

УДК 579.68

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ КАЗАНКИ ПО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

**О. В. Морозова**

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан  
(ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия, 420089)*

Проведена микробиологическая оценка качества воды в устьевой области реки Казанки (Республика Татарстан) в летний период 2021 года. Определяли общую численность бактериопланктона, сапрофитных, олиготрофных, денитрифицирующих и нитрифицирующих бактерий. Вода по всем показателям оценивается как «слабозагрязненная» и «загрязненная», т. е. II-III класса качества. Высокие значения общей численности бактериопланктона сохраняются в течение всего периода исследований. В июне число олиготрофных бактерий превышает численность сапрофитных в составе бактериопланктона, а к концу лета уже преобладают сапрофитные бактерии, что свидетельствует о загрязнении водного объекта и накоплении органического вещества. Экосистема устьевой области реки характеризуется более высокой численностью нитрифицирующих бактерий по сравнению с денитрифицирующими, что свидетельствует об активном процессе минерализации аммонийного азота.

Ключевые слова: бактериопланктон; сапрофитные бактерии; олиготрофные бактерии; нитрифицирующие бактерии; денитрифицирующие бактерии; река Казанка; устьевая область

Для цитирования: Морозова О. В. Оценка качества воды устьевой области реки Казанки по микробиологическим показателям // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 6. С. 97–106. doi: 10.17076/lim1761

### **O. V. Morozova. ASSESSMENT OF THE KAZANKA RIVER MOUTH WATER QUALITY BY MICROBIOLOGICAL INDICATORS**

*Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use, Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia (28 Daur'skaya St., 420089 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia)*

Microbiological assessment of the water quality in the mouth of the Kazanka River (Tatarstan Republic) was carried out in the summer of 2021. The total numbers of bacterioplankton, saprophytic, oligotrophic, denitrifying and nitrifying bacteria were determined. The water is classified as "slightly polluted" and "polluted", i. e. quality class II-III, by all indicators. Bacterioplankton remained highly abundant throughout the study period. In June, oligotrophic bacteria outnumbered saprophytic ones, but in the end of the summer, saprophytic bacteria turned into the dominant group, pointing to water pollution and organic matter accumulation. Nitrifying bacteria were more abundant than denitrifying bacteria in the river mouth ecosystem, which indicates an active ammonium nitrogen mineralization process.

Keywords: bacterioplankton; saprophytic bacteria; oligotrophic bacteria; nitrifying bacteria; denitrifying bacteria; Kazanka River; mouth section

For citation: Morozova O. V. Assessment of the Kazanka River mouth water quality by microbiological indicators. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 6. P. 97–106. doi: 10.17076/lim1761

## Введение

Водные ресурсы Республики Татарстан включают запасы воды в реках, озерах, прудах и водохранилищах, а также верхние горизонты пресных подземных вод. Малые реки являются важным компонентом природного комплекса и в то же время объектом хозяйственной деятельности. Следует отметить, что в последние десятилетия антропогенная нагрузка на малые реки республики интенсивно возрастала.

Река Казанка – один из притоков Волги, относится к малым рекам, ее длина 142 км и водосборная площадь 2600 км<sup>2</sup>. Устьевая область р. Казанки расположена в черте г. Казани, в зоне подпора водами Куйбышевского водохранилища (р. Волга). Как любой водный объект, расположенный в центре мегаполиса, р. Казанка испытывает сильную антропогенную нагрузку [Абрамова, Токинова, 2020, 2023]. Устьевая область реки подвержена загрязнению сбросами сточных вод нескольких крупных промышленных предприятий, диффузным стоком с сельскохозяйственных угодий и животноводческих комплексов, а также сточными водами городской ливневой канализации.

Река Казанка пополняет Куйбышевское водохранилище, являющееся крупнейшим в мире. Водоохранилище осуществляет сезонное, недельное и суточное регулирование стока Волги, широко применяется для потребностей энергетики, сельского хозяйства, транспорта, коммунального и промышленного водоснабжения, рекреации и т. д. Куйбышевское водохранилище также является крупнейшим техногенным водным объектом, принимает сточные воды от крупных городов и промышленных предприятий. Предприятия города вносят вклад в увеличение концентраций аммония и нитритов, металлов и органических веществ [Шагидуллин и др., 2011].

Значительная часть экологических исследований р. Казанки затрагивала изучение ее гидрохимического режима и различных гидробиологических показателей. Известно, что экологическое состояние исследуемого участка характеризуется низким качеством воды, на протяжении последних лет наблюдается цветение цианобактерий, что ведет к снижению экс-

плуатационно-хозяйственной и рекреационной ценности водного объекта [Шагидуллин и др., 2017; Абрамова, Токинова, 2020; Абрамова и др., 2021].

Планктонные микроорганизмы играют главную роль в деструкции органического вещества и в самоочищении гидросистемы. Загрязнение поверхностных вод быстро влияет на состояние планктонных микробных сообществ, поэтому особенности их развития являются важными показателями для оценки трофности и степени загрязненности водоемов [Копылов, Косолапов, 2011; РД 52.24.309-2016; Adamovich et al., 2019].

Первые микробиологические исследования устьевой области реки Казанки проведены в летний период 2020 г. Анализировалось экологическое состояние этого участка реки на основании подсчета общей численности планктонных и бентосных бактерий [Морозова и др., 2021].

Ввиду слабой изученности микробных сообществ р. Казанки и важности данной группы для комплексной оценки экосистемы реки целью исследования является оценка качества воды устьевой области р. Казанки по показателям бактериопланктона в летний период. Для этого решались следующие задачи: установить показатели общей численности бактериопланктона и отдельных эколого-трофических групп водных микроорганизмов.

Актуальность исследования также определяется влиянием устьевой области реки Казанки на формирование биоценоза, качество воды и гидрологический режим Куйбышевского водохранилища. Результаты исследований важны для проведения комплексной оценки состояния водных ресурсов региона и могут найти применение при планировании природоохранных мероприятий по улучшению экологического состояния городских водных объектов.

## Материалы и методы

Территория Татарстана характеризуется умеренно-континентальным типом климата средних широт, с теплым летом и умеренно-холодной зимой. По причине удаленности от морских и океанических течений, ослабления

западного переноса воздушных масс и усиления континентальности климата на территории Республики Татарстан наблюдается удлинение зимы, сокращение продолжительности периодов межсезонья и увеличение количества дней с заморозками в конце весны и начале осени [Сидоров и др., 2013].

Вода р. Казанки характеризуется нейтральной реакцией среды, повышенной жесткостью, тип воды – сульфатный, из катионов преобладает кальций. Вклад в повышение фонового уровня вносят сульфаты природного происхождения, источником которых служат минерализованные сульфатно-кальциевые подземные воды бассейна [Шагидуллин и др., 2017].

Исследования проводились в устьевой области р. Казанки, находящейся в черте г. Казани. Отбор проб выполнялся ежемесячно с июня по август 2021 года на пяти станциях в верхней части устьевой области реки на участке протяженностью примерно 3 км (рис. 1).

Пробы воды для микробиологического анализа отбирались с глубины 10 см в стерильные стеклянные бутылки объемом 1000 мл [ГОСТ 31942-2012]. Для подсчета общего количества бактерий, когда не нужно было проводить микробиологический посев на питательные среды, в емкости с пробами вносили формалин. Эколого-трофические группы микроорганизмов определяли путем посева проб воды на селективные питательные среды.

Общее количество бактериопланктона определяли методом прямого счета клеток на мембранных фильтрах Владипор (Россия) с размером пор 0,2 мкм, окрашенных толуидиновым синим, с применением масляной иммерсии при увеличении микроскопа 1350x [Кузнецов, Дубинина, 1989; Morozova et al., 2012].

Считали количество палочковидных и кокковых форм, средний объем клеток и на основе этих данных рассчитывали биомассу [Кузнецов, Дубинина, 1989].

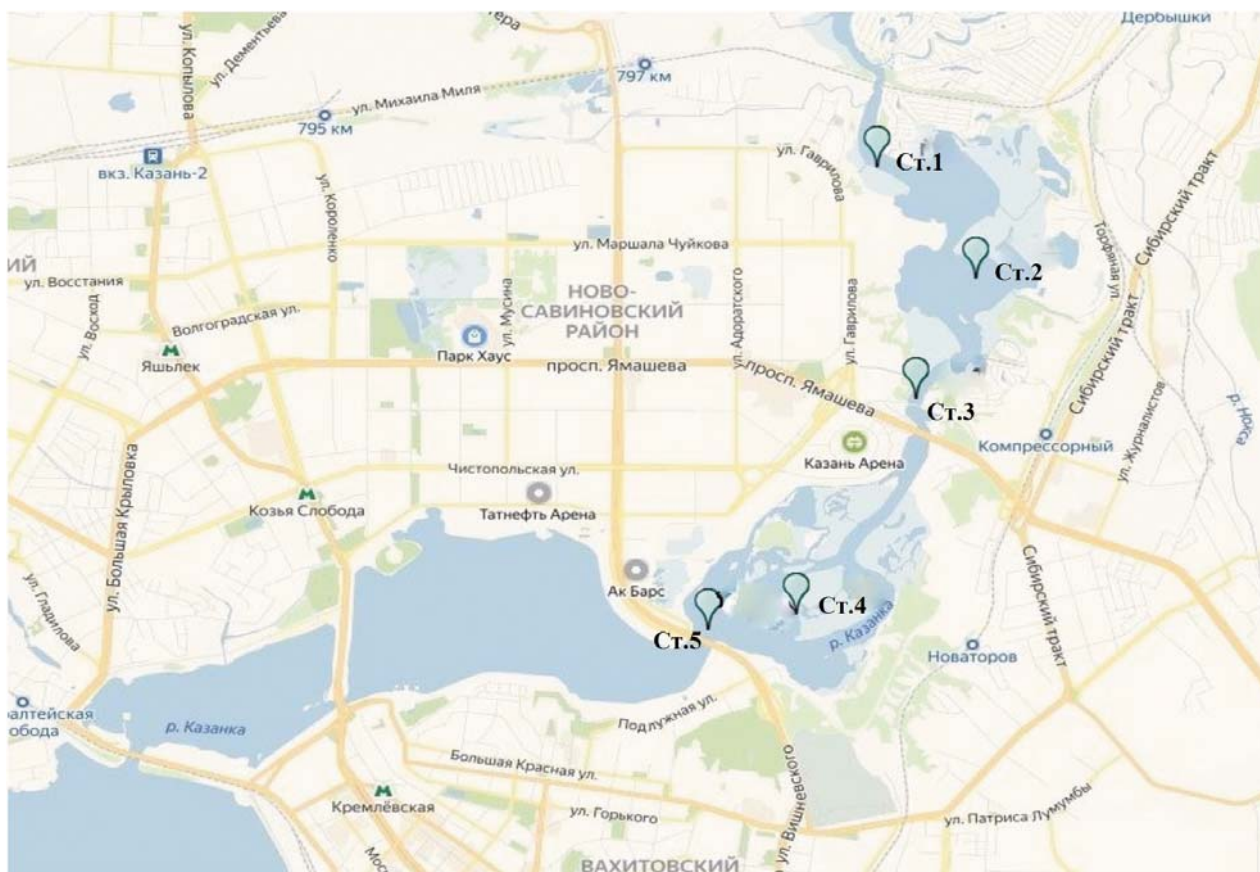


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб (1–5) в устьевой области р. Казанки: Ст. 1 – в районе выпуска ливневых вод с ул. Гаврилова, Ст. 2 – озеровидное расширение реки, Ст. 3 – вблизи третьей транспортной дамбы, Ст. 4 – среди островков в районе урочища Русско-Немецкая Швейцария, Ст. 5 – у моста Миллениум

Fig 1. The layout of sampling stations (1–5) in the Kazanka River mouth: St. 1 – in the area of the discharge of stormwater from Gavrilova St., St. 2 – lake-like expansion of the river, St. 3 – near the third transport dam, St. 4 – among the islands in the area of the 'Russian-German Switzerland' tract, St. 5 – near the Millennium Bridge

Определяли общую численность бактерий, соотношение общей численности бактерий и количества сапрофитных бактерий, численность сапрофитных, олиготрофных, денитрифицирующих и нитрифицирующих бактерий, индекс трофности как соотношение количества олиготрофных и сапрофитных бактерий.

Для определения олиготрофных бактерий использовали среду Горбенко, для учета сапрофитных бактерий – среду МПА [Кузнецов, Дубинина, 1989].

Класс качества воды определяли согласно классификатору качества вод Росгидромета [РД 52.24.309-2016].

Для выявления нитрифицирующих бактерий использовали жидкую среду Виноградского [Колешко, 1981]. По мере роста культур проводили химические реакции с использованием реактива Грисса на образование аммиака и азотистой кислоты. Для определения денитрифицирующих бактерий использовали среду Гильтая, рН 7. Устанавливали рН по индикатору бромтимоловому синему [Кузнецов, Дубинина, 1989]. В процессе роста денитрифицирующих бактерий происходило восстановление нитратов и образование азота. О наличии денитрифицирующих бактерий судили по окрашиванию среды в синий цвет в результате подщелачивания и образованию пузырьков газа и пленки на поверхности среды.

Количественное определение нитрифицирующих и денитрифицирующих бактерий про-

водили с помощью таблицы Мак-Креди [Колешко, 1981].

Практические методы, используемые в работе, применяются при проведении микробиологических исследований также за рубежом [Bertoni et al., 2008; Naque et al., 2019].

Микробиологические исследования проб делали в трех повторностях. Посев на питательные среды проводили из двух соседних разведений. Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 6.0.

## Результаты и обсуждение

За период исследования летом 2021 года установлено, что общая численность бактериопланктона либо практически не изменялась, либо постепенно увеличивалась к августу (рис. 2).

Численность бактериопланктона была высокой в пробах воды со станций 1 и 2. Вода, согласно классификатору Росгидромета, оценивалась как «загрязненная» (III класс качества) в течение всего лета. На станциях, расположенных ниже по течению, вода по общей численности бактериопланктона оценивалась в начале лета как «слабозагрязненная» (II класс качества), но к концу лета количество бактериопланктона постепенно увеличивалось. Вода характеризовалась уже как «загрязненная» (III класс качества).

В августе, когда стоит жаркая погода, вода хорошо прогревается, наблюдается интенсивное цветение воды, повышается концентрация

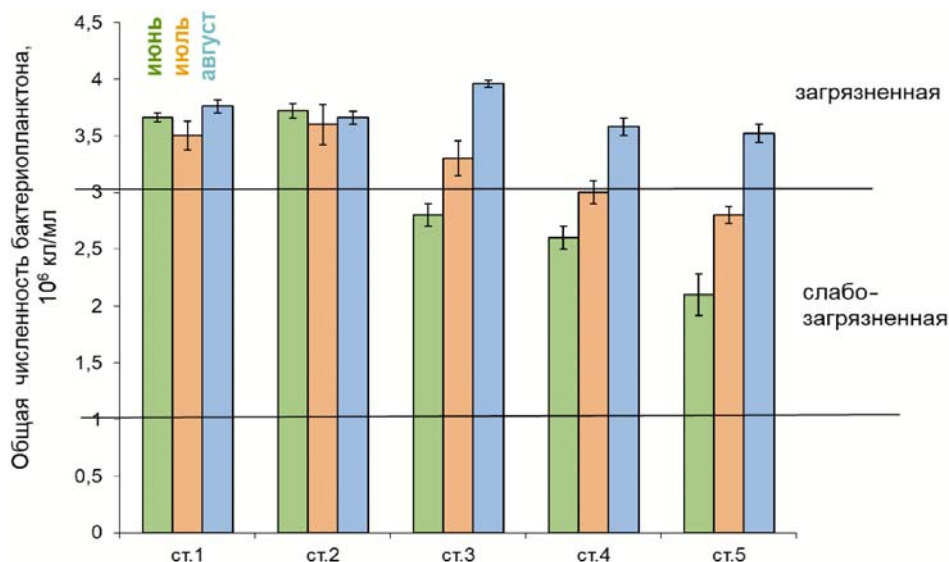


Рис. 2. Качество воды устьевой области р. Казанки по общей численности бактериопланктона

Fig. 2. Water quality in the Kazanka River mouth region by the bacterioplankton total number

питательных веществ, и все это способствует увеличению численности бактериопланктона – важного показателя загрязненности воды. Как правило, в летние месяцы численность бактериопланктона в водных объектах максимальна. Повышенная летняя температура часто оказывается фактором окружающей среды, наиболее влияющим на сезонную численность бактерий [Schultz et al., 2003; Yu et al., 2019].

Вода изучаемого участка реки по общей численности бактериопланктона оценивалась как «слабозагрязненная» – «загрязненная» (II-III класс качества).

Следует отметить, что численность бактериопланктона в устьевой части р. Казанки в 2021 г. в течение всего периода исследований была выше, чем в 2020 г., когда вода по данному показателю характеризовалась как «слабозагрязненная» (II класс качества) [Морозова и др., 2021]. Это небольшое снижение качества воды может быть связано с более жаркой погодой по сравнению с аналогичным периодом 2020 г.: летом 2020 г. средняя температура воздуха была 22 °С, а летом 2021 г. – 25 °С.

Известно, что численность и продуктивность бактериопланктона увеличивается в более жаркие летние периоды в связи с повышением температуры воды, эвтрофикацией и загрязнением водоемов. Потепление оказывает сильное влияние на микробные сообщества водных экосистем [Gu et al., 2020; Abirami et al., 2021]. Так, значительное увеличение численности, биомассы и продукции бактериопланктона с начала 1990-х годов в Горь-

ковском водохранилище связывают в первую очередь с повышением средней летней температуры [Korylov et al., 2020].

Обнаружена отрицательная корреляционная зависимость между температурой воды и численностью олиготрофных бактерий ( $r = -0,69$ ;  $p < 0,01$ ). Олиготрофные бактерии предпочитают водоемы с низким содержанием питательных веществ. При хорошем прогреве воды усиливаются процессы цветения, в частности цианобактерий, соответственно, повышается содержание в воде органического вещества [Абрамова, Токинова, 2023].

Отсутствие корреляции между температурой воды и воздуха и различными эколого-трофическими группами вполне закономерно, так как на развитие микробных сообществ может оказывать влияние множество других факторов, таких как концентрации биогенных элементов, продукция фитопланктона и др.

Возрастание биомассы бактериопланктона определялось увеличением его численности (рис. 3). На тех станциях, где общая численность бактериопланктона оставалась без изменений, биомасса также не менялась. Там, где общая численность бактериопланктона возрастала, показатели биомассы увеличивались. Значения биомассы бактериопланктона в среднем также были немного выше, чем в 2020 году [Морозова и др., 2021].

По количеству сапрофитов вода характеризовалась как «слабозагрязненная» и «загрязненная» (II-III класс качества) в июне и в августе, только в июле она оценивалась

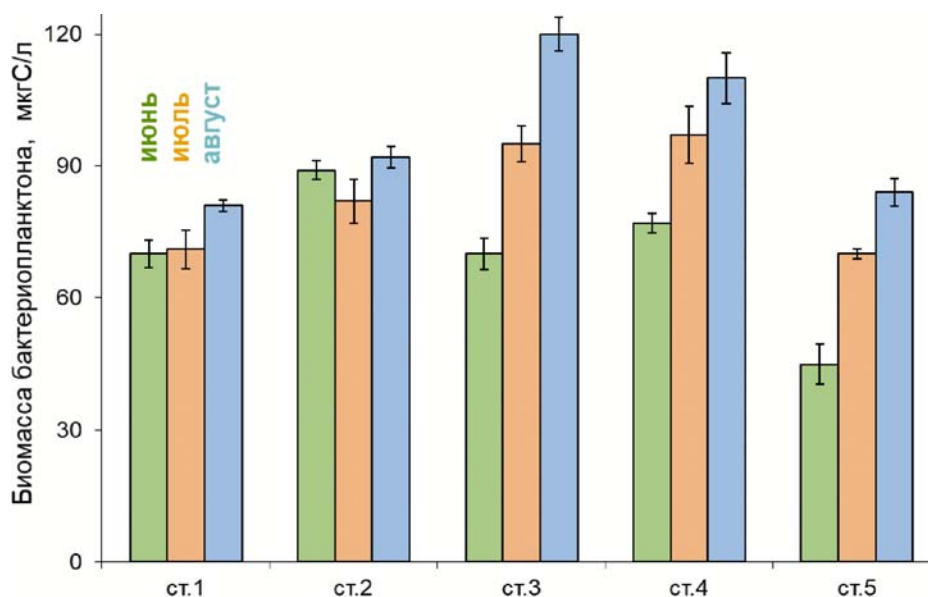


Рис. 3. Биомасса бактериопланктона устьевой области р. Казанки

Fig. 3. Biomass of bacterioplankton in the mouth region of the Kazanka River

как «условно чистая» и «слабозагрязненная» (I-II класс качества) (рис. 4).

По соотношению общего количества бактериопланктона и сапрофитных бактерий воду в течение всего периода наблюдений можно оценить как «слабозагрязненную» и «загрязненную» (II-III класс качества). Следует отметить, что в июле на станциях 4 и 5 качество воды было более высоким по сравнению с другими станциями (рис. 5).

То есть по всем микробиологическим показателям вода соответствовала уровням «слабозагрязненная» и «загрязненная» (II и III классы качества) согласно классификатору Росгидромета.

В июне отмечался заметный пик численности сапрофитных и олиготрофных бактерий. Их высокие значения были связаны с началом отмирания весенних форм фитопланктона после цветения, увеличением поступления аллохтонных веществ и микроорганизмов с паводком и по-

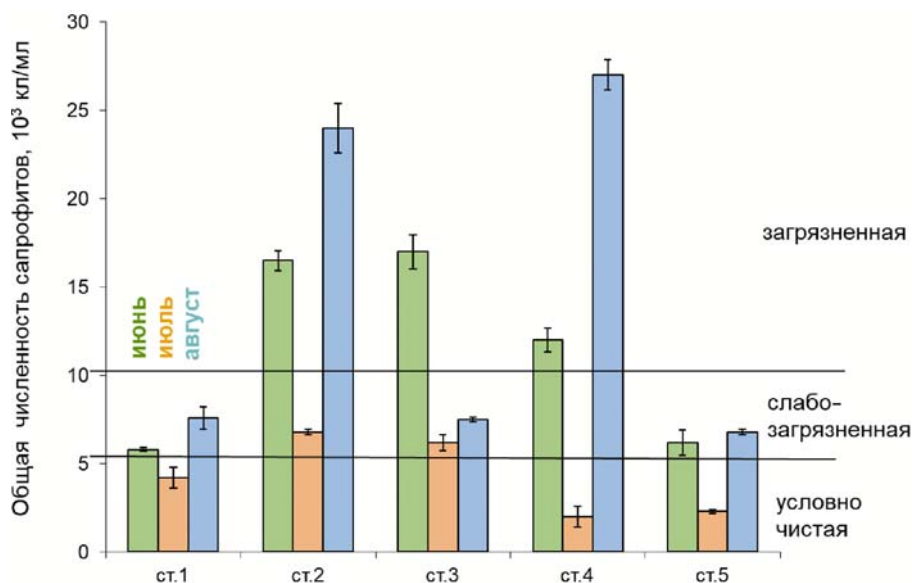


Рис. 4. Качество воды устьевой области р. Казанки по численности сапрофитов  
Fig. 4. Water quality in the Kazanka River mouth region by the saprophytes number

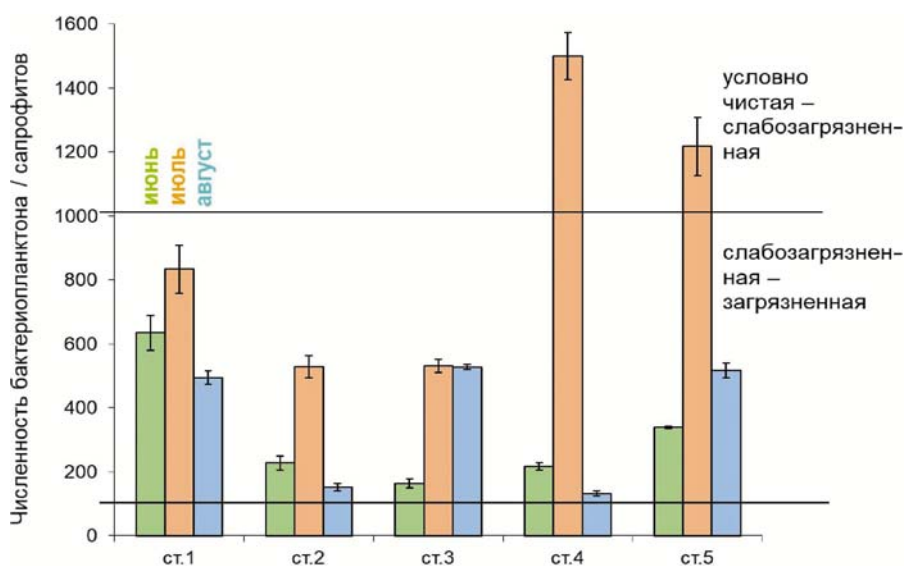


Рис. 5. Качество воды устьевой области р. Казанки по соотношению общей численности бактериопланктона и сапрофитов

Fig. 5. Water quality in the Kazanka River mouth region by the ratio of bacterioplankton total number to saprophytes number

вышенной активностью микробных сообществ, участвующих в процессе самоочищения. Тогда же при высокой численности сапрофитов и олиготрофов наблюдались высокие значения индексов трофности (табл. 1; рис. 4), что говорит о способности водного объекта к самоочищению, о сбалансированности бактериальных процессов минерализации органического вещества.

В июле происходило резкое снижение численности олиготрофных бактерий, количество сапрофитных также уменьшалось. В июле и в большей степени в августе индекс трофности

падал до значений ниже единицы, что свидетельствует о загрязнении экосистемы водного объекта легкоминерализуемым органическим веществом [Романенко, Кузнецов, 1974].

Численность денитрифицирующих бактерий в гидрозкосистеме устьевой области р. Казанки была высокой только в начале лета, затем снижалась на 1-2 порядка, а численность нитрифицирующих – напротив, оставалась высокой все лето, и в течение всего периода наблюдений нитрифицирующие бактерии численно преобладали над денитрифицирующими (табл. 2).

Таблица 1. Численность олиготрофных бактерий, индекс трофности в устьевой области р. Казанки

Table 1. Oligotrophic bacteria number, trophic index in water samples from the Kazanka River mouth

Месяц Month	Ст. 1 St. 1	Ст. 2 St. 2	Ст. 3 St. 3	Ст. 4 St. 4	Ст. 5 St. 5
Олиготрофные бактерии, тыс. кл/мл Oligotrophic bacteria, thousands of cells/ml					
Июнь June	59,04 ± 1,17	98,1 ± 5,22	92 ± 1,76	94,2 ± 0,83	81,04 ± 2,70
Июль July	3,51 ± 0,20	6,31 ± 0,08	4 ± 0,31	2 ± 0,2	2,14 ± 0,09
Август August	4,02 ± 0,04	2,44 ± 0,01	0,94 ± 0,03	1,92 ± 0,05	1,64 ± 0,04
Индекс трофности Trophic index					
Июнь June	10,17 ± 0,22	5,91 ± 0,12	5,41 ± 0,23	7,83 ± 0,66	13,06 ± 1,2
Июль July	1,09 ± 0,12	0,92 ± 0,03	0,8 ± 0,02	1,21 ± 0,07	0,87 ± 0,01
Август August	0,52 ± 0,01	0,1 ± 0,02	0,12 ± 0,00	0,07 ± 0,00	0,23 ± 0,04

Таблица 2. Численность планктонных микроорганизмов цикла азота в устьевой области р. Казанки

Table 2. The number of planktonic microorganisms of the nitrogen cycle in the Kazanka River mouth

Месяц Month	Ст. 1 St. 1	Ст. 2 St. 2	Ст. 3 St. 3	Ст. 4 St. 4	Ст. 5 St. 5
Денитрифицирующие бактерии*, тыс. кл/мл Denitrifying bacteria*, thousands of cells/ml					
Июнь June	2,50	0,60	7,00	0,60	1,10
Июль July	0,25	0,02	0,06	0,02	0,50
Август August	0,25	0,60	0,02	0,25	0,60
Нитрифицирующие бактерии*, тыс. кл/мл Nitrifying bacteria*, thousands of cells/ml					
Июнь June	4,00	4,00	4,50	4,50	2,50
Июль July	2,50	2,50	0,60	0,60	2,50
Август August	2,50	1,30	2,50	2,50	2,50

Примечание. \*Наиболее вероятное число микроорганизмов.

Note. \*The most probable number of microorganisms.

Высокая численность нитрифицирующих бактерий в воде свидетельствует о насыщенности воды кислородом, а также окислении значительного количества аммония, поступающего как из водной среды, так и из донных отложений. При низкой численности нитрифицирующих бактерий аммоний накапливается в природной воде [Сахно, Трифонова, 2007; Голованева, Ступникова, 2020]. Очень низкие количества денитрифицирующих бактерий в пробах воды на некоторых станциях в июле и августе служат индикаторами низкой активности процессов денитрификации, что может привести к нарушению процессов минерализации азота и к накоплению нитратов в воде.

## Заключение

По индикаторным показателям общей численности бактериопланктона и сапрофитных бактерий, а также по соотношению общего количества бактерий и сапрофитов вода исследуемого участка реки в течение всего лета характеризовалась как «слабозагрязненная» – «загрязненная», II-III класса качества согласно классификации качества воды Росгидромета [РД 52.24.309-2016].

Численность бактериопланктона в 2021 году, достаточно высокая в течение всего летнего периода, на некоторых станциях постепенно увеличивалась к августу, что связано с высокими летними температурами в августе, цветением фитопланктона, длительной летней рекреационной нагрузкой (купальный сезон и т. д.).

Количество сапрофитных и олиготрофных бактерий было высоким в начале лета, после отмирания весенних форм фитопланктона. При этом количество олиготрофных бактерий значительно превышало число сапрофитных, что свидетельствует о высокой активности микробных сообществ, участвующих в процессе самоочищения гидроэкосистемы. К концу лета уже сапрофитные бактерии численно преобладали над олиготрофными, что указывало на увеличение концентрации легкоминерализуемого органического вещества.

Высокая численность бактерий цикла азота свидетельствовала об активной минерализации аммонийного азота. Численность нитрифицирующих бактерий превышала количество денитрифицирующих в течение всего периода исследований, что свидетельствует о преобладании процессов нитрификации, а также о наличии достаточных концентраций растворенного кислорода, нитритного и нитратного азота в водах устьевой области реки. В то же время на некоторых станциях наблюдаются признаки

незавершенности минерализации азота, что может привести к накоплению нитратов в воде и ухудшению ее качества.

Дальнейшие наблюдения за особенностями развития бактериопланктона устьевой области реки Казанки помогут установить факторы, влияющие на изменения численности микробных сообществ, определить активность водных микроорганизмов в круговороте биогенных элементов и процессе самоочищения.

## Литература

- Абрамова К. И., Токинова Р. П. Межгодовая динамика летнего фитопланктона в устьевой области реки Казанки (г. Казань) // Самарская Лука: проблемы локальной и глобальной экологии. 2020. Т. 29, № 3. С. 89–94. doi: 10.24411/2073-1035-2020-10336
- Абрамова К. И., Токинова Р. П., Водунов Н. Р., Шагидуллин Р. Р., Шурмина Н. В. Анализ корреляционной связи между развитием фитопланктона и кислородным режимом устьевой области реки // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 5. С. 20–31. doi: 10.17076/esc1391
- Абрамова К. И., Токинова Р. П. Пространственное распределение цианобактерий в фитопланктоне реки Казанка // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 1. С. 21–27. doi: 10.24852/2411-7374.2023.1.21.27
- ГОСТ 31942-2012. Вода. Отбор проб для микробиологического анализа. М.: Стандартинформ, 2013. 28 с.
- Голованева А. Е., Ступникова Н. А. Микробиологическая трансформация азота в озере Халактыском (Камчатский край) // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 6(96). С. 38–44. doi: 10.23670/IRJ.2020.96.6.045
- Колешко О. И. Экология микроорганизмов почвы: Лабораторный практикум. Минск: Высш. шк., 1981. 176 с.
- Копылов А. И., Косолапов Д. Б. Микробная «петля» в планктонных сообществах морских и пресноводных экосистем. Ижевск: КнигоГрад, 2011. 332 с.
- Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.
- Морозова О. В., Токинова Р. П., Шурмина Н. В., Водунов Н. Р. Оценка экологического состояния устьевой области р. Казанка по количественным показателям микробных сообществ // Российский журнал прикладной экологии. 2021. № 2. С. 41–46. doi: 10.24852/2411-7374.2021.2.41.46
- РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши.
- Романенко В. И., Кузнецов С. И. Экология микроорганизмов пресных вод. Лабораторное руководство. М.: Наука, 1974. 194 с.
- Сахно О. Н., Трифонова Т. А. Экология микроорганизмов: учеб. пособие. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. 64 с.
- Сидоров В. П., Рубцов В. А., Шабалина С. А., Булатова Г. Н. Природно-рекреационный потенциал



Республики Татарстан // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2013. № 3. С. 152–161.

Шагидуллин Р. Р., Латыпова В. З., Никитин О. В., Яковлева О. Г. Оценка техногенной нагрузки сточных вод предприятий на Куйбышевское водохранилище // Георесурсы. 2011. № 2(38). С. 24–27.

Шагидуллин Р. Р., Иванов Д. В., Горшкова А. Т., Урбанова О. Н., Мустафина Л. К., Шурмина Н. В., Абдуллина Ф. М., Богданова О. А., Токинова Р. П., Абрамова К. И., Валиев В. С., Зиганшин И. И., Шамаев Д. Е., Хасанов Р. Р. Качество воды в реке Казанка: теоремы и аксиомы // Чистая вода. Казань: Мат-лы докл. VIII Специализ. выставки и конгр. (Казань, 30 нояб. – 1 дек. 2017 г.). Казань: Новое знание, 2017. С. 258–262.

Abirami B., Radhakrishnan M., Kumaran S., Wilson A. Impacts of global warming on marine microbial communities // *Sci. Total Environ.* 2021. Vol. 791. P. 147905. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147905

Adamovich B. V., Medvinsky A. B., Nikitina L. V., Radchikova N. P., Mikheeva T. M., Kovalevskaya R. Z., Veres Yu. K., Chakraborty A., Rusakov A. V., Nurieva N. I., Zhukova T. V. Relations between variations in the lake bacterioplankton abundance and the lake trophic state: Evidence from the 20-year monitoring // *Ecological Indicators.* 2019. Vol. 97. P. 120–129. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.09.049.

Bertoni R., Callieri C., Balseiro E., Modenutti B. Susceptibility of bacterioplankton to nutrient enrichment of oligotrophic and ultraoligotrophic lake waters // *J. Limnol.* 2008. Vol. 67, no. 2. P. 120–127. doi: 10.4081/jlimnol.2008.120

Gu B., Lee C., Ma X., Tan Y., Liu H., Xia X. Effect of warming on growth, grazing, and community composition of free-living bacterioplankton in subtropical coastal waters during winter and summer // *Front. Microbiol.* 2020. Vol. 11. P. 534404. doi: 10.3389/fmicb.2020.534404

Haque M. A., Jewel M. A. S., Sultana M. P. Assessment of physicochemical and bacteriological parameters in surface water of Padma River, Bangladesh // *Appl. Water Sci.* 2019. Vol. 9. P. 1–8. doi: 10.1007/s13201-018-0885-5

Kopylov A. I., Kosolapov D. B., Mikryakova I. S. Long-term dynamics of heterotrophic bacterioplankton in a large eutrophic reservoir // *Inland Water Biology.* 2020. Vol. 13. P. 585–591. doi: 10.1134/S1995082920040045

Morozova O. V., Ratushnyak A. A., Trushin M. V. Participation of planktonic and benthic bacteria in the polyphosphate-accumulating process in mesocosms contaminated with phosphate and nitrate // *World Applied Science Journal.* 2012. Vol. 19, no. 1. P. 12–19. doi: 10.5829/idosi.wasj.2012.19.01.64182.

Schultz Jr G. E., White III E. D., Ducklow H. W. Bacterioplankton dynamics in the York River estuary: primary influence of temperature and freshwater inputs // *Aquat. Microb. Ecol.* 2003. Vol. 30, no. 2. P. 135–148. doi: 10.3354/ame030135

Yu S., He R., Song A., Huang Y., Jin Z., Liang Y., Li Q., Wang X., Muller W. E. G., Cao J. Spatial and temporal dynamics of bacterioplankton community composition in a subtropical dammed karst river of southwestern China // *Microbiology Open.* 2019. Vol. 8, no. 9. P. e00849. doi: 10.1002/mbo3.849

## References

Abirami B., Radhakrishnan M., Kumaran S., Wilson A. Impacts of global warming on marine microbial communities. *Sci. Total Environ.* 2021;791:147905. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147905

Abramova K. I., Tokinova R. P. Interannual dynamics of summer phytoplankton in the mouth region of the Kazanka River (Kazan). *Samarskaya Luka: problemy lokal'noi i global'noi ekologii = Samarsky Luka: Problems of Regional and Global Ecology.* 2020;29(3): 89–94. doi: 10.24411/2073-1035-2020-10336 (In Russ.)

Abramova K. I., Tokinova R. P. Spatial distribution of cyanobacteria in the phytoplankton of the Kazanka River. *Russian Journal of Applied Ecology.* 2023;1:21–27. doi: 10.24852/2411-7374.2023.1.21.27 (In Russ.)

Abramova K. I., Tokinova R. P., Vodunon N. R., Shagidullin R. R., Shurmina N. V. Analysis of correlation between phytoplankton and oxygen regime in river mouth area. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS.* 2021;5:21–30. doi: 10.17076/eco1391 (In Russ.)

Adamovich B. V., Medvinsky A. B., Nikitina L. V., Radchikova N. P., Mikheeva T. M., Kovalevskaya R. Z., Veres Yu. K., Chakraborty A., Rusakov A. V., Nurieva N. I., Zhukova T. V. Relations between variations in the lake bacterioplankton abundance and the lake trophic state: Evidence from the 20-year monitoring. *Ecological Indicators.* 2019;97:120–129. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.09.049

Bertoni R., Callieri C., Balseiro E., Modenutti B. Susceptibility of bacterioplankton to nutrient enrichment of oligotrophic and ultraoligotrophic lake waters. *J. Limnol.* 2008;67(2):120–127. doi: 10.4081/jlimnol.2008.120

Golovaneva A. E., Stupnikova N. A. Microbiological transformation of nitrogen in Lake Halaktyisky (Kamchatka Krai). *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal.* 2020;6(96):38–44. doi: 10.23670/IRJ.2020.96.6.045 (In Russ.)

GOST 31942-2012. Water. Sampling for microbiological analysis. Moscow: Standartinform; 2013. 28 p. (In Russ.)

Gu B., Lee C., Ma X., Tan Y., Liu H., Xia X. Effect of warming on growth, grazing, and community composition of free-living bacterioplankton in subtropical coastal waters during winter and summer. *Front. Microbiol.* 2020;11:534404. doi: 10.3389/fmicb.2020.534404

Haque M. A., Jewel M. A. S., Sultana M. P. Assessment of physicochemical and bacteriological parameters in surface water of Padma River, Bangladesh. *Appl. Water Sci.* 2019;9:1–8. doi: 10.1007/s13201-018-0885-5

Koleshko O. I. Ecology of microorganisms of soil: Laboratory practice. Minsk: Vyssh. shk.; 1981. 175 p. (In Russ.)

Kopylov A. I., Kosolapov D. B. The microbial loop in the planktonic communities of marine and freshwater ecosystems. Izhevsk: KnigoGrad; 2011. 332 p. (In Russ.)

Kopylov A. I., Kosolapov D. B., Mikryakova I. S. Long-term dynamics of heterotrophic bacterioplankton in a large eutrophic reservoir. *Inland Water Biology.* 2020;13:585–591. doi: 10.1134/S1995082920040045

Kuznetsov S. I., Dubinina G. A. Methods for studying water microorganisms. Moscow: Nauka; 1989. 288 p. (In Russ.)

Morozova O. V., Ratushnyak A. A., Trushin M. V. Participation of planktonic and benthic bacteria in the polyphosphate-accumulating process in mesocosms contaminated with phosphate and nitrate. *World Applied Science Journal*. 2012;19(1):12–19. doi: 10.5829/idosi.wasj.2012.19.01.64182

Morozova O. V., Tokinova R. P., Shurmina N. V., Vodunon N. R. Ecological assessment of the Kazanka River mouth area by quantitative indicators of microbial communities. *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii = Russian Journal of Applied Ecology*. 2021;2:41–46. doi: 10.24852/2411-7374.2021.2.41.46 (In Russ.)

RD 52.24.309-2016. Organization and conduct of regime observations of the state and pollution of surface land waters. (In Russ.)

Romanenko V. I., Kuznetsov S. I. Ecology of microorganisms of fresh waters. A laboratory manual. Moscow: Nauka; 1974. 194 p. (In Russ.)

Sakhno O. N., Trifonova T. A. Ecology of microorganisms: A textbook. Vladimir: Izd-vo Vladim. gos. un-ta; 2007. 64 p. (In Russ.)

Schultz Jr G. E., White III E. D., Ducklow H. W. Bacterioplankton dynamics in the York River estuary: primary influence of temperature and freshwater inputs.

*Aquat. Microb. Ecol.* 2003;30(2):135–148. doi: 10.3354/ame030135

Shagidullin R. R., Ivanov D. V., Gorshkova A. T., Urbanova O. N., Mustafina L. K., Shurmina N. V., Abdullina F. M., Bogdanova O. A., Tokinova R. P., Abramova K. I., Valiev V. S., Ziganshin I. I., Shamaev D. E., Khasanov R. R. Water quality in the Kazanka River: theorems and axioms. *Chistaya voda. Kazan': Sb. trudov VIII Specializ. vystavki i Kongressa = Pure water. Kazan: Abstracts of VIII Conference and Congress (Kazan, 30 Nov. – 1 Dec. 2017)*. Kazan': Novoe znanie; 2017. P. 258–262. (In Russ.)

Shagidullin R. R., Latypova V. Z., Nikitin O. V., Yakovleva O. G. The evaluation of technogenic load of enterprises wastewaters on Kuibyshev reservoir. *Georesursy = Georesources*. 2011;2(38):24–27. (In Russ.)

Sidorov V. P., Rubtsov V. A., Shabalina S. A., Bulatova G. N. Natural-recreational potential of Tatarstan. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle = Bulletin of Udmurt University. Ser. Biology. Earth Sciences*. 2013;3:152–161. (In Russ.)

Yu S., He R., Song A., Huang Y., Jin Z., Liang Y., Li Q., Wang X., Muller W. E. G., Cao J. Spatial and temporal dynamics of bacterioplankton community composition in a subtropical dammed karst river of southwestern China. *Microbiology Open*. 2019;8(9):e00849. doi: 10.1002/mbo3.849

Поступила в редакцию / received: 20.03.2023; принята к публикации / accepted: 31.05.2023.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Морозова Ольга Владимировна**

канд. биол. наук, старший научный сотрудник  
лаборатории гидробиологии

e-mail: oollgaa@mail.ru

#### CONTRIBUTOR:

**Morozova, Olga**

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher