

УДК 556 : 579.68

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАКТЕРИОБЕНТОСА ВДОЛЬ РУСЛОВОГО  
И ПРИБРЕЖНОГО ПРОФИЛЕЙ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

© 2024 Н.Г. Шерышева

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия

Статья поступила в редакцию 17.09.2024

Представлены результаты исследования пространственного распределения бактериобентоса в Воткинском водохранилище. Дана оценка численности и биомассы бактерий, размерно-морфологической структуры, выявлены особенности пространственного распределения бактериобентоса в русловом и прибрежном профилях донного ложа. Широтная зональность, гидролого-морфологические и морфометрические особенности Воткинского водохранилища определяют основные закономерности распределения донных отложений и бактериобентоса в водоеме. В соответствии с гидрологическими критериями выделены два района формирования разных типов донных отложений: песков и песчаных илов от плотины Камской ГЭС до г. Оса, и тонкодисперсных илов – от г. Оса до плотины Воткинской ГЭС. Определены факторы, оказывающие влияние на пространственное распределение бактериобентоса: гидролого-морфологическая и морфометрическая особенности водоема, типы донных отложений, гранулометрический состав, содержание органического вещества в грунтах. Выявлены две противоположные тенденции в пространственном распределении бактерий по донному ложу: 1 – увеличение численности бактерий вдоль руслового профиля от верховий водохранилища к нижнему участку, 2 – снижение численности бактерий вдоль прибрежного профиля в данном направлении. В соответствии с гидролого-морфологическим районированием в распределении бактерий в русловом профиле выделены три участка: I – верхний с минимальной численностью бактерий, II – центральный: градиент увеличения численности бактерий, III – нижний с наибольшей численностью бактерий. Тренд численности бактерий в прибрежном профиле отличался пилообразным характером и меньшими значениями количественных характеристик бактериобентоса. Общая численность бактериобентоса изменялась в пределах от  $0,8 \times 10^9$  кл/мл до  $4,1 \times 10^9$  кл/мл, биомасса – от 36 мг/кг до 580 мг/кг. В песках численность и биомасса бактерий меньше ( $N = 2,0 \pm 0,1 \times 10^9$  кл/мл,  $B = 144 \pm 22$  мг/кг) по сравнению с илами ( $N = 3,1 \pm 0,1 \times 10^9$  кл/мл,  $B = 276 \pm 34$  мг/кг).

*Ключевые слова:* донные отложения, бактериобентос, общая численность, биомасса, размерная и морфологическая структура, пространственное распределение, русло, прибрежье

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-5-165-173

EDN: XVXNMU

*Работа выполнена по теме фундаментальных исследований «Изменение, устойчивость и сохранение биологического разнообразия под воздействием глобальных изменений климата и интенсивной антропогенной нагрузки на экосистемы Волжского бассейна № 122032500063-0».*

**ВВЕДЕНИЕ**

Основная функция донного бактериального населения (бактериобентоса) в водных экосистемах – деструкция органического материала. В Воткинском водохранилище, испытывающим интенсивную техногенную нагрузку, бактериобентос приобретает особое значение в связи с его участием в разложении загрязняющих веществ, аккумулируемых донными отложениями.

Воткинское водохранилище – второе в Камском каскаде и отличается от Камского и Нижнекамского водохранилищ отсутствием озеровидных плесов. Оно представляет собой узкий

*Шерышева Наталья Григорьевна, кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник лаборатории гидробиологии. E-mail: sapfir-sherry@yandex.ru*

водоем, вытянутый с северо-востока на юго-запад от г. Перми до г. Чайковский, со значительной извилистостью [1]. Образовано в результате сооружения плотины Воткинской ГЭС ниже устья реки Сайгатка. Длина водохранилища составляет 360 км, наибольшая ширина – 8,2 км, средняя ширина – 3,4 км, максимальная глубина – 30 м, средняя глубина – 8,4 км, длина береговой линии – 970 км [2].

В настоящее время хорошо изучены различные гидрологические и гидробиологические аспекты функционирования Воткинское водохранилища. Проводились многолетние исследования макрофитов, фито- и зоопланктона, зообентоса, ихтиофауны [3]. Было показано, что гидролого-морфологические особенности водоема обуславливают различия в формировании

структуры донных биоценозов. Так, обнаружена неоднородность функциональных свойств макрозообентосного сообщества. Максимальная продуктивность различных его групп регистрировалась в Центральном районе водоема по сравнению с верхним и приплотинным участками [4]. Известны исследования микробиологических процессов в донных отложениях Воткинского водохранилища, в ходе которых была определена общая численность бактерий на речных и озеровидных участках [5]. Однако структура бактериобентосного сообщества остается малоизученной.

Цель настоящей работы – оценить численность и биомассу бактерий в донных отложениях Воткинского водохранилища в русловом и прибрежном профилях. Исследовать размерно-морфологическую структуру бактериобентосного сообщества, выявить особенности пространственного распределения бактериобентоса в соответствии с гидролого-морфологическими особенностями водоема, определить абиотические факторы, влияющие на развитие бактерий.

## ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

**Особенности объекта исследования.** Воткинское водохранилище – типичное русловое водохранилище [2]. Ширина и глубина сравнительно плавно нарастают вниз по его длине, достигая наибольших значений у Воткинской ГЭС [6]. Мелководья сосредоточены в центральной и приплотинной частях водохранилища и занимают 14,3% общей площади [6].

Физико-географическое положение водосбора Воткинского водохранилища на северо-востоке Русской равнины и на западном склоне Уральских гор, а также значительная протяженность обуславливают наличие широтной зональности на рассматриваемой территории [1], которая определяет основные закономерности пространственного распределения факторов формирования водного режима. Вследствие этого акватория Воткинского водохранилища делится на районы по двум критериям – гидрологическому и морфологическому. По особенностям гидрологии выделяют два района: первый – от плотины Камской ГЭС до г. Оса, и второй – от г. Оса до плотины Воткинской ГЭС. По морфологическим и гидролого-морфологическим особенностям водохранилище делят на три района: I – верхний (с. Нижние Муллы – пос. Усть-Нытва), II – средний или центральный (г. Оханск – г. Оса) и III – нижний, или приплотинный (с. Частье – г. Чайковский) [7].

**Материалы и методы.** Отбор проб донных отложений производился во время проведения комплексной экспедиции сотрудниками ГосНИОРХ в 2014 г. В прибрежных мелководьях

глубина отбора материала составляла 1-3 м, в русловой глубоководной зоне – 7,5-15 м. Всего исследовано 25 станций (рис. 1).

В лабораторных условиях в грунтах определяли влажность (W, %), содержание органического вещества (по потерям при прокаливании, %), гумусового вещества (ГВ, %) [8, 9], гранулометрический состав [10, 11]. В механическом составе грунтов выделяли фракции крупного песка (>1 мм), среднего и мелкого песка (1–0,1 мм), алеврита (0,1–0,01 мм), пелита (<0,1 мм) [10]. Тип донных отложений устанавливали по [11].

Определение общей численности и биомассы бактерий проводили методом флуоресцентной микроскопии с использованием флуоресцеинизотиоционата (FITC) [13]. Подсчет и измерение размеров бактериальных клеток проводили с помощью микроскопа Leica DM5500B при увеличении  $\times 1000$  в 20-ти полях зрения. Морфологию бактерий учитывали при соотношении длины и ширины клеток: кокки (<1,2), коккобациллы (1,2-1,8), палочки (1,8-10), нити (>10). Определяли следующие размерные классы бактерий (мкм): 0,2-1; 1-2; 2-5; 5-10; >10. Объем кокков, коккобацилл и палочек вычисляли по геометрическим формулам для объемов шара, эллипсоида и цилиндра. Было промерено более 500 клеток. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Excel-2010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Характеристика донных отложений.** Донные отложения прибрежных зон Воткинского водохранилища представлены песчано-галечными грунтами, среднезернистыми и мелкозернистыми песками, заиленными песками, в ряде случаев с ракушей и мелкой галькой (таблица). В прибрежье залегают, в основном, песчаные отложения. В русловой зоне в соответствии с гидрологическими особенностями водоема дифференцируются два участка с разнотипными илами. Первый участок распространяется от плотины Камской ГЭС до г. Оса с илистыми песками разной степени заиленности и песчанстыми илами, второй – от г. Оса до плотины Воткинской ГЭС с тонкодисперсными серыми и охристыми/коричневыми илами. Специфической особенностью донных отложений является их цвет: серые илы с охристым оттенком по мере приближения к плотине приобретают более интенсивный коричневый или бурый оттенок. В нижнем приплотинном участке илы становятся интенсивно коричневыми и даже бурыми по правобережью.

Песчаные и илистые отложения имели различную степень обводненности: естественная влажность песков составляла 22%-69%, илов – 47%-85%. Активная реакция грунтов возраста-

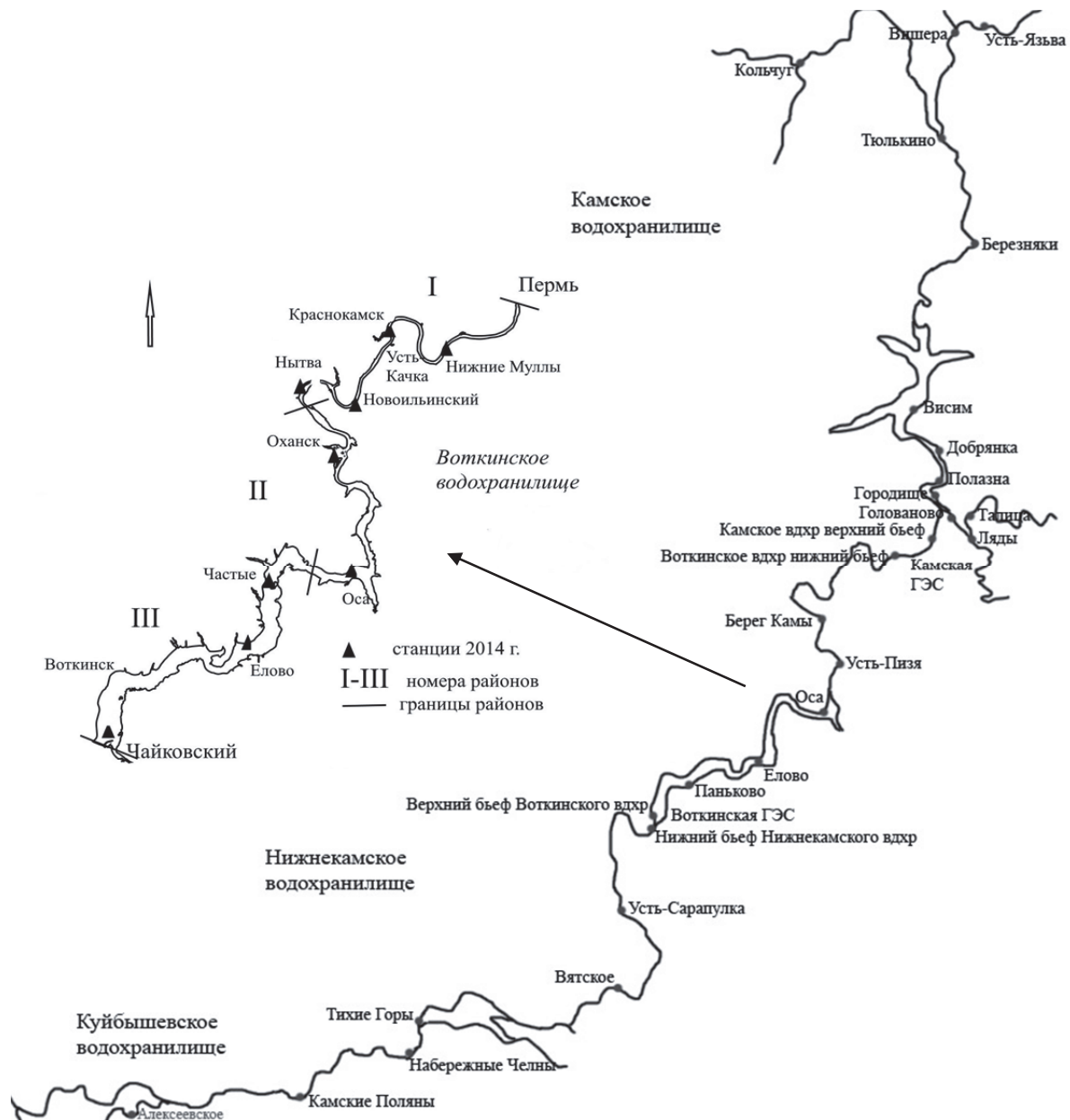


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в Воткинском водохранилище в 2014 г.: I – верхний район, II – центральный район, III – нижний район

ла вниз по течению от слабокислой ( $pH = 6,8-7,0$ ) до нейтральной и слабощелочной ( $7,2-7,4$ ).

**Особенности распределения органического вещества в донных отложениях.** На протяжении всего водохранилища от верховий вниз по его длине содержание органического вещества (ОВ) в грунтах увеличивалось от 0,80% до 14,4% и распределялось не равномерно по его продольному русловому профилю (рис. 2). Обнаружена зона градиента увеличения содержания ОВ в среднем районе (на участке от г. Оханск до г. Оса). Так, минимальные значения ОВ регистрировались в верхнем районе (1,02%), в среднем районе происходило резкое увеличение содержания ОВ с 1,5% до 10,2%, а в нижнем – активное накопление до максимального значения у плотины (14,4%). Выявлена противо-

положная тенденция распределения ОВ в прибрежных профилях – снижение его содержания вниз по течению, которая особенно ярко проявилась вдоль левого берега: от 5,16% до 0,80% (рис. 2). Следует отметить, что увеличение пула ОВ сопровождалось увеличением доли алевритовых и пелитовых (тонкодисперсных) частиц в механическом составе грунта, что подтверждается достоверной положительной корреляцией между содержанием ОВ и тонкодисперсных частиц ( $r = +0,77$  при  $p < 0,05$ ). Содержание гумусового вещества изменялось от 0,61% до 3,27% и не проявляло значительных изменений в разных зонах донного ложа водоема.

**Исследование гранулометрического состава** грунтов обусловлено его существенным влиянием на пространственное распределение

**Таблица.** Общая характеристика донных отложений Воткинского водохранилища

Станции	Н, м*	Тип донных отложений	ГВ, %	ОВ, %	Доля частиц (%) с размером, мм			
					>1	1-0,1	0,1-0,01	<0,1
Н. Муллы правый	2,5	Заиленный мелкий песок с глиной	0,67	1,44	1,1	91,34	7,22	0,36
Н.Муллы русло	9,0	Заиленная галька с бурым средним песком	0,78	1,02	67,85	31,94	0,12	0,08
Н. Муллы левый	н.д.	Серый алевроитовый ил с песком	1,25	4,28	0	60,83	36,18	3
Усть-Качка правый	2,0	Серый охристый песчанистый ил и галька	1,65	2,94	0,36	59,91	26,5	13,23
Усть-Качка левый	2,0	Охристая заиленная глина с алевроитом	1,37	4,85	0,42	59,9	30,64	9,03
Усть-Нытва правый	2,5	Охристый заиленный средний и мелкий песок с глиной с редкой галькой	0,61	4,84	16,31	71,61	11,46	0,62
Усть-Нытва русло	7,5	Серый заиленный мелкий песок с ракушей	1,19	1,52	2,9	96,04	0,97	0,07
Усть-Нытва левый	2,0	Серо-охристый илистый средний и мелкий песок с редкой ракушей в зарослях макрофитов	1,19	5,16	0	77,03	21,35	1,62
Оханск правый	1,8	Серо-охристый мелкий и алевроитовый заиленный песок с галькой	1,45	4,32	0	83,12	16,14	0,7
Оханск русло	10,5	Охристо-серый песок с глиной и мелкой галькой	3,27	3,35	5,29	89,03	5,31	0,37
Оханск левый	2,0	Серо-охристый илистый песок с мелкой галькой и глиной	1,52	3,75	27,63	54,41	17,32	0,64
Оса правый	1,5	Охристо-серый средний и мелкий заиленный песок с редкой мелкой галькой	1,19	1,09	0,67	88,26	10,45	0,62
Оса русло	11,5	Охристо-серый ил	1,71	10,20	0	64,93	31,7	3,37
Оса левый	2,5	Охристо-серый заиленный мелкий песок	0,96	2,85	0	91,53	8,02	0,45
Частые правый	2,5	Охристый мелкий заиленный песок	1,05	3,65	0	87,68	11,24	1,08
Частые русло	9,0	Серый ил с охристым оттенком с песком	2,31	10,49	0	70,32	21,65	8,03
Частые левый	3,0	Серый с охристым оттенком средний песок в зарослях макрофитов	1,92	1,02	0,42	98,37	1,07	0,14
Елово правый	2,5	Бурый или рыже-коричневый мелкий песок с редкой мелкой галькой	1,23	1,22	0,0	97,48	1,47	1,05
Елово русло	9,0	Бурый или рыже-коричнево-серый ил	2,13	11,54	0,0	60,11	21,3	18,59
Елово левый	2,5	Бурый или рыже-коричневый мелкий песок	1,21	1,02	0,0	98,37	0,95	0,68
Чайковский правый	2,0	Рыжий или охристо-рыжий мелкий и алевроитовый песок	1,42	5,97	0,0	74,26	16,12	1,62
Чайковский русло	15,0	Коричнево-черный ил	2,92	14,40	0	68,4	30	9,62
Чайковский левый	1,0	Серый средний песок	1,36	0,80	0	98,44	1,00	0,56
Ниже ВГЭС правый**	н.д.	Коричневый средний песок с редкой мелкой галькой	1,33	1,13	12,33	86,39	0,63	0,65
Ниже ВГЭС правый**	н.д.	Коричневый средний песок с редкой мелкой галькой	1,13	1,01	14,15	85,31	0,32	0,22

Примечание: \* – данные по глубинам предоставлены сотрудником Пермского отделения ГосНИОРХ А.М. Истоминой; \*\* – ниже Воткинской ГЭС на 2500 м. Н – глубина, ГВ – гумусовое вещество, ОВ – органическое вещество, н.д. – нет данных

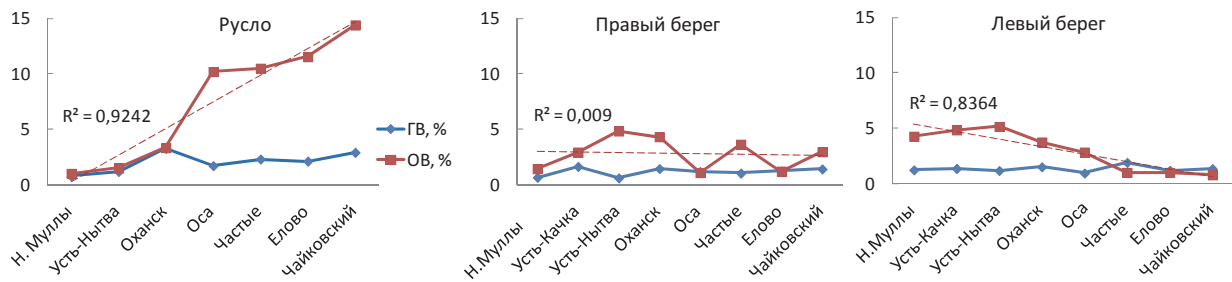


Рис. 2. Содержание органического (ОВ) и гумусового (ГВ) вещества в донных отложениях руслового и прибрежного профилях Воткинского водохранилища

бактериобентоса по акватории водных объектов [14]. Особенное значение имеют тонкодисперсные алевритовые и пелитовые частицы, которые обладают свойством адсорбировать на своей поверхности питательные вещества, используемые микроорганизмами.

На примере Куйбышевского водохранилища нами была достоверно подтверждена известная закономерность накопления тонкодисперсных фракций (0,1-0,01 мм) по направлению от верховой водохранилища вниз по течению к Приплотинному плесу [15]. В Воткинском водохранилище продольное распределение фракций гранулометрического состава отличалось пилообразным характером со слабым трендом увеличения среднего и мелкого песка (1,0-0,1 мм) от верховой к плотине (таблица). Однако, в русловом профиле регистрировалось увеличение доли тонкодисперсных алевритовой и пелитовой фракций в механическом составе грунтов – аналогично распределению органического вещества, а в прибрежном, напротив – их снижение, но увеличение при этом доли среднего и мелкого песка.

**Бактериобентос.** Для жизнедеятельности бактерий одним из ведущих факторов является количественный и качественный состав органического вещества [5]. Тонкодисперсные иловые отложения активно участвуют в процессе обмена веществом и энергией между твердым субстратом донного ложа и водными массами. Благодаря микроорганизмам в донных отложениях происходят процессы деструкции органического вещества, следовательно, ОВ оказывает существенное влияние на пространственное распределение бактериобентоса. Ранее было показано, что в водохранилищах в связи с большим разнообразием грунтов и неоднородностью гидролого-биологических характеристик пространственное распределение бактерий весьма неравномерно и минимальная плотность бактерий отмечалась в песках [5]. По данным А.Н. Дзюбан (2010) в 1997-1999 гг. в Воткинском водохранилище общая численность бактерий на речных участках варьировала от  $0,6 \times 10^9$  кл/мл до  $1,8 \times 10^9$  кл/мл, на озеровидных – от  $2,8 \times 10^9$  кл/мл до  $3,1 \times 10^9$  кл/мл. По данным наших исследо-

ваний общая численность бактерий в настоящее время в водохранилище увеличилась и в 2014 г. составляла  $0,88-4,13 \times 10^9$  кл/мл сырого грунта, биомассы – 36,95-580,04 мг/кг. Средние количественные характеристики бактериального сообщества по водоему составили: численность  $2,54 \pm 0,22 \times 10^9$  кл/мл, биомасса –  $215,57 \pm 29,28$  мг/кг (средняя  $\pm$  доверительный интервал). В зависимости от типа донных отложений наименьшие значения численности и биомассы бактерий регистрировались в песчаных отложениях, наибольшие – в тонкодисперсных илах и глинистых отложениях. Так, средние численности бактерий распределялись по морфотипам грунтов следующим образом: в песках –  $2,05 \pm 0,18 \times 10^9$  кл/мл, в илах –  $3,17 \pm 0,19 \times 10^9$  кл/мл, средняя биомасса –  $144,29 \pm 22,48$  мг/кг и  $276,87 \pm 34,59$  мг/кг, соответственно.

Гидродинамический режим, в частности, скорость водного потока, достоверно влияет на распределение бактериобентоса по акватории водохранилища [14]. В Воткинском водохранилище нами обнаружено две тенденции распределения численности бактерий, обусловленные гидролого-морфологической спецификой водоема, распределением органического вещества и соотношением фракций механического состава илов по донному ложу – вдоль русла и вдоль прибрежий (рис. 3). Первая тенденция проявляется в продольном русловом профиле и характеризуется неравномерным увеличением численности бактерий от верховой до низовой водохранилища в соответствии с гидролого-морфологическим районированием водоема. Так, минимальное количество бактерий регистрировалось в верхнем районе, что обусловлено узостью и извилистостью русла, более активным гидродинамическим режимом, песчанистыми отложениями с низким содержанием органического вещества. По мере заиления грунтов, в центральном районе на участке от с. Н. Муллы до г. Оханск и г. Оса, численность бактерий возросла от  $1,47 \times 10^9$  кл/мл до  $3,8 \times 10^9$  кл/мл. В нижнем районе от г. Оса до г. Чайковский, в котором залегают тонкодисперсные илы, обогащенные органическим веществом, бактерии достигали наибольшего развития ( $N=3,8-4,01 \times 10^9$  кл/мл).

Вторая тенденция пространственного распределения бактериобентоса характерна для прибрежного профиля и проявляется противоположным направлением – снижением численности бактерий от верховой водохранилища к приплотинному участку, имеет пилообразный характер и более низкие значения численности бактерий (рис. 3). Резкие изменения водного режима, колебания уровня воды, ветровое перемешивание, в результате которых наилок смывает в глубоководные зоны, нестабильное содержание органического вещества в песчаных отложениях на мелководьях выступают в качестве неблагоприятных факторов для жизнедеятельности бактерий в прибрежных биотопах.

Ниже Воткинской ГЭС на расстоянии в 2,5 км от нижнего бьефа плотины численность бактерий на правом и левом берегах становится практически одинаковой  $-2,54 \times 10^9$  кл/мл, и  $2,15 \times 10^9$  кл/мл соответственно, небольшие различия отмечались в биомассе – 124,03 мг/кг и 104,24 мг/кг, соответственно.

Выявлено влияние отдельных параметров донных отложений как среды обитания на развитие бактерий. Корреляционный анализ при уровне значимости  $p < 0,05$  показал высокую связь численности бактерий с содержанием органического вещества ( $r=0,70$ ), гумусового вещества ( $r=0,51$ ) и алеврито-пелитовой фракцией ( $r=0,44$ ).

**Морфологическая и размерная структура бактериобентоса.** Среди морфологических форм клеток в среднем по водоему преобладали палочковидные клетки (рис. 4А). На разных станциях их доля в общей численности изменялась в диапазоне от 39% до 73%. Значительную роль в морфологической структуре бактериального сообщества играли коккобациллы, вклад которых составлял 24-52%. Второстепенные позиции в формировании морфотипов бактериальных клеток занимали кокки (2-8%), и минорные – нитевидные формы (0-3%).

В разных типах донных отложений морфологическая структура не имела существенных различий (рис. 4Б). Как в песках, так и в илах наблюдалось количественное соотношение клеточных форм бактерий с преобладанием палочек, характерное для водохранилища в целом. В зависимости от глубин, т.е. в русловой глубоководной зоне и на мелководьях правого и левого прибрежий различий в соотношении форм бактериальных клеток также не было обнаружено (рис. 4В). По-видимому, активная гидродинамика водных масс, узость и извилистость русла, отсутствие озеровидных плесов способствуют формированию однородной морфологической структуры бактериобентоса на разных участках донного ложа.

Однако есть небольшие отличия по сравнению с другими исследованными водохранилищами в распределении коккобацилл в разнотип-

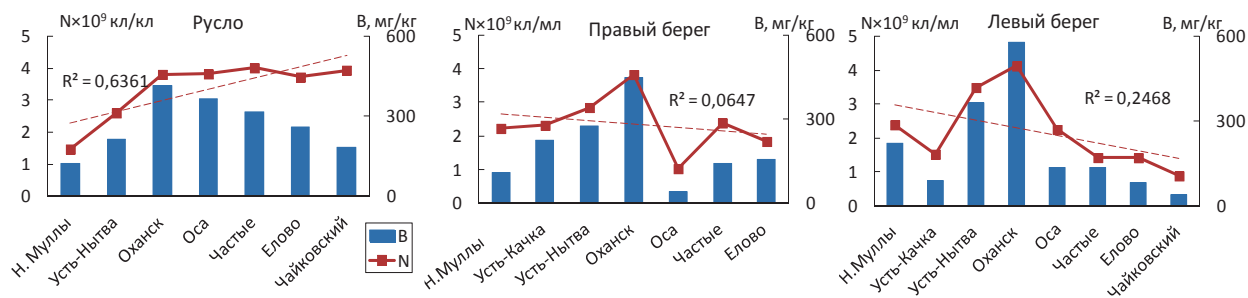


Рис. 3. Общая численность и биомасса бактериобентоса в продольных русловом, в правом и левом прибрежных профилях Воткинского водохранилища

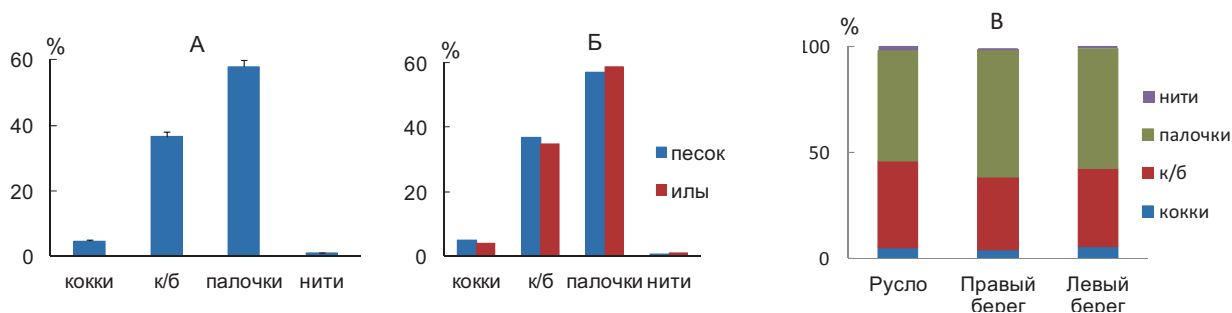


Рис. 4. Морфологическая структура бактериобентоса в Воткинском водохранилище: А – средние статистические значения по водохранилищу (средняя ± доверительный интервал); Б – распределение клеточных форм по типам донных отложений; В – морфологическая структура бактериобентоса в русловом и в прибрежных профилях водоема

ных грунтах. Так, в Воткинском водохранилище доля кокков в общей численности бактерий в песках и в илах была почти одинакова, в Саратовском и Куйбышевском водохранилищах коккобациллы наибольшего развития достигали в песках, по сравнению с глубоководными илами [15 – 17].

Линейные размеры клеток в бактериальном сообществе изменялись от 0,30  $\mu\text{m}$  до 1,20  $\mu\text{m}$ . Длина нитевидных клеток составляла 15,49–71,41  $\mu\text{m}$ , единичные нити достигали размеров 100–124  $\mu\text{m}$ . В общей численности и биомассе бактериоценоза доминировал один размерный класс клеток 0,2–0,5  $\mu\text{m}$ , который составлял 73–82%, что не характерно для других водоемов. К примеру, в Саратовском и Куйбышевском водохранилищах преобладали бактериальные клетки двух размерных классов: 0,2–0,5  $\mu\text{m}$  и 0,5–1  $\mu\text{m}$  [15 – 17].

Второстепенное значение имели организмы с линейными размерами 0,1–0,2  $\mu\text{m}$ , доля которых в общей численности бактериобентоса составляла 15–24%. Неблагоприятные условия, по-видимому, складывались для крупных клеток длиной 1–10  $\mu\text{m}$ , их вклад в общую численность бактерий был минимальный и составлял 1–2%.

Средний объем бактериальных клеток варьировал в пределах 0,030–3,200  $\mu\text{m}^3$ , увеличиваясь от глубоководных участков водоема к мелководному побережью. Наиболее многочисленными были бактерии с объемами 0,013–0,025  $\mu\text{m}^3$  и 0,025–0,05  $\mu\text{m}^3$ , наименее – 0,006–0,013  $\mu\text{m}^3$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наличие широтной зональности на территории, на которой расположено Воткинское водохранилище и его гидролого-морфологические особенности определяют основные закономерности распределения донных отложений и бактериобентоса в водоеме. В соответствии с гидрологическими критериями выделены два района основных типов донных отложений. Первый район песков и песчаных илов (гетерогенных грунтов) распространяется от плотины Камской ГЭС до г. Оса, второй район с тонкодисперсными илами – от г. Оса до плотины Воткинской ГЭС.

В пространственном распределении бактериобентоса выявлены две противоположные тенденции, которые сформировались в русловом и прибрежном профиле донного ложа: вдоль русла происходит увеличение численности бактерий от верховой водохранилища к нижнему участку, вдоль побережий – напротив, снижение численности бактерий в данном направлении.

Выявлены факторы, оказывающие влияние на особенности пространственного распределения бактериобентоса в Воткинском водохра-

нилище: гидрологическая, морфологическая и морфометрическая специфика водоема, типы донных отложений, гранулометрический состав, содержание органического вещества в грунтах. В соответствии с гидролого-морфологическим районированием водоема в распределении бактерий в русловом профиле выделяются три участка: I – участок минимальной численности бактерий, расположенный в верхнем районе, II – участок увеличения численности бактериального сообщества в центральном районе и III – участок с наибольшей численностью бактерий (плато), который сформировался в нижнем районе. Тренд численности бактерий в прибрежном профиле отличался пилообразным характером.

Анализ предыдущих исследований показал, что за последний двадцатилетний период функционирования водохранилища увеличение численности бактерий происходило незначительно. В настоящее время, по данным 2014 г., средняя численность бактериобентоса составляет  $2,54 \pm 0,22 \times 10^9$  кл/мл, средняя биомасса –  $215,57 \pm 29,28$  мг/кг. В песках численность и биомасса бактерий меньше ( $N = 2,05 \pm 0,18 \times 10^9$  кл/мл,  $B = 144,29 \pm 22,48$  мг/кг) по сравнению с илами ( $N = 3,17 \pm 0,19 \times 10^9$  кл/мл,  $B = 276,87 \pm 34,59$  мг/кг).

## БЛАГОДАРНОСТИ

Автор искренне благодарит сотрудника Пермского отделения ГосНИОРХ А.М. Истомину за отбор проб донных отложений и бактериобентоса в Воткинском водохранилище.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин, В.Г. Водный режим Камских водохранилищ и рек их водосбора в зимний сезон: монография; Перм. гос. нац. ун-т. Пермь, 2014. 184 с.
2. Комплексное исследование Воткинского водохранилища и оценка его влияния на природу: монография под редакцией // С.А. Двинских и А.Б. Китаева; Перм. ун-т. Пермь, 2007. 250 с.
3. Истомин, С.Г., Истомина, А.М., Диева, Е.Ю. Трофический статус и ихтиофауна Воткинского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т. IV. ВОДная экология: труды Междунар. науч.-практ. конф. (17–20 мая 2011., Пермь) / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2011. С. 73–77.
4. Истомина, А.М. Влияние распространения моллюсков семейства *Dreissenidae* на продуктивность макрозообентоса Воткинского водохранилища // Труды Междунар. науч.-практ. конф. в 3 т. Т.3: Геоэкология и водная экология. Пермь, 2013. С. 115–118.
5. Дзюбан, А.Н. Деструкция органического вещества и цикл метана в донных отложениях внутренних водоемов. Ярославль: Принтхаус, 2010. 192 с.
6. Двинских, С.А., Китаев, А.Б. Гидрология камских водохранилищ. Пермь, 2008. 266 с.

7. Матарзин, Ю.М., Мацкевич, И.К. Вопросы морфометрии и районирования водохранилищ // Вопросы формирования водохранилищ и их влияния на природу и хозяйство. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 1970. Вып. 1. С. 92-111.
8. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: Изд-во Московского университета, 1970. 487 с.
9. Колешко, О.И. Экология микроорганизмов почвы: Лаб. практикум. Минск: Высш. школа, 1981. 176 с.
10. Законов, В.В., Законнова, А.В., Цветков, А.И., Шерышева, Н.Г. Гидродинамические процессы и их роль в формировании донных осадков водохранилищ Волжско-Камского каскада // Труды ИБВВ РАН. 2018. Вып. 81(84). С. 35-46.
11. Кузяметов, Г.Г., Мифтахова, А.М., Куреева, Н.А., Новоселова, Е.И. Практикум по почвоведению // Учебное пособие. Уфа: РИО БашГУ, 2004. 120 с.
12. Зайков, Б.Д. Очерки по озероведению. Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1960. 240 с.
13. Гальченко, В.Ф. Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС, 2001. 500 с.
14. Рахуба, А.В., Шерышева, Н.Г. Влияние гидродинамических условий на распределение бактериобентоса в верхнем бьефе Жигулевской ГЭС Куйбышевского водохранилища // Поволжский экологический журнал, 2023. №2. С. 214-228.
15. Шерышева, Н.Г. Пространственное распределение бактериобентоса в Приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища в осенний период // Известия СамНЦ РАН. 2021. Т. 23, №5. С. 152-159.
16. Sherysheva, N.G. Ecological trends of spatial distribution and of size-morphological structure of bacteriobenthos in the Kuibyshev Reservoir, the Volga River, Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. V. 818. № 1. P. 012049.
17. Шерышева, Н.Г. Донные отложения и бактериобентос в Саратовском водохранилище в 2011, 2014 и 2016 гг. // Комплексные исследования водохранилищ и их водосборов : сборник научных трудов, посвященный 100-летию со дня рождения Ю. М. Матарзина / под ред. А. Б. Китаева ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2024. С. 112-117.

## DISTRIBUTION OF BACTERIOBENTHOS ALONG THE RIVERBED AND COASTAL PROFILES OF THE VOTKINSK RESERVOIR

© 2024 N.G. Sherysheva

Samara Federal Research Scientific Center RAS,  
Institute of Ecology of Volga River Basin RAS, Togliatti, Russia

The results of a study of the spatial distribution of bacteriobenthos in the Votkinsk reservoir are presented. The estimation of the abundance and biomass of bacteria, the size-morphological structure is given, the features of the spatial distribution of bacteriobenthos in the riverbed and coastal profile of the bottom bed are revealed. The latitudinal zonality, hydrological-morphological and morphometric features of the Votkinsk reservoir determine the main patterns of distribution of bottom sediments and bacteriobenthos in the reservoir. In accordance with hydrological criteria, two areas of formation of different types of bottom sediments have been identified: sands and sandy silts from the Kama hydroelectric power station dam to the Osa station, and fine silts from the Osa station to the Votkinsk hydroelectric power station dam. Factors influencing the spatial distribution of bacteriobenthos were identified: hydrological, morphological and morphometric features of the reservoir, types of bottom sediments, particle size distribution, organic matter content in the bottom sediments. Two opposite trends were identified in the spatial distribution of bacteria along the bottom bed: 1 – an increase in the abundance of bacteria along the riverbed profile from the upper reaches of the reservoir to the lower section, 2 – a decrease in the abundance of bacteria along the coastal profile in this direction. In accordance with the hydrological and morphological zoning, three sections are identified in the distribution of bacteria in the channel profile: I – upper section with the minimum number of bacteria, II – central: a gradient of increasing bacterial numbers, III – lower section with the highest number of bacteria. The trend in the abundance of bacteria in the riverbed profile was characterized by a sawtooth character and lower values of quantitative characteristics of the bacteriobenthos. The total abundance of bacteriobenthos varied from  $0.8 \times 10^9$  to  $4.1 \times 10^9$  cells  $\text{mL}^{-1}$ , biomass – from 36 to 580  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . In sands, the abundance and biomass of bacteria is lower ( $N = 2.0 \pm 0.1 \times 10^9$  cells  $\text{mL}^{-1}$ ,  $B = 144 \pm 22 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) compared to silts ( $N = 3.1 \pm 0.19 \times 10^9$  cells  $\text{mL}^{-1}$ ,  $B = 276 \pm 34 \text{ mg/kg}$ ).

**Keywords:** bottom sediments, bacteriobenthos, total abundance, biomass, size-morphological structure, spatial distribution, riverbed, coastal area.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-5-165-173

EDN: XVXNMU

## REFERENCES

1. Kalinin, V.G. Vodnyy rezhim Kamskikh vodokhranilishch i rek ikh vodosora v zimniy sezon: monografiya; Perm. gos. nats. un-t. Perm', 2014. 184 s.
2. *Kompleksnoye issledovaniye Votkinskogo vodokhranilishcha i otsenka yego vliyaniya na prirodu: monografiya pod redaktsiyey* // S.A. Dvinskikh i A.B. Kitayeva; Perm. un-t. Perm', 2007. 250 s.



3. *Istomin, S.G., Istomina, A.M., Diyeva, Ye.YU.* Troficheskiy status i ikhtiofauna Votkinskogo vodokhranilishcha // *Sovremennyye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov. T.IV. VODnaya ekologiya: trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (17-20 maya 2011., Perm')* / Perm. gos. un-t. – Perm', 2011. S. 73–77.
4. *Istomina, A.M.* Vliyaniye rasprostraneniya mollyuskov semeystva Dreissenidae na produktivnost' makrozoobentosa Votkinskogo vodokhranilishcha // *Trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v 3t. T.3: Geoekologiya i vodnaya ekologiya. Perm', 2013.* S. 115–118.
5. *Dzyuban, A.N.* Destruktsiya organicheskogo veshchestva i tsikl metana v donnykh otlozheniyakh vnutrennikh vodoyemov. Yaroslavl': Printkhaus, 2010. 192 s.
6. *Dvinskikh, S.A., Kitayev, A.B.* Gidrologiya kamskikh vodokhranilishch. Perm', 2008. 266 s.
7. *Matarzin, YU.M., Matskevich, I.K.* Voprosy morfometrii i rayonirovaniya vodokhranilishch // *Voprosy formirovaniya vodokhranilishch i ikh vliyaniya na prirodu i khozyaystvo. Perm': Izd-vo Perm. gos. un-ta, 1970.* Vyp. 1. S. 92–111.
8. *Arinushkina, Ye.V.* Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv. Moskva: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1970. 487 s.
9. *Koleshko, O.I.* Ekologiya mikroorganizmov pochvy: Lab. praktikum. Minsk: Vyssh. shkola, 1981. 176 s.
10. *Zakonov, V.V., Zakonnova, A.V., Tsvetkov, A.I., Sherysheva, N.G.* Gidrodinamicheskiye protsessy i ikh rol' v formirovanii donnykh osadkov vodokhranilishch Volzhsko-Kamskogo kaskada // *Trudy IBVV RAN. 2018.* Vyp. 81(84). S. 35–46.
11. *Kuz'yakhmetov, G.G., Miftakhova, A.M., Kireyeva, N.A., Novoselova, Ye.I.* Praktikum po pochvovedeniyu // *Uchebnoye posobiye. Ufa: RIO BashGU, 2004.* 120 s.
12. *Zaykov, B.D.* Ocherki po ozerovedeniyu. Leningrad: Gidrometeorologicheskoye izd-vo, 1960. 240 s.
13. *Gal'chenko, V.F.* Metanotrofnyye bakterii. M.: GEOS, 2001. 500 s.
14. *Rakhuba, A.V., Sherysheva, N.G.* Vliyaniye gidrodinamicheskikh usloviy na raspredeleniye bakteriobentosa v verkhnem b'yefe Zhigulevskoy GES Kuybyshevskogo vodokhranilishcha // *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal, 2023, №2.* S. 214–228.
15. *Sherysheva, N.G.* Prostranstvennoye raspredeleniye bakteriobentosa v Priplotinnom plese Kuybyshevskogo vodokhranilishcha v osenniy period // *Izvestiya SamNTS RAN. 2021. T. 23, №5.* S. 152–159.
16. *Sherysheva, N.G.* Ekologicheskiye tendentsii prostranstvennogo raspredeleniya i razmernomorfologicheskoy struktury bakteriobentosa Kuybyshevskogo vodokhranilishcha, reka Volga, Rossiya // *Seriya konferentsiy IOP: Nauki o Zemle i okruzhayushchey srede. – Izdatel'stvo IOP, 2021. T. 818. № 1. S. 012049.*
17. *Sherysheva, N.G.* Donnyye otlozheniya i bakteriobentos v Saratovskom vodokhranilishche v 2011, 2014 i 2016 gg. // *Kompleksnyye issledovaniya vodokhranilishch i ikh vodosborov : sbornik nauchnykh trudov, posvyashchennyy 100-letiyu so dnya rozhdeniya YU. M. Matarzina / pod red. A. B. Kitayeva ; Permskiy gosudarstvennyy natsional'nyy issledovatel'skiy universitet. – Perm', 2024.* S. 112–117.