

УДК 579.68:574.5

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО СОСТАВА БАКТЕРИОБЕНТОСА ОЗЕРА АСЛИКУЛЬ (БАШКОРТОСТАН)

© 2014 Н.Г. Шерышева, Т.А. Ракитина, Л.П. Поветкина

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Поступила 01.03.2014

Проведены первые исследования бактериобентосных сообществ оз. Асликуль с помощью метода масс-спектрометрии микробных маркеров. Представлены результаты о видовой структуре сообществ, обитающих в литоральном и пелагическом илах озера. Показано влияние условий среды на количественное развитие отдельных эколого-трофических групп бактерий и характер доминирования в сообществах.

Ключевые слова: донные отложения, бактериальное сообщество, видовая структура, доминирование, условия обитания, метод масс-спектрометрии микробных маркеров, оз. Асликуль

Асликуль – крупнейшее озеро республики Башкортостан, представляющее собой уникальную водную экосистему. В 1993 г. на базе озера был создан Национальный парк «Аслы-Куль» [7]. Расположено в бассейне р. Дема, в северо-восточной части Белебеевской возвышенности. Происхождение: суффозионно-карстовое. Площадь водного зеркала – 23,5 км², длина – 7,1 км, средняя ширина – 3,3 км, средняя глубина – 5,1 м (максимальная – 8,1 м), объем – 119,0 млн/м³. Вода солоноватая, сульфатно-гидрокарбонатная кальций-магниева с суммарной минерализацией 1,74 г/л [7].

Для раскрытия экосистемных закономерностей актуально изучение различных аспектов ее функционирования, одним из которых в водных объектах является видовая структура микробных донных сообществ. Донные отложения водных экосистем служат средой обитания микробного населения, которое выполняет важную функцию деструкции органического вещества. Химические компоненты, аккумулируемые грунтами, трансформируются благодаря жизнедеятельности микроорганизмов. Микробное сообщество донных отложений объединяет множество видов бактерий. Его видовая структура формируется в зависимости от локальных условий и определяется факторами среды, ведущими из которых являются окислительно-восстановительный потенциал, обеспеченность органическим веществом и его качественный состав, активная реакция среды, биогенные элементы.

Цель данной работы - изучение таксономической структуры бактериобентоса литорального и пелагического биотопов оз. Асликуль. В качестве важного аспекта функционирования сообществ рассматривается формирование структуры доминирования в различных условиях среды обитания.

В исследованиях применен метод жирнокислотных микробных маркеров, с помощью которого стало возможным более углубленное изучение таксономического и количественного состава природного сообщества микроорганизмов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования на водоеме проводились в июне 2010 г. на двух станциях: в прибрежном участке с глубиной 2,7 м в 10 м от зарослей высшей водной растительности и в пелагической зоне (глубина 6,0 м) центральной части озера. Пробы донных отложений отбирались с поверхностных горизонтов (0-5 см) лотом (объем захвата 100 см³).

Во время отбора проб в грунте измеряли значения температуры, активной реакции среды (рН) и окислительно-восстановительного потенциала (Eh). Для оценки окислительно-восстановительных условий в илах с учетом рН применяли расчетный показатель, выраженный в rH₂ (Eh/29 + 2рН) [8]: анаэробным условиям соответствует интервал 0 < rH₂ > 12-13, микроаэробным - 12-13 < rH₂ > 18-20, аэробным - rH₂ > 20. В лабораторных условиях определяли влажность грунта (W, %) [1], гранулометрический состав [3], содержание карбонатов (C_к = CO₂ + HCO₃⁻ + CO₃²⁻) [9], сероводорода (H₂S) [9], двухвалентного железа (Fe²⁺) [12].

Для установления таксономической принадлежности бактерий применяли высокочувствительный метод масс-спектрометрии микробных маркеров (МСММ) с использованием базы данных [10, 11]. Метод позволяет определить родовую/видовую принадлежность бактерий численностью более 10⁴ кл/г ила. Анализ проведен автором метода Г.А. Осиповым на хромато-масс-

Шерышева Наталья Григорьевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологии простейших и микроорганизмов, sapfir-sherry@yandex.ru; *Ракитина Татьяна Анатольевна*, инженер лаборатории экологии простейших и микроорганизмов; *Поветкина Лариса Петровна*, инженер лаборатории экологии простейших и микроорганизмов

спектрометре AT 5973 фирмы Agilent Technologies в лаборатории Академической группы Академика РАНН Ю.Ф. Исакова.

Численность эколого-трофических групп микроорганизмов: броодильщиков, железоредукторов, сульфатредукторов, железоокисляющих и целлюлозоразлагающих бактерий определяли на селективных питательных средах традиционными микробиологическими методами [4 - 6, 12].

Шкалу доминирования [2] по численности устанавливали с учетом особенностей структуры сообществ: менее 1% - малозначимые, редкие виды; 1-5% - второстепенные виды; 5-10% - субдоминанты; более 10% - доминанты.

Таблица. Физико-химические показатели донных отложений оз. Асликуль в июне 2010 г.

Биотоп	T, °C	pH	rH ₂	W, %	<0,1мм, %*	C _к , мг/г	H ₂ S, мг/г	Fe ²⁺ , мг/г
Литораль	20,5	7,9	14	59,2	64,54	20,52	0,82	3,39
Пелагиаль	18,9	8,5	15	65,5	95,79	13,44	0,44	2,09

* - размер частиц механического состава грунта менее 0,1 мм

Пелагические илы, по сравнению с литоральными, более влажные. Основу их механической структуры составляет гомогенная тонкодисперсная фракция. В прибрежье на формирование грунта значительное влияние оказывает высшая водная растительность, создающая благоприятные условия для развития разнообразных гидробионтов. В механическом составе ила прибрежного биотопа преобладает гетерогенный алеврит. Литоральные грунты аккумулируют карбонаты, сульфиды и двухвалентное железо в большей степени, чем пелагические донные осадки. Илы в водоеме характеризуются щелочными условиями среды. Следует отметить в качестве специфической особенности пелагического биотопа повышенную щелочную реакцию в грунте (таблица).

Бактериальное сообщество. В составе донного микробного сообщества оз. Асликуль методом МСММ выявлено 38 таксонов родового/видового ранга из домена *Bacteria*.

Обнаружено большое сходство таксономического состава бактериобентосных сообществ прибрежного и глубоководного участков озера за исключением некоторых организмов (рис. 1). Так, в литоральном биотопе отсутствуют виды р. *Bacillus*, *Rhodococcus terrae* и диссимиляционный железоредуктор *FeRed* [11]. В пелагическом же биотопе не были обнаружены представители рр. *Cellulomonas*, *Acetobacterium*, *Leptothrix* и *Arthrobacter globiformis*.

Численность отдельных видов/родов микроорганизмов в донных отложениях экосистемы озера изменяется от $0,038 \times 10^6$ кл/г до $27,8 \times 10^6$ кл/г сухого грунта. Суммарная численность бактерий литорального сообщества составляет $8,9 \times 10^7$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Донные отложения. Для оз. Асликуль характерны карбонатные донные отложения с микроаэробными условиями среды ($rH_2 = 14-15$). В литоральной мелководной зоне грунты представлены темно-серым алевритовым илом, обладающим слабым запахом сероводорода и содержащим гальку и друзы дрейсен. В пелагической глубоководной части озера залегают тонкодисперсные мягкие илы кремового цвета. В таблице представлены отдельные физико-химические показатели, являющиеся одними из важных экологических факторов для жизнедеятельности микроорганизмов, обитающих в донных отложениях водных экосистем (таблица).

к/г. С переходом от прибрежного участка к глубоководному отмеченный показатель снижается до $5,2 \times 10^7$ кл/г. Количественное превосходство литорального бактериобентоса обеспечивается в основном за счет видов р. *Clostridium* ($27,8 \times 10^6$ кл/г) и р. *Spirochaeta* ($13,5 \times 10^6$ кл/г). В пелагическом биотопе наибольшего развития достигают представители рр. *Butyrivibrio*, *Spirochaeta*, сем. *Enterobacteriaceae*, *Clostridium* sp., *Nocardia carneae*, диссимиляционные железоредукторы *FeRed* (Турова) и бактерии р. *Hellobacterium*. Численность отмеченных организмов находится в пределах $3,14 - 7,5 \times 10^6$ кл/г.

Традиционными микробиологическими методами нами была определена численность отдельных эколого-трофических групп бактерий, выполняющих важную функцию на этапах разложения органического вещества в трофической цепи: *аэробные* – целлюлозоразлагающие и железоокисляющие бактерии и *анаэробные* – броодильные, железоредуцирующие, сульфатредуцирующие бактерии.

На литоральном биотопе исследованные эколого-трофические группы бактерий достигают большей численности по сравнению с пелагическим (рис. 2). Следует отметить, что на мелководном участке абсолютно доминируют броодильщики, активными представителями которых являются виды р. *Clostridium*, что подтверждается данными, полученными методом МСММ (см. рис. 1).

Кроме показателей качественного состава и численности бактерий важным параметром видовой структуры бактериоценоза является количественное соотношение видов. В данной работе мы

исследовали структуру доминирования по численности, распределив виды в четыре класса: малозначимые, редкие (минорные), второстепен-

ные, субдоминантные, доминантные. Представители всех четырех классов обнаружены только на мелководном биотопе.

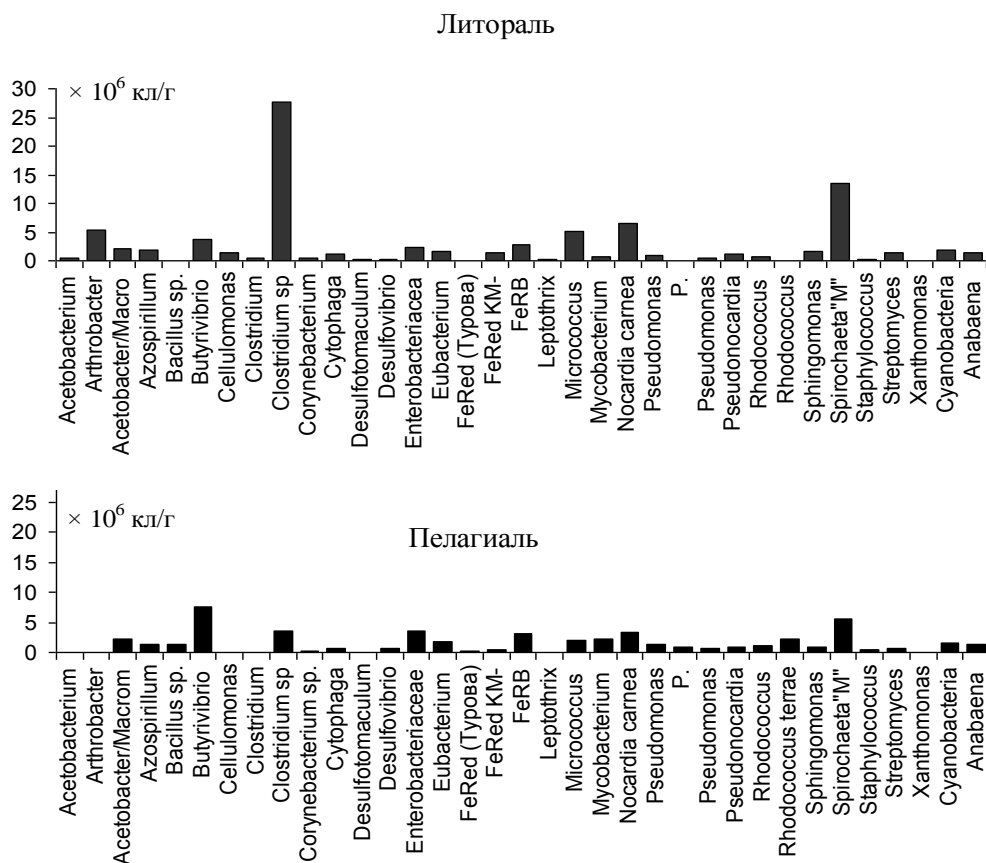


Рис. 1. Родовой/видовой состав и численность бактериобентосного сообщества на литоральном и пелагическом биотопах оз. Асликуль в июне 2010 г.

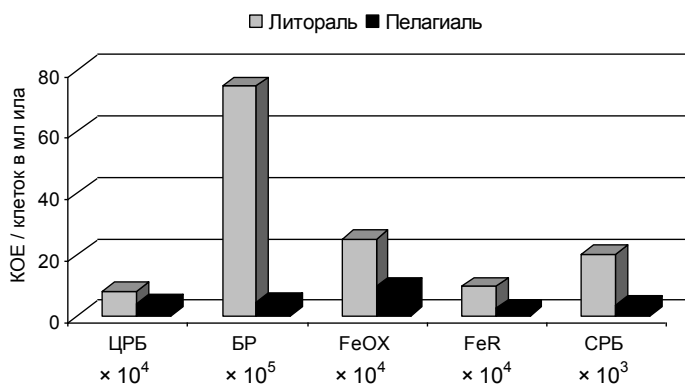


Рис. 2. Численность эколого-трофических групп бактерий в донных отложениях литорального и пелагического биотопов оз. Асликуль в июне 2010 г. *Аэробные бактерии*: ЦРБ – целлюлозоразлагающие, FeOX – железозакисляющие; *анаэробные бактерии*: БР – бродильщики, FeR – железоредукторы, СРБ – сульфатредуцирующие

В литоральном сообществе доминируют виды двух родов - *Clostridium* и *Spirochaeta*. Их вклад в общую численность бактериального комплекса составляет 46%, причем р. *Clostridium* является абсолютным лидером – 31% (рис. 3). Напротив, в

глубоководном биотопе доминанты отсутствуют и основу бактериального сообщества составляют субдоминантные и второстепенные виды. Их доля в численности составляет соответственно 51% и 46%.

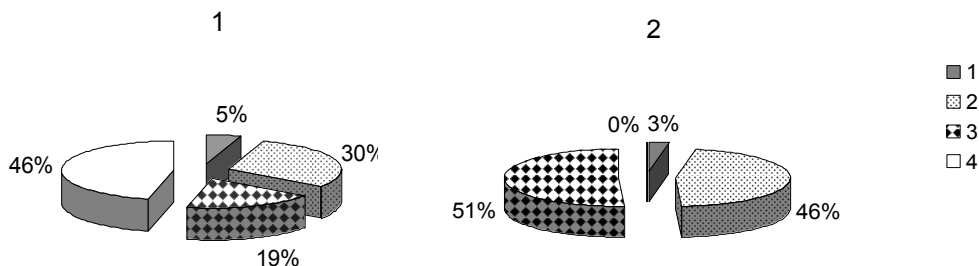


Рис. 3. Соотношение видов по классам доминирования в бактериобентосных сообществах литорального (1) и пелагических (2) биотопов оз. Асликуль в июне 2010 г: 1 - малозначимые виды, 2 - второстепенные виды, 3 - субдоминанты, 4 - доминанты

На мелководье второстепенные виды незначительно преобладают над субдоминантами. В обоих микробиоценозах вклад малозначимых видов не превышает 5%. В пелагиали 58% видового богатства обеспечивается за счет второстепенных видов. В литорали 84% всего разнообразия видов составляют второстепенные и минорные виды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования с помощью метода масс-спектрометрии микробных маркеров и традиционных микробиологических методов получены представления о специфике видовой структуры бактериальных комплексов, обитающих в донных отложениях литорального и пелагического биотопов оз. Асликуль.

Численность бактериобентоса и отдельных его эколого-трофических групп прибрежного участка озера выше по сравнению с глубоководным. Анализ экологических факторов показал, что количественному превосходству целлюлозолитиков, железобактерий, железоредукторов и сульфатредукторов в прибрежье способствуют: наличие в грунтах обильных остатков водной растительности, повышенное содержание сульфидов и железа, благоприятный температурный режим, мелководность.

Для развития бродильщиков определяющим условием является наличие органического вещества, а именно его углеводной компоненты [5]. Резкое преобладание этой группы свидетельствует об интенсивно протекающем маслянокислом брожении в прибрежных донных осадках. В целом, численность и таксономический состав литорального бактериоценоза показывает, что деструкционные процессы в прибрежных грунтах протекают более активно по сравнению с пелагическими илами. Остается не выясненным вопрос влияния карбонатов на структуру донного микробного сообщества.

Видовой состав изучаемых микробиоценозов характеризуется высоким сходством. При этом, однако, выявлены существенные различия в соотношении численности отдельных таксонов, характере доминирования и топическом распределении отдельных видов. Так, численное преобла-

дание бактерий р. *Heliobacterium* в пелагическом биотопе, возможно, связано с повышенной щелочностью в илах, создающей специфический эффект. Железоокисляющая бактерия р. *Leptothrix* обнаружена только в мелководье, где более мобильно происходит смена окислительно-восстановительных условий.

Развитие доминантных видов определяется условиями среды обитания. В структуре доминирования отличительной особенностью литорального микробного сообщества является значительное преобладание доминантного комплекса, представленного двумя родами *Clostridium* и *Spirochaeta*. По классам доминирования для пелагического бактериоценоза характерна более выровненная структура, обусловленная развитием субдоминантных и второстепенных видов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: Изд-во Московского университета, 1970. 487 с.
2. Баканов А.И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть VI. / Под ред. проф. Д.Б. Гелашвили. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2006. С. 61-116.
3. Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Курдин В.П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л.: изд-во «Наука», 1975. 159 с.
4. Держинская И.С. Питательные среды для выделения и культивирования микроорганизмов: учеб. пособие. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2008. 348 с.
5. Дзюбан А.Н. Численность некоторых видов маслянокислых бактерий в грунтах волжских водохранилищ и озер разного уровня трофии в зависимости от содержания органических веществ // Тр. ИБВВ РАН, 1993. Вып. 66. С. 47-64.
6. Захарова Ю.Р., Парфенова В.В. Метод культивирования микроорганизмов, окисляющих железо и марганец в донных отложениях озера Байкал // Известия РАН. Серия биологическая, 2007. № 3. С. 290-295.
7. Реестр особо охраняемых природных территорий Республики Башкортостан. Уфа: Гилем, 2010. 414 с.
8. Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Л.: Наука, 1985. 295 с.
9. Романенко В.И., Рыбакова И.В., Соколова Е.А., Лайош Вереш. Вариант диффузионного метода определения свободной углекислоты, карбонатов, сульфидов в воде

- и донных отложениях в закрытом сосуде / Гидробиол. журн., 1990. Т. 26. № 5. С. 64-69.
10. *Осинов Г.А.* Способ определения родового (видового) состава ассоциации микроорганизмов // Патент РФ № 2086642. С12N 1/00, 1/20, С12Q 1/4. Приоритет от 24 дек. 1993. Опубл. 10.08.1997.
11. *Турова Е.С., Осинов Г.А.* Изучение структуры микробного сообщества, активного в биотрансформации минералов железа в каолине // Микробиология, 1996. Т. 65. № 5. С. 682-689.
12. *Daniel R., Warnecke F., Potekhina J.S., Gottschalk G.* Identification of the syntrophic partners in a coculture coupling anaerobic methanol oxidation to Fe(III) reduction // FEMS Microbiol. Lett., 1999. V. 180. P. 197-203.

ECOLOGICAL FEATURES OF THE TAXONOMIC COMPOSITION OF BACTERIOBENTHOS OF THE LAKE ASLYKUL (BASHKORTOSTAN)

© 2014 **N.G. Sherysheva, T.A. Rakitina, L.P. Povetkina**

Institute of Ecology of the Volga River basin of the RAS, Togliatti

The first study of bacteriobenthos communities in the lake Aslykul have been conducted using the mass-spectrometry microbial markers method. The results of the specific structure communities living in the littoral and pelagic sediments of the lake are presented. The environmental influence on the quantitative growth of individual ecological trophic bacteria groups and character of dominance in the community is revealed.

Key words: lake sediments, bacterial community, species structure, dominance, habitat conditions, fatty acid markers, Aslykul lake