

# СПОСОБНОСТЬ микробных **СООБЩЕСТВ** из ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ оз. ЦАЙДАМ к метаногенной ДЕСТРУКЦИИ **АМИНОАРОМАТИЧЕСКИХ** КСЕНОБИОТИКОВ

**Из донных отложений содового оз. Цайдам выделены микробные консорциумы, разлагающие ароматические амины с образованием биогаза. Выявлены физико-химические параметры, оптимальные для процесса биодegradации (температура 20 и 30 °С, pH 7).**

**Выявлены отличия в микробном составе исходного ила и адаптированных к ароматическим субстратам микробных сообществ, выражающиеся в снижении биоразнообразия и смене доминирующих видов микроорганизмов.**

**Проведено определение филогенетического положения микроорганизмов-членов микробных консорциумов, выделенных из донных отложений.**

## Введение

**Д**онные осадки естественных водоёмов — это один из резервуаров анаэробных микробных сообществ, способных превращать сложные органические вещества в биогаз и вносящих весомый вклад в процессы самоочищения природных экосистем. В их состав входят различные физиологические группы микроорганизмов. Гидролитики и микроорганизмы с бродильным типом метаболизма разрушают твёрдые частицы органического вещества и высокомолекулярные полимеры до низкомолекулярных органических интермедиатов, таких как ацетат и другие летучие жирные кислоты. Микроорганизмы, осуществляющие терминальные стадии процесса деструкции

**Ю.В. Линькова\***,  
кандидат биологических наук,  
ассистент кафедры микробиологии биологического факультета, ФГОУ ВПО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

(сульфатредукторы, метаногены), последовательно минерализуют эти компоненты, завершая конверсию органического материала в  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  [1].

Ароматические соединения являются одними из наиболее токсичных и устойчивых загрязняющих веществ. Термодинамическая стабильность бензольного кольца обуславливает устойчивость к химическому разложению соединений ароматического ряда в окружающей среде и, следовательно, их большую опасность для биосферы [2]. Аминоароматические соединения используются в производстве лекарственных препаратов и лакокрасочных материалов [2], а также являются продуктами восстановления азокрасителей в анаэробных условиях [3], представляя собой токсичные и весьма устойчивые соединения.

Значительная роль в деградации таких веществ принадлежит микроорганизмам [4]. Микробные сообщества донных отложений природных водоёмов помимо разрушения природных полимеров способны к минерализации различных ксенобиотиков [5], в том числе и ароматических [6].

Целью данной работы было изучение способности микробных сообществ из донных отложений природного водоёма (оз. Цайдам), ранее не подвергавшегося воздействию ксе-

\*Адрес для корреспонденции: linkovay@gmail.com

нобиотиков, к минерализации аминокислотных субстратов с образованием биогаза, а также определение ряда факторов, которые могут влиять на скорость и эффективность процесса биодеструкции.

## Материалы и методы исследования

**Исследуемые образцы.** Накопительные культуры выделяли из донных отложений естественного водоёма — оз. Цайдам (Республика Бурятия, Россия) путём адаптации анаэробного ила к аминокислотным субстратам. Площадь озера составляет 1,8 км<sup>2</sup>, минерализация доходит до 15,2 г/л, рН до 10,1 [7]. Оз. Цайдам относится к содовым озёрам и характеризуется высоким содержанием гидрокарбонатных и карбонатных ионов в воде. Значение рН в момент отбора пробы составляло 9,2, температура +15 °С. Проба ила любезно предоставлена д.б.н., проф. Намсараевым Б.Б.

**Условия культивирования.** Пробы ила рассевали на минеральную среду [8], содержащую также 100 мг/л дрожжевого экстракта, микроэлементы и индикатор анаэробных условий резазурин (0,2 мг/л), начальный рН среды был 7,0-7,5. Анаэробные условия создавали с помощью замены азотом газовой фазы в закрытых резиновыми пробками флаконах объёмом 120 мл, а также внесения восстановителя — 0,278 г/л Na<sub>2</sub>Sx9H<sub>2</sub>O. В качестве основных аминокислотных субстратов использовали 2-, 3- и 4-аминобензойные кислоты (2-, 3- и 4-АБК) и 5-аминосалициловую кис-

**И.Б. Котова**, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии биологического факультета, ФГОУ ВПО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**А.И. Нетрусов**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой микробиологии биологического факультета, ФГОУ ВПО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

лоте (5-АСК). Субстраты хранили в виде стерильных концентрированных растворов в анаэробных условиях и вносили в сосуды шприцем до нужной концентрации. Для формирования анаэробных сообществ в жидкую среду, содержащую (амино)ароматический субстрат, вносили 5-10 % (об/об) гомогенизированной пробы ила. В качестве базового режима использовали инкубацию накопительных культур при 28-30 °С в статических условиях в темноте при начальном рН среды 7,0-7,5. Их пересеивали с помощью стерильных шприцев, соблюдая условия анаэробноза.

**Аналитические методы.** Концентрации ароматических соединений и продуктов их деградации определяли спектрофотометрически (Shimadzu UV-1202, «Shimadzu», Япония) при соответствующих длинах волн, а также высокоэффективной жидкостной хроматографией (ВЭЖХ) в обращенных фазах на колонках ChromSpher C18 2 x 10 см («Chrompack», Нидерланды) по поглощению при 230 нм. Концентрацию органических кислот и спиртов определяли с помощью ВЭЖХ на колонке Varian Metacarb 67H (300 x 6,5 мм; «Merck», ФРГ). Содержание газов измеряли на газовом хроматографе Shimadzu GC-2014 («Shimadzu», Япония) с двумя колонками. Разделение водорода и метана проводили на колонке Molsieve 2 м x 3 мм, температура детектора 100 °С, газ-носитель гелий. СО<sub>2</sub> измеряли на том же хроматографе, температура детектора 33 °С, газ-носитель гелий, колонка Poraplot Q C37554, 25 м x 0,53 мм («Chrompack», «Varian Inc.», США).

Таблица 1

Накопительные культуры из ила оз. Цайдам, показавшие потребление аминокислотного субстрата

| Параметры культивирования, субстрат | Лаг-период активности био-разложения (сут) | Средняя скорость деградации (мм/сут) в цикле потребления субстрата | Стабильность активности (возраст культуры/число циклов потребления) |
|-------------------------------------|--|--|---|
| t = 30 °С; рН 7,0; 2-АБК            | 35   | 0,22 ± 0,053   | Средняя (2 года/22)   |
| t = 30 °С; рН 7,0; 3-АБК            | 176  | 0,03 ± 0,001   | Нестабильная (2 года/1)   |
| t = 30 °С; рН 7,0; 4-АБК            | 176  | 0,04 ± 0,005   | Нестабильная (2 года/3)   |
| t = 30 °С; рН 7,0; 5-АСК            | 113  | 0,07 ± 0,002   | Средняя (2 года/10)   |

Данные являются средними значениями трёх независимых экспериментов. Приведены стандартные ошибки среднего значения.

*Денатурирующий градиентный гель-электрофорез (ДГГЭ).* Выделение ДНК из накопительных культур и первичную очистку проводили модифицированным фенол-хлороформным методом [9]. Полученные образцы ДНК дополнительно подвергали очистке с помощью миниколонок «Wizard DNA clean-up system» («Promega Corporation», США). ПЦР-продукты, полученные при амплификации образцов ДНК с праймерами 338F (GC) и 518R (GC), разделяли методом ДГГЭ в 8 % полиакриламидном геле, содержащем линейный градиент (30-70 %) ДНК-денатурантов (мочевина и формамид). Электрофорез проводили при 60 °С при напряжении 70 В 20 ч. После электрофореза гели окрашивали раствором красителя SYBR(R) Gold (разведение 1:10 000) в течение 40 мин. Наиболее чёткие полосы, содержащие фрагменты ДНК, извлекали из геля и впоследствии проводили реамплификацию ДНК-фрагментов, используя праймеры 907R и 515F. Реакции последующего секвенирования ДНК-фрагментов проводили с применением набора BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit («Applied Biosystems», США) на автоматическом секвенаторе Genetic Analyzer Hitachi 3130 (Япония).

*Микроскопические методы.* Морфологические особенности микроорганизмов в образцах исследовали методами световой микроскопии (микроскоп Биолам-2, «ЛОМО», Россия) препаратов термически фиксированных окрашенных фуксином клеток.

## Результаты и их обсуждение

Согласно имеющимся литературным данным, микробные сообщества, выделенные из донных отложений природных водоёмов, способны осуществлять минерализацию различных ароматических ксенобиотиков (бисфенола F [10], полихлорбифенилов [6], хлорзамещённых фенолов и бензойной кислоты [11], толуола и *o*-ксилола [12], полициклических ароматических углеводородов [13]) до биогаза. Возможность деструкции ароматических аминов подобными сообществами ранее показана не была, поэтому было решено проверить, будет ли микробное сообщество из донных осадков такого местообитания, как оз. Цайдам, способно трансформировать аминоксенобиотические соединения.

Из донных отложений этого озера путём длительной адаптации анаэробного ила к аминоксенобиотическим субстратам были выделены накопительные культуры. Единственным источником углерода и энергии в сложившихся микробных сообществах являлись использованные в работе ароматические амины (2-, 3- и 4-АБК, 5-АСК).

## Ключевые слова:

ароматические амины, биодegradация, донные отложения, метаногенные илы

ароматическим субстратам были выделены накопительные культуры. Единственным источником углерода и энергии в сложившихся микробных сообществах являлись использованные в работе ароматические амины (2-, 3- и 4-АБК, 5-АСК).

Процесс деструкции ароматических аминов сообществами, выделенными из донных отложений оз. Цайдам, проходил в несколько стадий. В начале первого цикла потребления субстрата наблюдали определённый лаг-период (адаптационный период), в течение которого могли происходить небольшие колебания концентрации субстрата, однако активного потребления субстрата, как правило, не происходило [14]. Для активных накопительных культур, выделенных из ила оз. Цайдам, длительность лаг-периода составляла от 35 до 176 сут. Дальнейшее использование того же субстрата активными накопительными культурами обычно протекало без лаг-периода и с увеличенной скоростью (сокращалась длительность цикла потребления).

В качестве интермедиатов процесса в различных вариантах полученных накопительных культур фиксировали сначала  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{NH}_4^+$ , затем 2-гидроксипропиловый спирт в случае 5-АСК и пропиловый спирт в вариантах, при которых происходило разложение 2-АБК; в дальнейшем — бензоат, ацетат. Конечными продуктами минерализации используемых аминоксенобиотических субстратов являлись  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ . В качестве интермедиатов в середине цикла деструкции фиксировали также следовые количества лактата, бутирата и этанола. Аналогичная последовательность появления интермедиатов была характерна и для разрушающих аминоксенобиотические соединения анаэробных сообществ, полученных из других источников биоматериала [14].

В естественных местообитаниях значения физико-химических параметров непостоянны и подвержены флуктуациям, в отличие от искусственных очистных сооружений, где условия культивирования гораздо более стабильны и контролируемы. Поэтому был проведён эксперимент по варьированию комплекса физико-химических параметров культивирования (температуры, pH и химической природы субстрата) и исследованию его влияния на процесс деструкции субстрата, морфологические и физиологические характеристики микробного сообщества.



Рис. 1. Спектр субстратов, используемых накопительными культурами из ила оз. Цайдам.

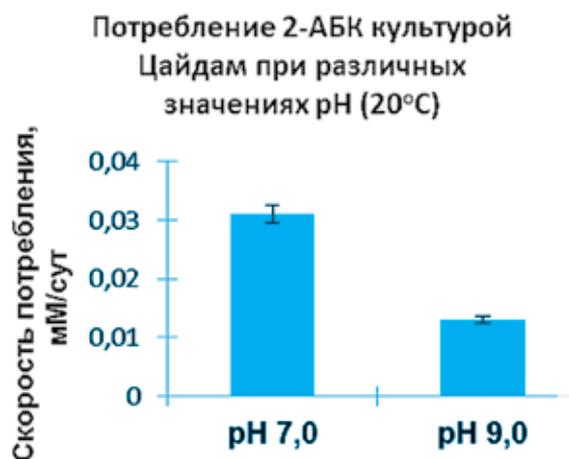


Рис. 2. Потребление субстрата культурой оз. Цайдам, инкубируемой при 20 °С в различных условиях рН.

Для накопительных культур из донных осадков озера задавали разные сочетания трёх факторов: 1) температуры – 20 °С, 30 °С, 55 °С; 2) рН – 7,0 и 9,0; 3) субстрата – 2-АБК, 4-АБК, 3-АБК, 5-АСК. Объем вносимого инокулята составлял 10 % от объема среды. Начальная концентрация субстрата в среде для культивирования была в среднем 3-3,5 мМ. Культивирование всех вариантов проводили в статических условиях в темноте. Проведено инкубирование 50 различных вариантов, в итоге были выделены следующие активные накопительные культуры, разлагающие аминокислотные вещества (табл. 1).

Из всех изученных ароматических аминов наиболее активно в базовом режиме куль-

тивирования происходила деструкция накопительной культурой 2-АБК (рис. 1).

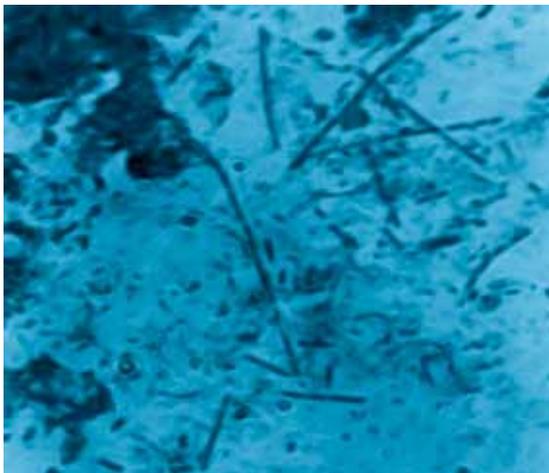
Потребление 2-АБК началось спустя 35 сут, средняя скорость использования субстрата в цикле составила 0,22 мМ/сут. В варианте культивирования при базовых условиях и расщеплении 2-АБК в середине цикла преобладали мелкие палочки, присутствовали немногочисленные длинные прямые тонкие палочки.

В варианте сообщества оз. Цайдам, культивируемом при 20 °С, но при рН 9,0, длительность лаг-периода была примерно такой же, как и в описанном выше варианте. При повышении начального рН среды до 9,0 происходило снижение активности использования субстрата (рис. 2). Процесс потребления 2-АБК сопровождался снижением рН до 7,5-8,0, поэтому проводили принудительное подщелачивание среды. Различий в микроскопической картине по сравнению с вариантом культивирования при рН 7,0 не наблюдали.

В культуре оз. Цайдам, инкубируемой при рН 7,0 и температуре 55 °С, лаг-фаза длилась более 190 сут, первый цикл потребления 2-АБК завершился за 136 сут, однако даже на 320-е сут культивирования не было зарегистрировано образования газообразных продуктов. В конце первого цикла потребления в культуре, помимо отдельных и в скоплениях кокков и мелких палочек, присутствовали немногочисленные фрагментированные палочки. В микроскопической картине этой культуры не выявлено различий в морфотипах по сравнению с вариантом при 30 °С (кокки в скоплениях и отдельно, мелкие палочки), однако при более высокой температуре инкубации наблюдали гораздо больше поврежденных и разрушенных клеток.

Следует отметить, что во всех накопительных культурах, даже при принудительном поддержании кислотности среды в щелочной области, в процессе культивирования рН самопроизвольно устанавливался в интервале значений 6,5-7,5. Очевидно, что оптимальным для процесса деструкции аминокислотных субстратов является начальное значение рН 6,5-8,5. Накопительные культуры, активно разрушающие аминокислотный субстрат, имели рН не выше 8,5.

Температуры 30 °С или 20 °С являются, по-видимому, благоприятными для деградации



**Рис. 3.** Микроскопическая картина исходного ила оз. Цайдам (световая микроскопия,  $\times 1200$ ).



**Рис. 4.** Микроскопическая картина накопительной культуры из донных отложений оз. Цайдам, разрушающей 2-АБК (световая микроскопия,  $\times 1200$ ).

всех изученных нами субстратов. В метаногенных сообществах, полученных из ила оз. Цайдам, условия культивирования при повышенной температуре не стимулировали биodeградацию аминокислотных веществ. Очевидно, температура культивирования  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  неблагоприятно влияет на ход процесса биodeградации и членов анаэробного сообщества, а также усиливает автополимеризацию аминокислот.

Возможность метаногенной биодеструкции аминокислотных ксенобиотиков микробными сообществами, выделенными из донных отложений естественного водоёма, была впервые продемонстрирована в нашей лаборатории. В природных условиях показанная потенциальная возможность минерализации аминокислот не всегда реализуется по причине неоптимальных температур

и рН-условий, вследствие чего может происходить постепенное накопление ароматических аминов, приводящее к изменению компонентного состава данной экосистемы и её трофической структуры.

Итак, нами было показано, что микробиота донных отложений оз. Цайдам способна конвертировать аминокислотные ксенобиотики в биогаз. Однако и ароматические амины, в свою очередь, являясь высокотоксичными веществами, вызывают существенные изменения в структуре и функционировании контактирующего с ними микробного сообщества.

Природные водоёмы различаются по многим характеристикам, в том числе по физико-химическим параметрам. Нативный ил представляет собой зеленовато-серые крупные рыхлые хлопья, напоминающие по внешнему виду комковатый войлок. Микроскопический анализ частиц ила показал, что они состоят из скоплений мелких и крупных кокков и палочек разной длины и формы (рис. 3).

При контакте микробного сообщества ила с аминокислотным ксенобиотиком и в процессе адаптации наблюдали изменения культуральных признаков и микроскопической картины накопительных культур, выделенных из донных отложений. Равномерно взвешенные частички или хлопья ила с течением времени слипались и образовывали плотные конгломераты. С началом активного газообразования иногда происходило «вспухание» ила из-за появления в его матриксе газовых пузырей. Во всех микробных ассоциациях независимо от степени их активности при воздействии аминокислоты наблюдали значительное «обеднение» биоразнообразия и смену доминирующих видов микроорганизмов. Так, активное потребление аминокислотного субстрата было связано с увеличением количества мелких палочек в культуре в середине цикла, терминальная стадия процесса (образование метана) сопровождалась появлением в культуре длинных фрагментированных палочек и изогнутых нитей (рис. 4).

Анаэробные микробные сообщества донных отложений, использованные в нашей работе, являются хорошо сбалансированными системами с облигатными связями между микроорганизмами — членами сообщества. Синтрофные взаимодействия в таких сооб-

Таблица 2

Филогенетическое положение микроорганизмов, оцененное с помощью секвенирования 16S рДНК-фрагментов

| № | Ближайший вид или таксон (база данных NCBI)                        | Филогенетическая группа                    | % сходства |
|---|--|--|------------|
| 1 | Uncultured <i>Thermotogae</i> bacterium clone NS2_41A15_EU722200   | <i>Thermotogae</i> ; environmental samples | 98         |
| 2 | Uncultured soil bacterium PRR-1D_AJ390476                          | <i>Bacteria</i> ; environmental samples    | 87         |
| 3 | Uncultured <i>Bacteroidetes</i> bacterium clone QEEA3BE12_CU918694 | <i>Bacteria</i> ; environmental samples    | 96         |
| 4 | Uncultured <i>Thermotogae</i> bacterium clone QEDR1CC12_CU922832   | <i>Bacteria</i> ; environmental samples    | 87         |

щества зачастую усложняют выделение из них чистых культур микроорганизмов и затрудняют их культивирование из-за специфических особенностей, таких, например, как низкое парциальное давление водорода, которое поддерживается метаногенными археями [15], или наличия особых ростовых факторов, поэтому особую актуальность в последнее время приобрели молекулярно-биологические методы анализа микробных сообществ без выделения чистых культур. Для оценки филогенетического положения микроорганизмов, зависящих друг от друга в сложной пищевой цепи (сети), использовали ДГГЭ-метод анализа [16] сообщества оз. Цайдам, разрушающего 5-АСК. Поскольку микроорганизмы, осуществляющие метаногенез в таких сообществах, известны как представители родов *Methanosaeta*, *Methanosarcina*, *Methanospirillum* [16], то основное внимание уделяли членам консорциумов, отвечающим за предшествующие стадии процесса.

При разделении методом ДГГЭ продуктов амплификации ДНК с универсальными бактериальными праймерами был получен ДГГЭ-профиль исследованного образца. Секвенирование реамплифицированных и очищенных ДНК-фрагментов, экстрагированных из ДГГЭ-полос, и филогенетический анализ полученных нуклеотидных последовательностей генов 16S рДНК выявили присутствие в исследуемой культуре значительных количеств некультивируемых представителей различных филогенетических групп (табл. 2). Представленные ДГГЭ-полосы имели одинаковую интенсивность.

Как следует из таблицы, в исследованной накопительной культуре оз. Цайдам, разрушающей 5-АСК, преобладают некультивируемые представители филогенетических групп *Thermotogae* и *Bacteroidetes*, а также

некультивируемые формы представителей почвенных бактерий.

## Заключение

Таким образом, микробные сообщества, выделенные из ила природного водоема, оз. Цайдам, никогда ранее за всю историю своего существования не сталкивавшегося с подобными ксенобиотиками, оказались способны в определенных условиях к трансформации ароматических аминов, причём обезвреживание токсиканта сопровождалось образованием биогаза. Активные микробные сообщества, выделенные из ила озера, сформировались как хорошо сбалансированные системы с облигатными связями между микроорганизмами — членами сообщества. Процесс детоксикации аминоксенобиотика происходил по одной общей схеме, строго при мезофильных условиях и нейтральном рН. При этом в процессе взаимодействия с ароматическими аминами микробные консорциумы претерпевали значительные изменения — видовой состав активных накопительных культур становился беднее по сравнению с исходным илом донных осадков, а во время каждого цикла потребления субстрата в сообществе происходила смена доминирующих морфотипов.

## Литература

- Edmonds J.F. Variation in prokaryotic community composition as a function of resource availability in tidal creek sediments / Edmonds J.F., Weston N.B., Joye S.B., Moran M.A. // Appl. Env. Microbiol. 2008. V. 74. № 6. P. 1836-1844.
- Carmona M. Anaerobic catabolism of aromatic compounds: a genetic and genomic view / Carmona M., Zamarro M.T., Blazquez B., Durante-Rodriguez,

Juarez J.F., Valderrama J.A., Barragan M.J.L., Garcia J.L., Diaz E. // Microbiol. Mol. Biol. Rev. 2009. V. 73. № 1. P. 71-133.

3. Емашова Н.А. Особенности разложения азокрасителей анаэробными микробными сообществами / Н.А. Емашова, И.Б. Котова, А.И. Нетрусов, С.В. Калюжный // Прикл. биохим. микробиол. 2009. Т. 45. № 2. С. 195-201.

4. Diaz E. Bacterial degradation of aromatic pollutants: a paradigm of metabolic versatility // Int. Microbiol. 2004. V. 7. № 3. P. 173-180.

5. Youngster L.K.G. Community characterization of anaerobic methyl *tert*-butyl ether (MTBE)-degrading enrichment cultures / Youngster L.K.G., Kerkhof L.J., Haggblom M.M. // FEMS Microbiol. Ecol. 2010. V. 72. № 2. P. 279-288.

6. Ye D. Anaerobic dechlorination of polychlorobiphenyls (Aroclor 1242) by pasteurized and ethanol-treated microorganisms from sediments / Ye D., Quensen J.F. 3rd, Tiedje J.M., Boyd S.A. // Appl. Env. Microbiol. 1992. V.58. № 4. P. 1110-1114.

7. Банзаракцаева Т.Г. Гидрохимические и микробиологические характеристики содовых и содово-солёных озёр Юго-Восточного Забайкалья / Т.Г. Банзаракцаева, Е.Ю. Абидуева, Б.Б. Намсараев // География и природные ресурсы. 2007. № 2. С. 101-105.

8. Razo-Flores E. Biodegradation of selected azo-dyes under methanogenic conditions / Razo-Flores E., Luitjen M., Donlon B.A., Lettinga G., Field J. // Water Sci. Technol. 1997. V. 36. № 6-7. P. 65-72.

9. Нетрусов А.И. Практикум по микробиологии: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Нетрусов, М.А. Егорова, Л.М. Захарчук, Н.Н. Колотилова, И.Б. Котова и др. М.: Академия. 2005. 608 с.

10. Inoue D. Degradation of Bis(4-Hydroxyphenyl) methane (bisphenol F) by *Sphingobium yanoikuyae* strain FM-2 isolated from river water / Inoue D., Hara

S., Kashiwara M., Murai Y., Danzl E., Sei K., Tsunoi S., Fujita M., Ike M. // Appl. Env. Microbiol. 2008. V. 74. № 2. P. 352-358.

11. Haggblom M.M. Influence of alternative electron acceptors on the anaerobic biodegradability of chlorinated phenols and benzoic acids / Haggblom M.M., Rivera M.D., Young L.Y. // Appl. Env. Microbiol. 1993. V. 59. № 4. P.1162-1167.

12. Edwards E.A. Anaerobic degradation of toluene and o-xylene by a methanogenic consortium / Edwards E.A., Grbic-Galic D. // Appl. Env. Microbiol. 1994. V. 60. № 1. P. 313-322.

13. Hilyard E.J. Enrichment, isolation, and phylogenetic identification of polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading bacteria from Elizabeth river sediments / Hilyard E.J., Jones-Meehan J.M., Spargo B.J., Hill R.T. // Appl. Env. Microbiol. 2008. V. 74. № 4. P. 1176-1172.

14. Котова И.Б. Анаэробные микробные сообщества, разлагающие аминокислоты / И.Б. Котова, О.В. Савельева, А.Т. Дьяконова, В.И. Скляр, С.В. Калюжный, А. Стамс, А.И. Нетрусов // Прикл. биохим. микробиол. 2005. Т. 41. № 4. С. 422-428.

15. Stams A.J.M. Electron transfer in syntrophic communities of anaerobic bacteria and archaea / Stams A.J.M., Plugge C.M. // Nature Reviews Microbiol. 2009. V. 7. № 8. P. 568-577.

16. Diaz E.E. Phenotypic properties and microbial diversity of methanogenic granules from a full-scale Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor treating brewery wastewater / Diaz E.E., Stams A. J. M., Amils R., Sanz J. L. // Appl. Env. Microbiol. 2006. V. 72. № 7. P. 4942-4949.

Yu.V. Lin'kova, I.B. Kotova, A.I. Netrusov



## CAPABILITY OF MICROBIAL SOCIETY FROM BOTTOM SEDIMENTS OF THE TSAIDAM LAKE TO METHANOGEN DECOMPOSITION OF AMINO AROMATIC XENOBIOTICS

Microbial society destructed aromatic amines with biogas formation was isolated from the lake Tsaidam. Optimal physico-chemical parameters of the biodegradation process were detected (T=20 and 30 °C, pH=7). It was found out that microbial composition of initial sludge and aromatic-adapted society are distinguished by depressed diversity and dominate species. Phylogenetic identification of isolated microbes was carried out.

**Key words:** aromaticamines, biodegradation, bottom sediments, methanogen sludges.