

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АССОЦИАЦИИ МИКРООРГАНИЗМОВ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Монтинина Ирина Михайловна

канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Омский
государственный педагогический университет»
imontina@mail.ru

ECOLOGICAL ASSOCIATIONS OF MICROORGANISMS OF NATURAL WATER SOURCES

I. Montina

Summary. The article provides an overview of the main associations of microorganisms in water sources. The causes of the associations are described. The factors contributing to the emergence of groups of microorganisms are shown. Associations of fresh and mineral springs are described. It is noted that a special type of microbial communities is forming in mineral springs. Microbial-algal associations are described in detail. It is shown that a special role in the formation of stable associations belongs to the types of sources and the time of year.

Keywords: microorganisms, associations of microorganisms, groupings of fresh springs, associations of thermal springs.

Аннотация. В статье представлен обзор основных ассоциаций микроорганизмов в водных источниках. Описаны причины возникновения ассоциаций. Показаны факторы, способствующие возникновению группировок микроорганизмов. Описаны ассоциации пресных и минеральных источников. Отмечается, что в минеральных источниках происходит формирование особого типа микробных сообществ. Подробно описаны микробно-водорослевые ассоциации. Показано, что особая роль в формировании устойчивых ассоциаций принадлежит типам источников и времени года.

Ключевые слова: микроорганизмы, ассоциации микроорганизмов, группировки пресных источников, ассоциации термальных источников.

Водные объекты являются основным местом обитания большинства микроорганизмов, которые играют огромное значение в круговороте веществ в природе. Благодаря этим организмам в воде происходят процессы нитрификации, денитрификации, брожения и др.

Сообщества микроорганизмов в воде возникают в зависимости от различных причин и, как правило, на формирование устойчивых группировок влияет степень загрязнения воды органическими соединениями.

Целью исследования явился анализ состава экологических ассоциаций микроорганизмов естественных водных источников.

В естественных источниках существует несколько типов основных микробиоценозов. Существуют следующие ассоциации [8].

1. Ассоциации простейших с бактериями. Учеными описано множество разнообразных примеров симбиозов простейших (родов *Chlamydomonas*, *Amoeba*, *Vanella*, *Tetrahymena* и других) с бактериями родов *Vibrio*, *Aeromonas*, *Mycobacterium*, *Campylobacter*, *Salmonella*, *Shigella*, *Listeria*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Staphylococcus*, *Serratia* и других.
2. Ассоциации простейших с водорослями. Существуют симбиотические ассоциации, включающие простейшие родов *Amoeba*, *Majorella*, *Pleuronema*

с ассоциированными с ними водорослями родов *Coelastrum*, *Chrysococcus*, *Kephyrion* и др. Во многих случаях эндосимбиотические водоросли (зоохлореллы, зооксантеллы, цианеллы и др.) обеспечивают значительную часть энергетических потребностей простейших, создают возможность миксотрофии для гетеротрофных простейших.

3. Ассоциации водорослей с водорослями. Такие группировки обычно включают сине-зеленые водоросли (цианобактерии), которые в слизи могут содержать диатомовые и зеленые водоросли.
4. Ассоциации водоросли — бактерии. Водоросли могут формировать слизистые чехлы, содержащие органические выделения, которые позволяют жить в них ассоциированным бактериям. Водоросли родов *Pandorina*, *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Spirulina*, *Dunaliella* образуют группировки с бактериями *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Sarcina*, *Vibrio*, *Micrococcus*, *Rhodococcus* и другими.
5. Бактерии — бактерии. Существуют различные виды ассоциаций бактерий. Так, авторами установлены ассоциации бактерий, разлагающих целлюлозу и азотфиксаторов. *Acinetobacter* часто ассоциирован с микрококком и дрожжами *Candida*. Синтрофной ассоциацией является *Methanobacterium omelianskii* — ранее это считалось чистой монокультурой метаногенов. Выявлен микробный биоценоз гиперсоленых озер, в который входят галофильные и галотолерантные бак-

терии, причем галофильные бактерии делятся со своими партнерами осмопротекторами.

Структура и функциональное разнообразие микробного сообщества минеральных источников во многом зависят от химического состава вод и пород. Содержание акцепторов электронов, биогенных элементов и веществ в минеральной воде оказывает влияние на формирование состава микробного сообщества и его активность. Микробные сообщества в гидротермах, при отсутствии выедания со стороны эукариотных организмов, могут обладать значительной биомассой и образовывать так называемые микробные маты.

В минеральных источниках широко распространены различные группы микроорганизмов, занимающие в силу физиологических особенностей вполне определенные экологические ниши и связанные между собой трофическими взаимоотношениями. Тесные трофические взаимоотношения между различными группами микроорганизмов позволяют им эффективно участвовать в трансформации органических и неорганических веществ подземных вод, что обусловлено их огромным биохимическим потенциалом и большой численностью.

Исследования микроорганизмов и их сообществ, проведенные на выходе воды и по термальным ручьям минеральных источников Хойто-Гол показали следующие результаты. Отмечается, что присутствие сероводорода в воде является отличительной чертой данных источников. Его поступление осуществляется вулканическими флюидами. Авторами описана устойчивая экологическая ассоциация, включающая разные виды микроорганизмов. Состав микробных сообществ изменяется в зависимости от экологических условий. На выходе источника развиваются космы бесцветных серобактерий *Thiothrix sp.* Ниже по течению ручья с уменьшением концентрации сероводорода увеличивается разнообразие микроорганизмов и появляются бесцветные серобактерии *Beggiatoa sp.*, цианобактерии *Phormidium laminosum*, пурпурные бактерии, близкие к *Rhodospseudomonas palustris*. Отмечено единичное присутствие *Oscillatoria sp.* Через 20–30 м от выхода наблюдается развитие многокомпонентного микробного мата, состоящего из бесцветных серобактерий, пурпурных и цианобактерий, где доминируют виды *Oscillatoria tenuis*, *Oscillatoria limosa*, *Anabaena variabilis*. В следующей зоне развития происходит кальцификация мата и доминирует *Phormidium gelatinosum* [3].

Исследования пресных питьевых источников на примере источника «Лыковский» (Свердловский Район, Орловская область) показало, что численность и видовое разнообразие микроорганизмов изменяется во времени. Весной и в летний период в пресных питьевых источниках могут присутствовать следующие микроорганиз-

мы: клостридиум, бациллы, БГКП, кокки, стрептококки, актиномицеты, цианобактерии клостридиум, бациллы, БГКП, кокки, стрептококки, актиномицеты, цианобактерии клостридиум, бациллы, БГКП, кокки, стрептококки. Осенью видовой состав меняется. В конце сентября в пресных источниках встречаются клостридиум, бациллы, БГКП, кокки, стрептококки [9].

Один из самых крупных источников пресной воды — Озеро Байкал, которое расположено во внутриконтинентальной зоне на юге центральной Сибири и является самым глубоким озером в мире, содержащим самый большой объем жидкой пресной воды. Авторами были проведены исследования из микробных сообществ донных отложений озера Байкал и выделено 7 изолятов, которые были идентифицированы. Анализ показал присутствие в донных отложениях следующих видов: *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas oleovorans*, *Acinetobacter calcoaceticus*. Всего в воде озера было выделено 110 бактериальных штаммов отнесенных к родам *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Nocardia*, *Planococcus*, *Pseudomonas*, *Rhodotorula*, *Vibrio*, *Xanthomonas* и *Zoogloea* [12].

В зоне сильного загрязнения в воде естественных источников содержится достаточно большое количество органических веществ и наблюдается невысокая концентрация кислорода, поэтому в этой зоне наблюдается наибольшее количество группировок микроорганизмов, которые представлены в основном возбудителями бродильных или гнилостных процессов.

Сточные воды сбрасываются как в пресные, так и морские акватории. Изучение водных экосистем прибрежной полосы Каспийского моря, омывающие берега Апшеронского полуострова и Красного моря близ г. Джидда Саудовской Аравии показало наличие достаточно большого числа микроорганизмов. Для обоих водоемов общими группами явились представители порядков прокариотов явились: *Flavobacteriales*, *Campylobacteriales*, *Asidimicrobiales*, *Rodospiralles*, *Rodobacteriales*, *Oceanosprillages*. Исследования показали, что для водоемов, имеющих различные физико-географические и экологические условия, чувствительными на сточные загрязненные воды, ассоциация микроорганизмов могут быть одинаковыми. Независимо от предназначения, определение изменений в микробных группах метабаркодизацией, предполагает использование данных в качестве индикатора для определения деградации окружающей среды [1].

В процессах самоочищения всех водоемов определяющая роль принадлежит бактериальным ферментам.

В таких видах водоемов, как рыбохозяйственные пруды их количество достигает особенно больших величин, т.к. при искусственном кормлении рыбы скапливается большое количество несъеденных кормов, которые приводят к накоплению неразложившегося органического вещества и ухудшению экологической обстановки. Биохимическая активность микроорганизмов влияет на кислородный режим, трансформацию биогенных элементов, образование донных отложений, их характеристику и влияние на водную толщу, а также на санитарное состояние водоемов [11].

Активность свободных бактериальных ферментов зависит от их потенциальной биохимической активности, экологических факторов водоема и особенно высока в начале процесса минерализации легкоразлагаемого органического вещества. Поэтому показателем начальной стадии минерализации белковых соединений могут служить и количественные данные по протеолитическим, амилитическим и липолитическим, аммонифицирующим, нитрифицирующим, денитрифицирующим микроорганизмам, зависящие от типа водоема, антропогенной нагрузки на него и от сезона года. Отмечается, что максимальная их численность нитрифицирующих бактерий наблюдается в начале сезона (июнь) и в среднем составляет 300 кл./мл. В это время во всех водоемах были самые благоприятные кислородные условия, а, как известно, процесс нитрификации происходит только в кислородной зоне [4]. К осени их количество снижается на 3 порядка [7].

В водах пресных водоемов обнаруживаются палочковидные виды родов *Pseudomonas* и *Aeromonas*, кокковидные виды рода *Micrococcus* и извитые бактерии. Загрязнение воды органическими веществами сопровождается увеличением анаэробных и аэробных бактерий, а также грибов. Особенно много анаэробов в иле, на дне водоемов. Микрофлора воды выполняет роль активного фактора в процессе самоочищения ее от органических отходов, которые утилизируются микроорганизмами. Вместе с загрязненными ливневыми, тальными и сточными водами в озера и реки попадают представители нормальной микрофлоры человека и животных (*Escherichia coli*, *Citrobacter spp.*, *Enterobacter spp.*, *Clostridium spp.*, виды бактерий из семейства *Enterococcaceae*) и возбудители кишечных инфекций (брюшного тифа, паратифов, дизентерии, холеры, лептоспироза, энтеровирусных инфекций и др). Поэтому вода является фактором передачи возбудителей многих инфекционных заболеваний. Некоторые возбудители могут даже размножаться в воде (холерный вибрион, легионеллы).

В зонах акваторий, где наблюдается повышенное фекальное загрязнение, в микробных ассоциациях могут встречаться паразитические формы. Из бактериальных паразитов в загрязненных водных объектах показатель-

ны бактерии родов *Bdellovibrio* и *Micavibrio*. Они успешно проникают в такие энтеробактерии как *E.coli*, размножаются в них и выходят в водную среду, лизируя клетки хозяина. Максимальные количества *Bdellovibrio* из расчета на одну клетку *E.coli* были обнаружены в р. Оке в районах сбросов сточных вод населенных пунктов [2].

В естественных природных источниках при умеренном загрязнении в воде могут содержаться разные ассоциации сапротрофных микроорганизмов, осуществляющие процессы минерализации органических веществ. В реках и водоемах может присутствовать более 700 штаммов, которые принадлежат к семействам: *Moraxellaceae*, *Pseudomonaceae*, *Alcaligenaceae*, *Comamonadaceae*, *Brucellaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Aeromonadaceae*, *Vibrionaceae*, *Campylobacteraceae*, *Rhodobacteraceae*, *Enterococcaceae*, *Streptococcaceae*, *Shewanellaceae* [6].

В чистой воде органических веществ практически нет, так как все процессы минерализации органических веществ закончились, поэтому в этой зоне встречаются обычно представители нормальной водной микрофлоры. Однако в донных отложениях присутствуют ассоциации микроорганизмов, разлагающие растительные остатки. В поверхностных слоях иловых осадков преобладают аэробные бактерии, прикрепленные к субстрату, или обладающие скользящим движением. Ниже находятся экологические ниши денитрифицирующих бактерий, Mn- и Fe-редукторов, сульфатредукторов и метаногенов [10].

Наиболее известными группами симбиотических ассоциаций в водных объектах являются бактериальные и водорослевые группировки микроорганизмов. Механизмы взаимных взаимодействий и регуляции бактерий водорослей таких сообществах показывают, что это достаточно сложно организованная ассоциация, в которой водоросли составляют основу группировки, а бактерии являются спутниками их жизнедеятельности. Наиболее частыми сочетаниями компонентов альгобактериологических и бактериальных ценозов в достаточно чистых природных водоёмах являются ассоциации, образованные представителями отдела зелёные, эвгленовые, сине-зеленые водоросли. Это наиболее многочисленные группировки. Представители других отделов выражены гораздо в меньшей степени. В типичных пресных водоёмах представители отдела зеленые водоросли составляют в среднем 58 %, Эвгленовые 10–13 %, Цианобактерии 8–9 %, Золотистые водоросли от 6 до 7 %, Жёлтозелёные водоросли примерно 6 %, Диатомовые в среднем 3%. Такие альгологические ассоциации обычно содержат виды бактерий родов *Acinetobacter*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*. Причём основным фактором, который позволяет выживать прокариотам в ассоциации с водорослями является каталазная активность данных микроорганизмов [5].

Таким образом, в результате проведенного анализа экологических ассоциаций микроорганизмов, обитающих в природных источниках, можно отметить, что для каждого вида источника характерно наличие стабиль-

ных ассоциаций разных типов. Видовое разнообразие ассоциаций микроорганизмов зависит от разных факторов, формируется в течении длительного времени и является достаточно устойчивым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанди Ф.Н. Характеристика ассоциаций микроорганизмов в прибрежных водах морей, расположенных в различных географических положениях // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №7. С. 172–178. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/afandi> (дата обращения 15.07.2018).
2. Вайнштейн М.Б. Водная микробиология и биогеохимия: учеб. пособие / М.Б. Вайнштейн, В.А. Алферов, В.А. Вацурина. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2007 — 145 с.
3. Влияние экологических условий на распределение функциональных групп микроорганизмов в минеральных источниках Хойто-Гол (Восточные Саяны) / Э.В. Данилова, А.В. Бархутова, Д.Д. Брянская [и др.] // Сибирский экологический журнал. — 2009. — Т. 16, № 1. — С. 45–53. — EDN JWNRWB.
4. Дзюбан А.Н. Оценка экологического состояния водохранилищ по критериям бактериобентоса // Гидробиол. журн. — 2004. — №4. — С. 32–33.
5. Игнатенко, М.Е. Характеристика симбиотических связей микроорганизмов в альгобактериальных сообществах природных водоемов: специальность 03.00.0703.00.16: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Игнатенко Марина Евгеньевна. — Оренбург, 2008. — 19 с. — EDN NJFJPN.
6. Изучение антибиотикорезистентности микроорганизмов водоемов г. Ростова-на-Дону / А.В. Тришина, Е.А. Березняк, И.Р. Симонова, Л.М. Веркина // Инфекция и иммунитет. — 2017. — № 5. — С. 822. — EDN UVVYJZ.
7. Киреева, И. Ю. Биохимическая активность микроорганизмов воды и грунтов рыбохозяйственных водоемов аридной зоны / И.Ю. Киреева // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. — 2009. — № 3(58). — С. 13–19. — EDN MUGMIL.
8. Микробиология биоценозов природных водоемов. — Екатеринбург: УрО РАН, 2008. — 156 с.
9. Мосина, К.Р. Анализ качества воды и состояния природного источника «Лыковский» (Свердловский район, Орловская область) / К.Р. Мосина, Т.А. Цуцупа // Природные ресурсы Центрального региона России и их рациональное использование : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию кафедры почвоведения и прикладной биологии Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева, Орёл, 14 ноября 2018 года / Под общей редакцией И.Э. Федотовой. — Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2019. — С. 176–181. — EDN VYGDAL.
10. Нечаева И.А., Акатова Е.В. Оценка микробного состояния рек Тульской области // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. Биология. 2014. Вып. 2. С. 270–281.
11. Олейник Г.Н., Старосила Е.Н. Микробиологическая характеристика водоемов с высокой антропогенной нагрузкой // Гидробиол. журн. — 2005. — №4. — С. 70–81.
12. Скрининг и идентификация микроорганизмов, выделенных из донных отложений озера Байкал / О.О. Бабич, С.А. Сухих, Е.В. Ульрих [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. — 2021. — Т. 9, № 1. — С. 5–14. — DOI 10.14529/food210101. — EDN XMEGRX.