, *Sarcina* were in water microflora. The uniformity of the microbial community structure and its biochemical activity indicate the self-purification processes in Lake Vishtynetskoe.

Keywords: Lake Vishtynetskoe, microbial communities, species composition.

For citation: Moiseeva A. I. Species composition of the heterotrophic microbial communities of Lake Vishtynetskoe of the Kaliningrad region in June 2022–2023. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2025;(79): 39–53. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-79-39-53.

ВВЕДЕНИЕ

Оз. Виштынецкое – самое большое и глубокое в Калининградской области [1], имеет ледниковое происхождение. Чаша озера разделена на северную и южную котловины [2]. Водоем относится к озерам с продольно-осевой проточностью, почти вся его акватория (за исключением бухты Тихой) – динамически активная зона с переносом вод с юга на север. Скорость постоянного течения в водоеме мала и составляет менее 1–2 см/с (кроме приустьевых участка р. Писсы). Для воды оз. Виштынецкого характерна довольно высокая условная (относительная) прозрачность, особенно в северной котловине. Прозрачность снижается по направлению от центральной части водоема к его берегам, достигая

значения 1 м [2]. По гидрохимическим показателям водоем отнесен к олиготрофным, однако для его прибрежной акватории (в районе баз отдыха у входа в бухту Тихую) характерен более высокий трофический уровень, чем в открытой части озера, при этом Утиный залив имеет выраженные черты эвтрофного водоема. Основную антропогенную нагрузку озеро получает со стоком с сельскохозяйственных полей, от населенных пунктов и рекреационных зон, расположенных на территории его водосборного бассейна [3].

Трофность озер также определяется по видовому составу микробных сообществ. Гетеротрофные бактерии играют ключевую роль в трофических взаимоотношениях планктонных организмов и циклах биогенных элементов в пресноводных экосистемах. Исследованиям гетеротрофного бактериопланктона олиготрофных озер, в том числе ледникового происхождения, посвящен ряд отечественных и зарубежных работ [4–20]. В оз. Плещеево [4] при изучении пространственного распределения микробных сообществ наибольшая плотность микроорганизмов выявлена в литоральной зоне, по тенденции увеличения количественных характеристик бактерий определили водоем как эвтрофный. Исследования бактериопланктона оз. Ильмень, основу которого формировали палочковидные и кокковидные формы, установили пространственную однородность в его распределении по акватории водоема в течение вегетационного сезона [5]. Микробное сообщество оз. Севан характеризовалось высоким разнообразием, в частности, деструкторами полимеров фитопланктона и зоопланктона, различными метилотрофами, диазотрофами и денитрификаторами, что свидетельствовало о большом количестве биогеохимических циклов в озере [6]. В бактериопланктоне пресного оз. Круглое преобладали гидролитические бактерии, биохимическая активность которых влияла на формирование состава воды в озере, все выделенные штаммы были аэробными гетеротрофами, характерными для пресноводных экосистем [7]. При изучении микробного сообщества пресных озер Бурятии выявили видовое сходство бактериальных филумов и различия в количественном распределении групп в сообществах. Отметим, что в микробном сообществе оз. Баунт, расположенного в зоне вечной мерзлоты, не обнаружено таксонов, являющихся индикаторами антропогенного загрязнения [8–10]. В оз. Байкал установлено, что микробные сообщества планктона и эпилимниона реагируют на изменения условий среды обитания уменьшением или увеличением доли различных физиологических групп и служат индикаторами при изучении уровня антропогенной нагрузки на экосистему озера. Наибольшие значения численности мезофильных аммонифицирующих гетеротрофных бактерий в озере фиксировали на станциях, расположенных в прибрежной части водоема и отобранных у уреза воды в местах отдыха населения, подверженных антропогенному воздействию. Между микробиомами пелагической и литоральной зон озера Байкал выявлено сходство, возможной причиной которого была максимальная стабильность поверхностных слоев воды [11–14]. Гетерогенность пространственного распределения бактериопланктона из-за разницы температур отмечена в различных частях Ладожского озера в начале лета. По микробиологическим показателям в этом озере выявлены отдельные зоны экологического риска, подверженные тому или иному виду антропогенного воздействия [15, 16]. В олиготрофном оз. Фусьян были усилены биохимические и микробиологические процессы, связанные с окислением метанола, метилотрофией, ферментацией, разложением ароматических соединений, денитрификацией, что подчеркивает жизненно важную роль бактерий в

круговороте углерода и азота [17, 18]. В оз. Большое Голубое развиваются микробные сообщества, участвующие в круговороте серы, в составе которых высока численность бесцветных серобактерий, окисляющих сероводород, что свидетельствует о важной роли серобактерий в процессе самоочищения водоема [20].

Таким образом, эколого-трофические группы микроорганизмов в олиготрофных озерах служат биоиндикаторами загрязнения водной среды и позволяют определить способность водоемов к самоочищению. Поэтому исследования микробных сообществ важны для оценки экологического состояния оз. Виштынецкого, которое в основном оценено по гидробиологическим и гидрохимическим параметрам [21–24], данные по бактериопланктону воды озера фрагментарны [25]. Целью работы было установление видового состава гетеротрофных микробных сообществ оз. Виштынецкого в июне 2022–2023 гг. и выявление физиологических групп бактерий, участвующих в трансформации органических соединений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований послужил гетеротрофный бактериопланктон воды из оз. Виштынецкого в июне 2022–2023 гг. Погодные условия во время отбора проб: безоблачно, средняя температура воздуха 29,1 °С, воды – 21,0 °С, слабое волнение, направление ветра 90°, тихий ветер (скорость от 0,3 до 1,5 м/с). Воду для микробиологического анализа отбирали при помощи батометра. Стерильную бутылку объемом 0,5 л, закрытую обтертой спиртом резиновой пробкой, при помощи троса опускали на глубину 1 м от поверхности воды и рывком при помощи другого троса, подходящего к горлышку бутылки, вытягивали резиновую пробку, при этом вода с нужного горизонта поступала в склянку. Поверхностную воду сливали и бутылку закрывали стерильной ватной пробкой [26]. Пробы отбирали с 7 станций, расположенных в прибрежной, центральной и южной частях водоема (рис. 1).

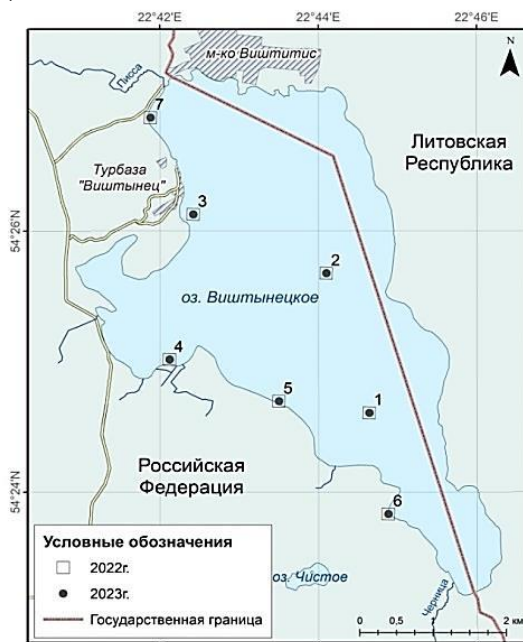


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в озере Виштынецком
Fig. 1. Layout of sampling stations in Lake Vishtynetskie

При выборе точного места отбора руководствовались доступностью места отбора при любых погодных условиях и возможностью наблюдения и контроля всего водоема в целом. Всего было отобрано 14 проб воды (по 7 проб в каждый год исследования), выделено и изучено 152 штамма бактерий.

Применяли метод десятикратных разведений проб воды в стерильном физиологическом растворе, разведения проводили до 10^{-3} . Количественное содержание общего числа гетеротрофных бактерий оценивали по показателю общего микробного числа воды, который рассчитывали по числу выросших колоний на рыбопептонном агаре. Посевы инкубировали при температуре 37 °С в течение 72 часов.

Анализ физиологических групп гетеротрофных бактерий проводили по питательным средам специального назначения, аммонифицирующих бактерий учитывали на рыбопептонном бульоне, подвешивая в него под ватно-марлевые пробки фильтровальные бумажки, смоченные 10%-ным раствором уксуснокислого свинца (для определения сероводорода), и красную лакмусовую бумагу (для установления выделения аммиака). Наличие аммиака и сероводорода определяли по изменению цвета индикаторной бумаги (по почернению – сероводород, по посинению – аммиак) [27]. Денитрифицирующих бактерий определяли в среде с калийной селитрой по их способности редуцировать нитраты в нитриты, посевы инкубировали при температуре 37 °С. Редукцию нитратов в нитриты определяли путем добавления к культуре бактерий на рыбопептонном бульоне с калийной селитрой (KNO_3) через 3–4 дня инкубации 0,5 мл 10 % -го раствора серной или 20 % -го раствора уксусной кислоты и 0,5 мл раствора крахмала с йодистым калием. Появление коричневой или черной окраски смеси свидетельствовало о переходе нитратной соли в нитритную [27]. Способность бактерий к разложению аминокислот изучали на питательных средах с фенилаланином, аргинином, орнотином, лизином. Ферментативную активность бактерий к углеводам определяли на средах Гисса с мальтозой, лактозой, сахарозой, глюкозой, арабинозой, маннитом, фруктозой.

Видовую идентификацию бактерий осуществляли по совокупности культуральных, морфологических и физиолого-биохимических признаков с помощью определителей [28–30].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Численность гетеротрофных бактерий в июне 2022 г. в озере по станциям отбора проб изменялась в диапазоне от $0,1 \times 10^3$ до $1,7 \times 10^3$ КОЕ/мл (рис. 2).

Среднее значение численности микроорганизмов по всем станциям составило $0,5 \times 10^3$ КОЕ/мл. По мере продвижения к центральной и южной частям водоема отмечали снижение численности гетеротрофов до $0,1 \times 10^3$ КОЕ/мл на станции 1 и до $0,2 \times 10^3$ КОЕ/мл – на станции 2, что закономерно, так как данные станции отбора проб располагаются в глубоководных зонах озера. Наибольшие значения численности гетеротрофных бактерий зарегистрированы на мелководных участках озера, расположенных вблизи баз отдыха: на станции 3 общее количество бактерий в воде составляло $1,7 \times 10^3$ КОЕ/мл, на станции 7 – $1,2 \times 10^3$ КОЕ/мл. При анализе численности гетеротрофных бактерий в озере Виштынецком в июне 2023 г. по станциям отбора проб (рис. 2.) установили колебания численности

гетеротрофов от $0,1 \times 10^3$ до $2,0 \times 10^3$ КОЕ/мл. Среднее значение бактериальной обсемененности воды составило $0,8 \times 10^3$ КОЕ/мл. Высокие значения концентрации бактерий, как и в 2022 г., зафиксировали на мелководных станциях, расположенных вблизи баз отдыха: на станции 3 – $1,8 \times 10^3$ КОЕ/мл, на станции 7 – $2,0 \times 10^3$ КОЕ/мл.

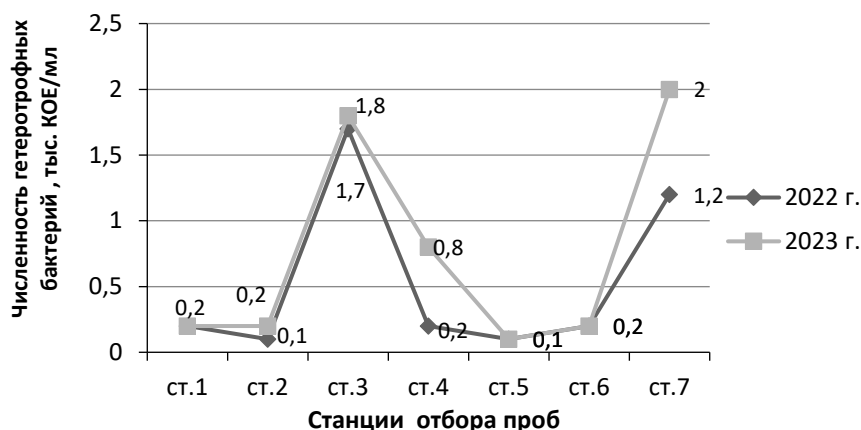


Рис. 2. Численность гетеротрофных (сапротрофных) бактерий оз. Виштынецкого в июне 2022–2023 гг.

Fig. 2. Number of heterotrophic bacterioplankton in Lake Vishtynetskie in June of 2022–2023

По численности гетеротрофных бактерий в воде согласно ГОСТ 17.1.2.04-77 [31] в исследуемый период оз. Виштынецкое отнесли к категории «чистые», что соответствует олигосапробным водам. Количественные изменения гетеротрофов по акватории озера зависели от места расположения станций отбора проб – более активное развитие бактерий происходило на мелководных прогреваемых участках. Температурный фактор также определял численность гетеротрофных бактерий в озере. На станциях с наибольшими глубинами (30 м на станции 1, 51 м на станции 2) при средней температуре воды $16,9^\circ\text{C}$ в июне 2022 г. средние значения обсемененности воды составляли $0,2 \times 10^3$ КОЕ/мл, такие же показатели фиксировали и в июне 2023 г. при средней температуре воды $21,0^\circ\text{C}$. На мелководных станциях (3–7 с глубинами от 1,5 до 3 м) в июне 2022 г. при средней температуре воды $18,9^\circ\text{C}$ и в июне 2023 г. при средней температуре воды $20,5^\circ\text{C}$ количество гетеротрофов в воде достигало $0,7 \times 10^3$ КОЕ/мл и $0,9 \times 10^3$ КОЕ/мл соответственно.

Таким образом, определили, что в оз. Виштынецком, в мелководных прогреваемых зонах, расположенных вблизи баз отдыха, активно развиваются гетеротрофные бактерии. Численность гетеротрофов в глубоководных и мелководных зонах озера также зависит от температуры воды.

Гетеротрофное микробное сообщество оз. Виштынецкого отличалось различной биохимической активностью, при этом в течение двух лет наблюдений доля штаммов, способных к деструкции органических соединений, оставалась примерно на одном количественном уровне, существенных различий соотношения физиологических групп бактерий не отмечали (рис. 3).

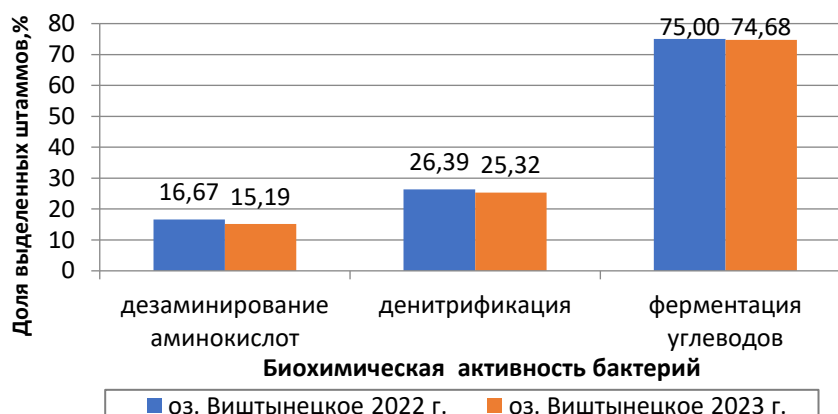


Рис. 3. Доля выделенных штаммов гетеротрофных бактерий оз. Виштынецкого в зависимости от их биохимических свойств

Fig. 3. Proportion of isolated heterotrophic bacteria strains from Lake Vishtynetskoe, depending their biochemical properties

Изучение биохимической активности гетеротрофных бактерий показало, что в микробных сообществах оз. Виштынецкого преобладали бактерии, способные к ферментации углеводов и многоатомного спирта маннита. Бактерии ассимилировали достаточно широкий спектр углеводных субстратов (табл. 1).

Таблица 1. Ассимиляция углеводных субстратов микробного сообщества оз. Виштынецкого

Table 1. Assimilation of carbohydrate substrates by the microbial community of Lake Vishtynetsky

Наименование углевода	Количество штаммов, способных к ассимиляции, %
Глюкоза	7,69
Сахароза	5,77
Лактоза	1,92
Арабиноза	1,92
Мальтоза	1,92
Маннит	69,23

Подавляющее большинство штаммов бактерий ферментировали маннит, другими предпочтительными для ферментации были глюкоза и сахароза. Наличие углеводов в воде озера может быть связано с различными источниками растворенных органических веществ, в частности, с фотосинтетической активностью фитопланктона или выделением органического материала из клеток зоопланктона.

Достаточно большое количество штаммов занимали бактерии, способные к денитрификации – процессу восстановления нитратов в нитриты, аммиак и далее до молекулярного азота. Активность денитрифицирующих бактерий наблюдается при недостатке кислорода в воде. Кроме того, при массовом развитии денитрификаторов скапливается молекулярный азот, недоступный для водорослей.

Меньшую долю составляли бактерии, дезаминирующие аминокислоты. Вероятно, процессы минерализации органических азотсодержащих соединений в оз. Виштынецком в начале летнего сезона происходят менее интенсивно.

Видовой состав микробного сообщества оз. Виштынецкого в июне 2022–2023 гг. по его биохимическим характеристикам представлен в табл. 2.

Таблица 2. Видовой состав гетеротрофных микробных сообществ оз. Виштынецкого в июне 2022 и 2023 гг.

Table 2. Species composition of heterotrophic microbial communities of Lake Vishtynetskoe in 2022 and 2023.

Физиологическая группа бактерий	Вид бактерий
Минерализующие органические соединения (моносахариды, олигосахариды, многоатомный спирт)	<i>Aeromonas schubertii</i> (Hickman-Brenner et al., 1989) <i>Aeromonas sobria</i> (Popoff and Véron, 1981) <i>Aeromonas caviae</i> (Popoff, 1984) <i>Enterobacter hormaechei</i> (O'Hara et al., 1990) <i>Bacillus sphaericus</i> (Meyer and Neide, 1904) <i>Bacillus brevis</i> (Migula, 1900) <i>Bacillus circulans</i> (Jordan, 1890) <i>Sarcina ventriculi</i> (Goodsir, 1842) <i>Pseudomonas pseudoalcaligenes</i> (Stanier, 1966) <i>Staphylococcus epidermidis</i> (Evans, 1916)
Денитрифицирующие	<i>Bacillus firmus</i> (Donk, 1920) <i>Staphylococcus epidermidis</i> (Evans, 1916) <i>Bacillus pantothenicus</i> (Proom and Knight, 1950)
Бактерии, дезаминирующие аминокислоты	<i>Pseudomonas pseudoalcaligenes</i> (Stanier, 1966) <i>Bacillus circulans</i> (Jordan, 1890) <i>Enterobacter hormaechei</i> (O'Hara et al., 1990) <i>Aeromonas sobria</i> (Popoff and Véron, 1981) <i>Staphylococcus epidermidis</i> (Evans, 1916)

В видовом составе бактерий, ферментирующих углеводы и многоатомный спирт маннит, было обнаружено достаточно большое разнообразие видов бактерий. Преобладали палочковидные бактерии родов *Aeromonas*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus* и кокки рода *Sarcina*. В сообществе денитрифицирующих бактерий доминировали споровые бациллы, также нитратредуктазой обладали стафилококки. К дезаминированию аминокислот были способны *P. pseudoalcaligenes*, *E. hormaechei*, *St. epidermidis*, *A. sobria*, эти же виды бактерий ферментировали углеводы. Таким образом, в исследуемый нами период микробное сообщество воды оз. Виштынецкого формировалось типичными представителями гетеротрофного бактериопланктона, характерного для микробиоценозов пресноводных водоемов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гетеротрофные микробные сообщества озерных экосистем играют важную роль в биогеохимических циклах и процессах, при этом быстро реагируют на изменения концентрации и доступности питательных веществ, изменяя свою структуру и разнообразие. Биохимическая активность бактерий способствует естественному самоочищению водоемов.

В исследуемый период численность гетеротрофных бактерий в воде оз. Виштынецкого в среднем не превышала $0,7 \times 10^3$ КОЕ/мл, что обычно соответствует олиготрофным водоемам. Не были выявлены явные отличия по численности гетеротрофов по годам исследования. Установлены изменения количества гетеротрофов по станциям отбора проб, наибольшее значение микробного числа воды зафиксировано на мелководных, хорошо прогреваемых участках озера, наименьшее – в глубоководных зонах. Аналогичная закономерность колебаний численности гетеротрофов наблюдалась в зависимости от температуры воды на анализируемых станциях наблюдения.

Биохимические особенности гетеротрофных бактерий воды озера служат индикаторами уровня трофности водоема и позволяют выявить особенности функционирования бактериальных сообществ в зависимости от наличия органического вещества. Определено, что в микробных сообществах озера Виштынецкого циркулируют виды бактерий, активно ферментирующих углеводы, расщепляющих белки, редуцирующих нитраты с образованием молекулярного азота. По численности преобладали виды бактерий, разлагающих широкий спектр углеводов. В то же время выявлено, что некоторые углеводрасщепляющие бактерии также способны дезаминировать аминокислоты. Наличие углеводов в воде озера, возможно, связано с фотосинтетической активностью фитопланктона или выделением органического материала из клеток зоопланктона, процессы денитрификации осуществляются бактериями при недостатке кислорода в воде, минерализация белковых веществ активно протекает на начальных стадиях самоочищения. Однородность структуры микробного сообщества, его биохимическая активность указывают на процессы самоочищения оз. Виштынецкого.

Список источников

1. Озеро Виштынецкое / Н. К. Алексеев, А. Г. Демидова, Т. А. Берникова [и др.]. – Калининград: Калининградское книжное издательство, 1976. – 47 с.
2. Виштынецкое озеро: природа, история, экология / В. В. Орленок, Г. М. Барина, П. П. Кучерявый, Г. Л. Ульяшев. – Калининград, 2000. – 185 с. – ISBN 5-88874-162-0.
3. Современное состояние исследований морфологических особенностей озера Виштынецкого / С. В. Шибаев, Т. А. Берникова, А. В. Алдушин, Д. М. Лях // Инновации в науке и образовании: VI юбил. междунар. науч. конф., посвященная 50-летию пребывания КГТУ на Калининградской земле (21–23 октября 2008 г.): труды. – Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. – С. 156–158.
4. Романенко, А. В. Современное структурно-функциональное состояние бактериопланктона озера Плещеево / А. В. Романенко // Труды Института биологии внутренних вод РАН, 2019. – Вып. 86 (89). – С. 7–22.

5. Современное состояние бактериопланктона оз. Ильмень / Л. Л. Капустина, А. А. Быстрова, А. С. Прищепа, Е. М. Соловьева // Труды ВНИРО, 2023. – Т. 193. – С. 140–151.
6. Микробное сообщество озера Севан / И. Тихонова, Г. Геворгян, А. Краснопеев [и др.] // 13-й съезд гидробиологического общества при Российской академии наук. Архангельск, 16–20 сентября 2024 года. – Архангельск, 2024. – С. 165.
7. Абидуева, Е. Ю. Бактериальное разнообразие пресного озера Круглое (Селенгинский район, Бурятия) / Е. Ю. Абидуева, Е. Б. Кудряшова, Н. В. Присяжная // Материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 85-летию доктора ветеринарных наук, профессора, Заслуженного деятеля науки Российской Федерации Тарнуева Юрия Абогоевича. – Улан-Удэ, 2024. – С. 141–144.
8. Дагурова, О. П. Разнообразие микробного сообщества пресного озера Баян-Уул / О. П. Дагурова, Б. В. Цыденова, С. В. Зайцева. – DOI: 10.18101/2542-0623-2023-3-31-39 // Природа внутренней Азии. – 2023. – № 3 (25). – С. 31–39.
9. Особенности микробных сообществ пресных озер Бурятии / О. П. Дагурова, С. В. Зайцева, Б. В. Цыденова [и др.]. – DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-870 // Limnology and freshwater biology. – 2024. – № 4. – С. 870–876.
10. Зайцева, С. В. Комплекс микробиологических показателей в оценке экологического состояния пресных водоемов Бурятии / С. В. Зайцева, О. П. Дагурова, Л. П. Козырева // Трансграничные территории востока России: факторы, возможности и барьеры развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Улан-Удэ, 2021. – С. 336–338.
11. Мошарова, И. В. Оценка современного состояния прибрежных вод южной части озера Байкал по санитарно-микробиологическим показателям с применением тест-систем / И. В. Мошарова, В. В. Ильинский, О. В. Ильина. – DOI: 10.35627/2219-5238/2018-306-9-54-58 // Здоровье населения и среда обитания. – 2018. – № 9 (306). – С. 54–58.
12. Оценка сезонной динамики генетического и таксономического состава бактериальных сообществ в пелагиали и литорали озера Байкал / А. Ю. Краснопеев, Ю. С. Букин, А. Д. Галачьянц [и др.] // VIII Пушинская конференция «Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов», школа-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Генетические технологии в микробиологии и микробное разнообразие» (Пушино, 06–08 декабря 2022 г.). – Москва, 2022. – С. 155–157.
13. Сезонные и пространственные вариации численности аммонифицирующих и денитрифицирующих бактерий в сообществах планктона и эпилимниона литорали оз. Байкал / Г. В. Подлесная, М. Ю. Сулова, Ю. Р. Штыкова [и др.]. – DOI: 10.15372/SEJ20210512 // Сибирский экологический журнал. – 2021. – № 5. – С. 641–652.
14. Оценка качества воды озера Байкал и его притоков в местах воздействия локального загрязнения по микробиологическим и гидрохимическим данным / А. С. Марцинечко, Е. П. Чебыкин, Н. С. Чебунина, Ю. Р. Захарова. – DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-998 // Limnology and freshwater biology. – 2024. – № 4. – С. 998–1019.
15. Белозерова, Д. В. Санитарно-микробиологическая характеристика среды обитания водных биоресурсов в Ладожском озере / Д. В. Белозерова,

Л. Л. Капустина. – DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-94-104 // Труды ВНИРО. – 2021. – Т. 185. – С. 94–104.

16. Митрукова, Г. Г. Экологическая оценка качества вод литоральной зоны Ладожского озера по результатам микробиологических исследований / Г. Г. Митрукова, Л. Л. Капустина, Е. А. Курашов. – DOI: 10.17076/lim127 // Труды Карельского научного центра РАН. – 2020. – № 9. – С. 88–100.

17. Extreme trophic tales: deciphering bacterial diversity and potential functions in oligotrophic and hypereutrophic lakes / Xie Guijuan, Zhang Yuqing, Gong Yi [et al] // BMC Microbiology. – 2024. – № 24. – P. 1–16.

18. Distinct ecological niches and community dynamics: understanding free-living and particle-attached bacterial communities in an oligotrophic deep lake / Xie Guijuan, Sun Chuanbo, Luo Wenlei [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. – 2024. – Vol. 90. – P. 1–20.

19. Голованева, А. Е. Микробиологическая трансформация азота в озере Халактыском (Камчатский край) / А. Е. Голованева, Н. А. Ступникова. – DOI: 10.23670/IRJ.2020.96.6.045 // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 6 (96). – С. 38–44.

20. Морозова, О. В. Микробные сообщества воды и донных отложений озера Большое Голубое (Республика Татарстан) / О. В. Морозова, Р. П. Токинова, Д. С. Любарский. – DOI: 10.24852/2411-7374.2022.3.13.20 // Российский журнал прикладной экологии. – 2022. – № 3. – С. 12–19.

21. Летний зоопланктон озера Виштынецкого как кормовая база европейской ряпушки в период нагула / Е. В. Кривоускова, М. Н. Шибаева // Материалы VIII Междунар. Балтийского морского форума 5–10 октября 2020 г.: в 6 т. Т. 3. Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020. – С. 79–83.

22. Мычкова, А. В. Зоопланктон прибрежной части озера Виштынецкого в зимний период и его роль в питании европейской ряпушки (*Coregonus albula*) / А. В. Мычкова, Е. В. Кривоускова, М. Н. Шибаева. – DOI: 10.46845/1997-3071-2025-771-26-39 // Вестник молодежной науки. – 2017. – С. 1–5.

23. Масюткина, Е. А. Оценка экологического состояния оз. Виштынецкого с применением различных гидробиологических индексов / Е. А. Масюткина // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2014. – вып. 7. – С. 66–76.

24. Шибаева, М. Н. Оценка экологического состояния прибрежной части озера Виштынецкого по гидробиологическим показателям / М. Н. Шибаева, Е. В. Кривоускова // Материалы VII Междунар. Балтийского морского форума 7–12 октября 2019 г.: в 6 т. Т. 3. Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. – С. 306–311.

25. Моисеева, А. И. Бактериопланктон некоторых водоемов Калининградской области (озеро Виштынецкое, озеро Чайка) в летний сезон 2022–2023 гг. / А. И. Моисеева, Е. В. Авдеева // Материалы VII Междунар. Балтийского морского форума 7–12 октября 2024 г.: в 6 томах. Т. 3. Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. – С. 306–311.

26. Кузнецов, С. И. Методы изучения водных микроорганизмов / С. И. Кузнецов, Г. А. Дубинина. – Москва: Наука, 1989. – 288 с. – ISBN 5-02-004020-7.
27. Практикум по микробиологии / под ред. Н. С. Егорова. – Москва, 1976. – 307 с.
28. Определитель бактерий Берджи / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса. – Москва: Мир, 1997. – Т. 1. – 432 с. – ISBN 5-03-003111-1.
29. Определитель бактерий Берджи / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса. – Москва: Мир, 1997. – Т. 2. – 368 с. – ISBN 5-03-003111-1.
30. Краткий определитель бактерий Берги / под ред. Дж. Хоулта. – Москва: Мир, 1980. – 495 с.
31. ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов // Сб. ГОСТов. – Москва: ИПК «Изд-во стандартов», 2000. – 62 с.

References

1. Lake Vishtynetskoye / N. K. Alekseev, A. G. Demidova, T. A. Bernikova [et al.]. – Kaliningrad: Kaliningrad Book Publishing House, 1976. – 47 p.
2. Vishtynetskoe Lake: Nature, History, and Ecology / V. V. Orlenok, G. M. Barinova, P. P. Kucheryavy, G. L. Ulyashev. – Kaliningrad, 2000. – 185 p. – ISBN 5-88874-162-0.
3. Current state of research on the morphological features of Lake Vishtynetskoe / S. V. Shibaev, T. A. Bernikova, A. V. Aldushin, D. M. Lyakh // Innovations in science and education: The VI anniversary international scientific conference dedicated to the 50th anniversary of KSTU (October 21–23, 2008): proceedings. – Kaliningrad: FSEI HPE "KSTU", 2008. – P. 156–158.
4. Romanenko, A. V. Modern structural and functional state of bacterioplankton of Lake Pleshcheyevo / A. V. Romanenko // Proceedings of the Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences, 2019. – Issue 86 (89). – P. 7–22.
5. Current state of bacterioplankton in the Lake Ilmen / L. L. Kapustina, A. A. Bystrova, A. S. Prishchepa, E. M. Solovyova // Proceedings of VNIRO, 2023. – Vol. 193. – P. 140–151.
6. Microbial community of Lake Sevan / I. Tikhonova, G. Gevorgyan, A. Krasnopeev [et al.] // 13th Congress of the Hydrobiological Society at the Russian Academy of Sciences. Arkhangelsk, September 16–20, 2024. – Arkhangelsk, 2024. – P. 165.
7. Abidueva, E. Y. Bacterial diversity of freshwater Lake Krugloye (Selenginsky district, Buryatia) / E. Y. Abidueva, E. B. Kudryashova, N. V. Prisyazhnaya // Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation Tarnuev Yuri Abogoevich. – Ulan-Ude, 2024. – P. 141–144.
8. Dagurova, O. P. Diversity of the microbial community of the freshwater lake Baunt / O. P. Dagurova, B. V. Tsydenova, S. V. Zaitseva. – DOI: 10.18101/2542-0623-2023-3-31-39 // The nature of Inner Asia. – 2023. – № 3 (25). – P. 31–39.

9. Features of microbial messages in freshwater lakes of Buryatia / O. P. Dagurova, S. N. Zaitseva, B. V. Tsydenova [et al.]. – DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-870 // Limnology and freshwater biology. – 2024. – №. 4. – P. 870–876.
10. Zaitseva, S. V. A complex of microbiological indicators in the assessment of the ecological state of freshwater reservoirs in Buryatia / S. V. Zaitseva, O. P. Dagurova, L. P. Kozyreva // Transborder territories of the East of Russia: factors, opportunities and barriers to development: proceedings of the international scientific and practical conference. – Ulan-Ude, 2021. – P. 336–338.
11. Mosharova, I. V. Assessment of the current state of the coastal waters of the southern part of Lake Baikal by sanitary and microbiological indicators using test systems / I. V. Mosharova, V. V. Ilyinsky, O. V. Ilyina. – DOI: 10.35627/2219-5238/2018-306-9-54-58 // Population health and habitat. – 2018. – № 9 (306). – P. 54–58.
12. Assessment of the seasonal dynamics of the genetic and taxonomic composition of bacterial communities in the pelagial and littoral of Lake Baikal / A. Y. Krasnopeev, Y. S. Bukin, A. D. Galachyants [et al.] // VIII Pushchina Conference "Biochemistry, physiology and biospheric role of microorganisms", school-conference of young scientists, graduate students and students "Genetic technologies in Microbiology and Microbial Diversity", Pushchino, December 06-08, 2022. – Moscow, 2022. – P. 155–157.
13. Seasonal and spatial variations in the abundance of ammonifying and denitrifying bacteria in plankton and epilithon communities of the littoral of Lake Baikal / G. V. Podlesnaya, M. Y. Suslova, Y. R. Shtykova [et al.]. – DOI: 10.15372/SEJ20210512 // Siberian Ecological Journal. – 2021. – № 5. – P. 641–652.
14. Assessment of the water quality of Lake Baikal and its tributaries in places affected by local pollution according to microbiological and hydrochemical data / A. S. Marcinechko, E. P. Chebykin, N. S. Chebunina, Y. R. Zakharova. – DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-998 // Limnology and freshwater biology. – 2024. – № 4. – P. 998–1019.
15. Belozerova, D. V. Sanitary and microbiological characteristics of the habitat of aquatic biological resources in Lake Ladoga / D. V. Belozerova, L. L. Kapustina. – DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-94-104 // Proceedings of VNIRO. – 2021. – Vol. 185. – P. 94–104.
16. Mitrukova, G. N. Ecological assessment of the water quality of the littoral zone of Lake Ladoga based on the results of microbiological studies / G. N. Mitrukova, L. L. Kapustina, E. A. Kurashov. – DOI: 10.17076/lim127 // Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2020. – №. 9. – P. 88–100.
17. Extreme trophic tales: deciphering bacterial diversity and potential functions in oligotrophic and hypereutrophic lakes / Xie Guijuan, Zhang Yuqing, Gong Yi [et al.] // BMC Microbiology. – 2024. – №. 24. – P. 1–16.
18. Distinct ecological niches and community dynamics: understanding free-living and particle-attached bacterial communities in an oligotrophic deep lake / Xie Guijuan, Sun Chuanbo, Luo Wenlei [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. – 2024. – Vol. 90. – P. 1–20.
19. Golovaneva, A. E. Microbiological transformation of nitrogen in Lake Khalaktyisky (Kamchatka Territory) / A. E. Golovaneva, N. A. Stupnikova. – DOI: 10.23670/IRJ.2020.96.6.045 // International Scientific Research Journal. – 2020. – № 6 (96). – P. 38–44.

20. Morozova, O. V. Microbial communities of water and bottom sediments of Bolshoe Goluboe Lake (Republic of Tatarstan) / O. V. Morozova, R. P. Tokinova, D. S. Lyubarsky. – DOI: 10.24852/2411-7374.2022.3.13.20 // Russian Journal of Applied Ecology. – 2022. – № 3. – P. 12–19.
21. Summer zooplankton of Lake Vishtynetsky as a feeding base for European grouse during the feeding season / E. V. Krivopuskova, M. N. Shibaeva // Proceedings of the VIII International Baltic Maritime Forum on October 5–10, 2020: in 6 vol. Vol. 3. Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of reservoirs. – Kaliningrad: Publishing House of the BFFSA KSTU, 2020. – P. 79–83.
22. Mychkova, A. V. Zooplankton of the coastal part of Lake Vishtynetsky in winter and its role in the nutrition of the European grouse (*Coregonus albula*) / A. V. Mychkova, E. V. Krivopuskova, M. N. Shibaeva – DOI: 10.46845/1997-3071-2025-771-26-39 // Bulletin of Youth Science. – 2017. – P. 1–5.
23. Masyutkina, E. A. Assessment of the ecological state of Lake Vishtynetskoe using various hydrobiological indices / E. A. Masyutkina // Bulletin of the Baltic Federal University named after I. Kant. – 2014. – issue 7. – P. 66–76.
24. Shibaeva, M. N. Assessment of the ecological state of the coastal part of Lake Vishtynetskoe by hydrobiological indicators / M. N. Shibaeva, E. V. Krivopuskova // Proceedings of the VII International Baltic Maritime Forum on October 7–12, 2019: in 6 vol. Vol. 3. Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of reservoirs. – Kaliningrad: Publishing House of the BFFSA KSTU, 2019. – P. 306–311.
25. Moiseeva, A. I. Bacterioplankton of some reservoirs of the Kaliningrad region (Lake Vishtynetskoe, Lake Chaika) in the summer season of 2022–2023 / A. I. Moiseeva, E. V. Avdeeva // Proceedings of the VII International Baltic Marine Forum on October 7–12, 2024: in 6 vol. Vol. 3. Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of reservoirs. – Kaliningrad: Publishing House of the BFFSA KSTU, 2019. – P. 306–311.
26. Kuznetsov, S. I. Methods of studying aquatic microorganisms / S. I. Kuznetsov, G. A. Dubinina. – Moscow: Nauka Publ., 1989. – 288 p. – ISBN 5-02-004020-7.
27. Practicum on microbiology / edited by N. S. Egorov. – Moscow, 1976. – 307 p.
28. The determinant of Bergey bacteria / edited by J. Hoult, N. Krieg, P. Sneath, J. Staley, S. Williams. – Moscow: Mir Publ., 1997. – Vol. 1. – 432 p. – ISBN 5-03-003111-1.
29. The determinant of Bergey bacteria / edited by J. Hoult, N. Krieg, P. Sneath, J. Staley, S. Williams. – Moscow: Mir Publ., 1997. – Vol. 2. – 368 p. – ISBN 5-03-003111-1.
30. A brief definition of Bergey bacteria / edited by J. Hoult. – Moscow: Mir Publ., 1980. – 495 p.
31. GOST 17.1.2.04-77. Nature Protection. Hydrosphere. Indicators of the State and Rules of Taxation of Fishery Water Objects // Collection of State Standards. – Moscow: House of Standards Publ., 2000. – 62 p.

Информация об авторе

А. И. Моисеева – аспирант кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

Information about the author

A. I. Moiseeva – Postgraduate student of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

Статья поступила в редакцию 11.07.2025; одобрена после рецензирования 23.07.2025; принята к публикации 01.08.2025.

The article was submitted 11.07.2025; approved after reviewing 23.07.2025; accepted for publication 01.08.2025.