EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. XIV KÖIDE
BIOLOOGILINE SEERIA. 1965, Nr. 4

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ XIV
СЕРИЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ. 1965, № 4

https://doi.org/10.3176/biol.1965.4.06

Н. ГРАЧЕВА, М. РОМЕЙКИС

ОКИСЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ МИКРООРГАНИЗМАМИ В СВЯЗИ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКОЙ СТОЧНЫХ ВОД

(Обзор)

В Институте экспериментальной биологии АН ЭССР недавно начали изучать морфологические, культуральные и биохимические свойства фенолразрушающих микроорганизмов и адаптацию их к повышенным дозам фенола. Решение этих вопросов позволит наиболее полно очищать фенольные сточные воды, в большом количестве образующиеся на сланцеперерабатывающих комбинатах нашей республики. Данный краткий обзор является вводным к экспериментальным статьям и посвящен микробиологическим процессам, протекающим при окислении некоторых органических веществ; большое внимание обращено на разрушение фенолов микроорганизмами.

Проблема очистки сточных вод приобретает все более важное значение в связи с загрязнением водоемов и значительной потерей ценных веществ, сбрасываемых со сточными водами. В СССР с производственными сточными водами сбрасывается в год 0,5 млн *т* нефти, 20 тыс. *т* ланолина, до 0,5 млн *т* древесного волокна, около 3 млн *т* сульфитных щелоков, значительное количество кислот, фенолов, никеля, меди, хрома, цинка и т. д.

В настоящее время существует несколько видов очистки с различной эффективностью: механическая очистка удаляет из сточных вод 60—90% нерастворимых примесей, механохимическая — 80—85, физико-химическая — 90, биологическая — 90%. Для некоторых производственных сточных вод единственно возможной является биологическая очистка. К ним относятся фенольные и нефтяные стоки, стоки искусственного волокна и другие, среди которых очистка фенольных сточных вод занимает более 40% (Монгайт, Яковлев, 1961). Биохимический процесс окисления фенолов используется при очистке сточных вод газовых и коксогазовых заводов, заводов полукоксования каменного и бурого угля, термической переработки сланцев, предприятий по производству фенолформальдегидных смол, органического синтеза и т. д.

Фенольные сточные воды, спускаемые в водоемы, оказывают неблагоприятное влияние на человеческий организм, вкус и запах воды, фауну и флору водоемов. Вода, содержащая 0,1 *мг/л* фенола, приобретает неприятный запах иодоформа и становится непригодной для хозяйственного использования. При хлорировании вследствие образования хлорфенола вода непригодна даже при концентрации 0,02 *мг/л* фенола. Значение фенольной сточной воды для рыб определяется не абсолютным содержанием фенола, а всеми компонентами химического состава, поэтому рыбы

могут выдерживать лишь очень небольшое содержание фенола в воде (0,2 *мг/л*), но и это количество придает мясу рыб неприятный привкус. Планктон выдерживает более высокие концентрации (10—60 *мг/л*). Летальные дозы для патогенных микроорганизмов колеблются в очень широких пределах (Баштан и др., 1941).

Процессы биологической очистки и микроорганизмы, участвующие в них

Биологическая очистка сточных вод осуществляется двумя путями: аэробным (биофильтры, аэротенки и др.) и анаэробным (метантенки, септиктенки и др.).

Аэробное окисление. В результате жизнедеятельности различных аэробных микроорганизмов на биофильтре происходит окисление органических веществ; при этом образуется биологическая пленка на поверхности щебня, заполняющего биофильтр. Основная роль при биологической очистке принадлежит бактериям-метатрофам. При разложении органических веществ в процессе обмена бактерии получают необходимую им энергию, в результате чего образуются вещества с меньшим энергетическим запасом. Здесь происходят восстановительные процессы с выделением ионов водорода и ряда промежуточных соединений. Дальнейший процесс может протекать лишь при удалении ионов водорода, что возможно только в присутствии кислорода. В этом случае кислород восстанавливается до перекиси водорода, а затем и до воды. В результате этого окислительный потенциал сточной воды непрерывно падает. Процесс протекает лишь при участии микроорганизмов.

В биофильтре развиваются различные микроорганизмы и простейшие, состав которых меняется с глубиной. На глубине до 50 *см* во всех слоях встречаются микробы. В верхнем слое (0—10 *см*) преобладают инфузории, в меньшем количестве встречаются коловратки, личинки насекомых и гифы грибов, а также различные водоросли. Бактерии минерализуют органические вещества и являются питанием для простейших; водоросли выделяют кислород. Глубже (10—15 *см*) преобладают черви, разрыхляющие биопленку. Они участвуют и в разложении органических веществ, заглатывая и переваривая их (хитин, клетчатку и т. д.) (Друблянец и др., 1958).

Существует и противоположная точка зрения, а именно, что клетчатка сначала служит пищей для разрушающих ее бактерий, которые затем уничтожаются простейшими (Болотина, 1960).

При созревании биопленки первыми появляются бактериальные палочки с ослизненной оболочкой, образующие при склеивании зооглеи; несколько позже — дрожжеподобные организмы и плесени; в дальнейшем — крупные слизистые кокки, а также разнообразные представители микрофауны (Ткаченко, 1963).

При биологической очистке сточных вод в аэротенках образуется активный ил, являющийся сложным комплексом плавающих и прикрепленных микроорганизмов, разных посторонних включений органического и неорганического происхождения (Болотина, 1960).

Количество бактерий в активном иле достигает нескольких миллиардов на 1 *г* сухого ила. Видовой состав микроорганизмов ила разнообразен: бактерии сточных вод, главным образом сапрофитные, почвенные и водные формы. Активный ил характеризуется очень большим количеством слизистых скоплений — зооглей. Среди микрофлоры активного ила

встречаются и факультативные анаэробы, которые проходят аэротенк и заселяют активный ил. При недостатке растворенного кислорода они способны проявлять свои анаэробные функции. Особенно быстро на малейшее нарушение режима реагируют денитрификаторы и гнилостные бактерии (Лопатин, 1964).

Активный ил, сточная жидкость и кислород — основные факторы биологической очистки (Болотина, 1960). Объем и концентрация сточной воды и количество воздуха определяют характер активного ила. Качество и концентрация его влияют на очистку в аэротенках. Автор различает три стадии процесса очистки:

1. Сорбция, или поглощение большого количества органического вещества сточной жидкости и частичное окисление растворенных органических веществ. Эта стадия протекает сравнительно быстро (в течение первого получаса аэрации), при этом интенсивно поглощается кислород воздуха. На скорость процесса влияет концентрация поступающей жидкости.

2. Окисление сорбированных активным илом органических веществ — регенерация активного ила. Этот процесс идет медленно и требует более длительного периода аэрации.

3. Нитрификация аммонийного азота — показатель хорошо протекающего процесса биологической очистки воды.

В случае изменения состава сточных вод, при перегрузке аэротенков или недостаточной аэрации процесс нитрификации нарушается (Воробьев, 1960).

При достаточном доступе воздуха и высокой степени аэрации активного ила зооглеи лучше образуют хлопья и очищенная жидкость становится более прозрачной.

Простейшие активного ила представлены тремя основными группами: жгутиковыми, амебами и реснитчатыми инфузориями.

Активный ил перегруженных сооружений содержит большое количество органических остатков; ими питаются жгутиковые и амебы, преобладающие в таком иле. Иногда здесь развиваются нитчатые бактерии, препятствующие осаждению активного ила, при этом происходит «вспухание» его. В нормально работающем аэротенке в большом количестве развиваются инфузории, питающиеся в основном бактериями. Инфузории представлены четырьмя группами: *Vorticella, Opercularia, Epistilis, Chilodonella* (Смирнова, Телегина, 1959). На процесс питания инфузорий бактериями влияет два фактора:

1. Усвояемость отдельных видов бактерий определенными видами инфузорий.

2. Избирательность инфузорий по отношению к бактериям. Уничтожение бактерий инфузориями способствует постоянному развитию бактерий и поддержанию их энзиматической деятельности.

Простейшие способны усваивать загрязнения в том виде, в каком они принесены жидкостью: живые и мертвые бактерии, зерна крахмала, капельки эмульгированного жира и т. д. Обмен веществ у них протекает очень интенсивно, т. е. они переваривают громадные количества органического вещества на единицу своего веса и в единицу времени. Это определяет большую минерализующую роль простейших в процессе очистки.

Очистка сточных вод, содержащих органические вещества, основана на способности гетеротрофных бактерий усваивать эти вещества при соответствующих условиях (Лапшин, Строганов, 1938). В аэробных условиях многие органические вещества минерализуются до углекислоты и воды;

кроме того, сероводород окисляется до серы и серной кислоты, аммиак — до азотистой и азотной кислот.

Сточные воды от производства искусственного волокна, клея и желатина не вызывали быстрого отмирания зеленой водоросли *Rhizoclonium*, подобным же образом действовали они и на ракообразных *Asellus aquticum* (Зденек, 1960). Автор высказывает предположение, что при постепенном повышении концентрации этих веществ в речной воде возможно приспособление к ним микрофлоры.

Микрофлора биопленки идентична микрофлоре активного ила; количество клеток микроорганизмов в 1 $м^3$ биофильтра — 1×10^{12}; 28,9% этого количества приходится на анаэробную микрофлору. В 1 $м^3$ аэротенка содержится 2×10^{14} клеток, из них анаэробов — 0,01%.

Ц. Роговская и М. Лазарева (1959) изучали семь активных илов, очищающих различные сточные воды, в числе которых были активные илы от термической переработки сланцев и искусственно составленного стока. Из всех илов был выделен 71 штамм бактерий, которые относятся к следующим родам: *Pseudomonas* (50—85% общего числа выделенных микроорганизмов), *Bacillus* (8—33%), *Bacterium, Sarcina, Micrococcus* (16,6%). Кроме них, были обнаружены грибы и дрожжи. Активные илы характеризуются незначительным видовым различием и наличием общих форм микроорганизмов. Это говорит о том, что гетеротрофные микроорганизмы обладают большим разнообразием типов обмена веществ, поэтому они быстро приспосабливаются к очистке различных промышленных сточных вод.

Большинство из выделенных бактерий — неспороносные, грамотрицательные палочки. Они способны усваивать минеральный азот и почти все являются денитрификаторами. Отношение их к углеводам различно. Подавляющее большинство (83—91%) микроорганизмов, выделенных из илов, очищающих фенольные стоки, окисляют фенол. Такой же способностью обладают 45—65% микробов, выделенных из других илов. Количество фенолразрушающих микроорганизмов повышается при адаптации их к фенолу.

Анаэробное окисление. Осадок сточных вод, полученный при отстаивании и фильтрации их, очень богат органическими веществами, измеряемыми десятками и сотнями граммов на 1 *л* (Родзиллер, 1964). К окислению таких концентраций аэробы не приспособлены. В этих случаях биологическая очистка возможна при анаэробных процессах, когда происходит распад органического вещества путем расщепления сложных молекул на более простые. Конечными продуктами анаэробного распада органического вещества являются углекислота, метан, спирты, окись углерода и вода (Беренс, Затлер, 1962). При наличии в субстрате азота происходит его распад с образованием аммиака и свободного азота. Органическое вещество, содержащее серу, распадается с образованием сероводорода.

Во всех этих процессах участвуют аммонифицирующие бактерии, микроорганизмы, восстанавливающие соли серной и азотной кислот, сбраживающие углеводы, разрушающие клетчатку, жирные кислоты и стойкие углеводороды.

Процессы анаэробного распада происходят очень медленно, так как анаэробы (по сравнению с аэробами) вынуждены перерабатывать значительное количество органического вещества для получения необходимой энергии. Интенсивность анаэробных процессов тесно связана с температурой: с повышением ее на 10° скорость биохимических реакций удваивается.

«Свежий» осадок легко поддается гниению с обильным газообразованием. Искусственное усиление гнилостного процесса дает возможность проводить распад осадка без выделения зловонных продуктов (Таусон, 1932).

Процесс анаэробного распада осадка, вызываемый метанобразующими бактериями и сопровождающийся выделением метана, получил название метанового брожения.

Метанобразующие бактерии не способны усваивать белковые вещества, поэтому основным источником азота для них является аммиак (Ahrens, 1956—1957). Являясь строгими анаэробами, метанобразующие бактерии получают необходимую для их жизнедеятельности энергию в результате реакций, приводящих к образованию метана. При этом водород специфического субстрата, или молекулярный водород, окисляется за счет кислорода углекислоты.

Промышленное метановое брожение осадка сточных вод протекает в две стадии:

1. Распад органического вещества до жирных кислот.

2. Распад жирных кислот до метана и углекислоты. Вторая стадия является собственно метановым брожением.

Процесс метанового брожения осуществляется в метантенках — закрытых резервуарах, где поддерживается повышенная температура. В случае термофильного брожения процесс переработки осадка идет значительно быстрее и обеспечивается обезвреживание массы активного ила от патогенных микроорганизмов (Монгайт, Яковлев, 1961). Наиболее полному распаду в метантенках подвергаются углеводы и жиры, разрушаются также белки, углеводороды и другие соединения.

В условиях щелочного метанового брожения тифозные и паратифозные бактерии сохраняют свои патогенные свойства в течение трех месяцев, следовательно, осадок из метантенка нельзя применять в качестве удобрения (Barta, Hudcova, 1962).

Окисление углеводородов и органических кислот микроорганизмами. Пути приспособления микрофлоры к химическому составу сточных вод

Процессы окисления углеводородов, органических кислот и других органических соединений находятся в непосредственной связи с вопросами биологической очистки сточных вод.

Углеводородокисляющие микроорганизмы можно разделить на две группы:

1. Микроорганизмы, использующие в качестве источника углерода только углеводороды.

2. Микроорганизмы, питающиеся и другими органическими соединениями. При длительном культивировании этих микробов на средах без углеводородов они постепенно теряют способность окислять углеводороды.

Бо́льшая часть углеводородокисляющих бактерий относится ко второй группе.

Каждая чистая культура микроорганизмов способна окислять углеводороды до какого-либо промежуточного продукта. Накапливаясь в среде, этот продукт может задерживать или совершенно прекращать развитие данной культуры. При смешанной культуре возможно наиболее полное окисление субстрата, так как различные микроорганизмы могут вступать в процесс окисления на разных стадиях его (Телегина, 1961).

Углеводородокисляющей способностью обладают различные группы микробов (Любимов, 1963): *Methanomonas, Pseudomonas, Mycobacterium, Corynebacterium*, а также отдельные представители актиномицетов и грибов.

Микобактерии способны усваивать в качестве единственного источника углерода метанол, нафталин, керосин, соляровое масло; фенол потребляется слабее.

Микроорганизмы окисляют все углеводороды с открытой цепью (предельные и непредельные) до углекислоты и воды (Таусон, 1950). При этом накопления значительных количеств промежуточных продуктов не наблюдается. Предельные углеводороды окисляются труднее и медленнее, чем соединения с окисленными атомами углерода. При увеличении числа гидроксильных и карбоксильных группировок, вещества становятся более доступными для микробного окисления.

Выделенные из почвы различные штаммы *Pseudomonas, Nocardia* и неидентифицированные бактерии способны окислять в минеральной среде парафин, вазелиновое масло и отдельные углеводороды прямой и разветвленной цепи с количеством углеродных атомов C_{18}—C_{24} (Ткаченко, 1960).

З. Смирнова и З. Телегина (1959) установили, что представители рода *Pseudomonas* по-разному относятся к углеводородам парафинового ряда. Одни из них потребляют только метан, другие окисляют все гомологи метанового ряда, третьи — только углеводороды, начиная с этана или пропана.

В подземных водах и породах нефтегазоносных районов широко распространены углеводородокисляющие бактерии (Смирнова, 1964). Вода этих районов представляет собой благоприятную среду для жизнедеятельности их, так как в ней растворены кислород и газообразные углеводороды. Из этих вод было выделено восемь видов бактерий, представителей четырех родов: *Pseudomonas, Bacterium, Pseudobacterium, Mycobacterium*. Данные виды, находясь в почвах и водах ненефтеносных районов, не способны окислять газообразные углеводороды.

Органические кислоты самого разнообразного химического строения могут усваиваться микроорганизмами (Малченков, 1961; Таусон, 1933). Ароматические кислоты окисляются полностью, т. е. до углекислоты и воды. При нормальных условиях окислительного процесса промежуточные продукты в значительных количествах не накапливаются. Предельные концентрации ароматических кислот, подвергающиеся биохимическому распаду, выше, чем таковые для фенола. С увеличением числа гидроксильных групп в молекуле, усвояемость их микроорганизмами увеличивается. Кроме того, уменьшается ядовитое действие соединения. Кислоты, не содержащие ни одной гидроксильной группы, при концентрации выше 0,15—0,2% уже ядовиты. Ядовитое действие кислот с одной гидроксильной группой отодвигается в область концентрации 0,3—0,4%. У кислот с большим количеством гидроксилов ядовитое действие не проявляется при концентрации 1%.

Кроме строения и свойств данного вещества, на его ядовитость влияют условия внешней среды. На развитие *B. phenanthrenicum* в кислой среде ядовитое действие пирокатехина проявляется при более низких концентрациях, чем в нейтральной или слабощелочной среде. Присутствие в растворе активной формы железа также заметно влияет на ядовитость данного соединения. Иногда накопление значительных количеств промежуточных продуктов, ядовитых или вызывающих изменение среды, тоже усиливает ядовитое действие ароматических кислот.

При окислении двузамещенных производных бензола наиболее устойчивыми в биохимическом отношении являются мета-соединения, что зависит от большей устойчивости бензольного ядра в мета-положении по сравнению с другим положением групп.

При наличии боковой цепи в молекуле ароматических соединений первые окисляются обычными для соединений с открытой цепью путями, приводя в конечном счете к образованию гидроксильного производного. Усвоение микроорганизмами ароматических соединений возможно лишь в случае разрыва бензольного кольца и перехода циклического соединения в соединение с открытой цепью. Окисление орто-производных бензола направлено к месту двойной связи и возможно двумя путями:

1. Образование муконовой кислоты при разрыве одной двойной связи.

2. Разрыв трех двойных связей и образование щавелевой кислоты (Таусон, 1933).

Морфолого-физиологическая картина микробной клетки изменяется под влиянием фенола.

При бактериостатической концентрации фенола (1 : 750) лагфаза у *Bact. coli* длится до 10—12 часов (Имшенецкий, Перова, 1954, 1955, 1957). После этого клетка незначительно набухает, увеличивается ее оптическая плотность, а затем идет медленное увеличение ее в длину в 2—3 раза; клетка не делится и рост ее быстро прекращается. Затем патологические изменения в клетке (дифференциация хроматина в виде гранул, зернистость цитоплазмы, разрыхление оболочки и пр.) постепенно нарастают и приводят клетку к гибели; после 8—10 дней от клетки остаются лишь оболочка и детрит.

Суббактериостатическая концентрация фенола (1 : 800) отличается более короткой лагфазой (6—8 часов), после чего клетка набухает, увеличивается в длину, а содержимое ее темнеет. Большинство клеток, не делясь, растут и образовывают скопление нитей. По прошествии определенного времени рост прекращается и выявляются полярные гранулы; оптическая плотность понижается и в цитоплазме появляются дифференцированные зерна. Деление нити наступает на 3—4, а в некоторых случаях — на 8—10 сутки. В дальнейшем все колонии распадаются, образуя детрит.

При дальнейшем понижении концентрации фенола (1 : 900) наблюдается ослабление влияния его на бактериальную клетку. Лагфаза не превышает четырех часов; большее количество клеток сохраняет способность к делению, образуя нормальные колонии.

Действие фенола на бактериальную клетку проявляется в значительных нарушениях в оболочке: разрыхлении ее, потери четкости контуров и эластичности, ломкости, образовании ампулообразных расширений, разрывах и распаде ее.

В результате изучения действия антисептиков на дрожжевую клетку *Sacch. cerevisiae* была получена раса дрожжей, устойчивость которой к фенолу возросла в восемь раз по сравнению с исходной (Имшенецкий, Перова, 1954, 1955, 1957). Адаптация дрожжей к фенолу ускоряется, если время от времени пересеивать приучаемую культуру на пивное сусло без яда, что улучшает физиологическое состояние дрожжей и облегчает их дальнейшую адаптацию. Клетки дрожжей, адаптированных к фенолу, очень крупные, овальных или удлиненных очертаний, вакуолей мало, метахроматиновые зерна небольшие, ядра крупные и рыхлые, неправильных форм. В клетках содержится много капель жира. При посеве в пивное сусло эти дрожжи сбраживают его энергичнее, чем исходная форма.

Ускорение брожения не связано с изменением физиологии дрожжей, а зависит от адсорбции антисептиков к клеткам микробов.

Все фенолы и полифенолы могут быть использованы микроорганизмами в качестве единственного источника углерода. При этом происходит полное окисление указанных веществ (Таусон, 1932).

Польские исследователи (Hurtvitz, 1957) указывают, что без предварительных пассажей микроорганизмы реки Вислы, загрязненной фенолами, способны разлагать до 400 *мг/л* фенола, а после адаптации окисляют до 2000 *мг/л*.

По другим данным (Калабина, 1961), фенол в растворе до 3000 *мг/л* может служить источником углерода для микроорганизмов. Оптимальными концентрациями фенола для развития микробов на минеральной среде являются 200—500 *мг/л*. Н. Путилиной (1959) методом последовательного отбора удалось вывести высокоактивные фенолразрушающие микроорганизмы. Они окисляют как низкие концентрации фенола (0,5—50 *мг/л*), так и высокие (250—1000 *мг/л*). При хранении их на средах с фенольной сточной водой удалось добиться не только разрушения фенолов, но и усвоения азота из аммиачных соединений и сделать их устойчивыми к цианистым и роданистым соединениям. Выделенные микроорганизмы были внесены в очистные сооружения девяти коксохимических заводов и трех газогенераторных станций. По прошествии восьми лет оказалось, что фенолразрушающие бактерии незначительно изменили свои свойства и, хотя находятся в биологическом бассейне среди разнообразной микрофлоры, создают основную массу микроорганизмов (Юровська, 1962).

Возможность применения активного ила в сельском хозяйстве

Микробиологические процессы, протекающие при использовании углеводородов, в том числе и при очистке сточных вод, дают возможность получить ряд ценных веществ.

Из сточных вод гидролизных и коксохимических заводов с содержанием 1—1,3% летучих жирных кислот путем микробиологического синтеза можно получить белок, витамины и ростовые вещества (Leibnitz и др., 1959). Сточные воды с достаточным количеством аммиака могут окисляться биологически при добавлении соответствующих количеств фосфора. Образующийся при этом активный ил является ценнейшим продуктом, содержащим также витамин B_{12}.

Сточные воды от карбонизации бурого угля в смеси с декстронером (отход производства глюкозы) представляют собой хорошую среду для выращивания дрожжей и получения белковых веществ.

Способность микроорганизмов использовать углеводороды нефтяных фракций применена во Франции (Champagnat и др., 1963), для получения белково-витаминных концентратов. Выделенные бактерии *Pseudomonas* и дрожжи богаты белками. Выход сухой массы дрожжей при выращивании их на алканах составляет 10—15 *г/л*. Биомасса по своему белковому составу близка к животным белкам, богата лейцином, треонином, меньше содержит серусодержащих аминокислот, метионина и цистина. Производство белковых концентратов при микробной депарафинизации нефти идет в 2,5 тысячи раз быстрее, чем производство животного белка.

В Англии (Hamdy и др., 1954) разработан метод получения белкового продукта из нефтяных углеводородов и создана полупроизводственная установка для получения его при непрерывном выращивании. В белковом

продукте, 1 *т* которого получается из 1 *т* углеводородов, содержится до 50% белка и необходимых аминокислот, а также значительное количество витаминов группы В. Белковый концентрат является не менее ценным в питательном отношении, чем дрожжи и рыбная мука.

При очистке сточных вод нефтеперерабатывающего завода образуется активный ил, содержащий 5 *г* витамина B_{12} на 1 *г* сухого вещества (Букин, Мантрова, 1961).

Активный ил очистных станций, богатый белками и витамином B_{12}, может быть использован для кормления сельскохозяйственных животных.

Опираясь на литературные данные, можно сделать выводы, являющиеся основой для дальнейших экспериментальных работ:

1. Многие органические вещества, являющиеся загрязнителями сточных вод, в том числе и такие, которые прежде считались антисептиками, могут служить источниками питания для ряда микроорганизмов.

2. Наибольшей способностью окислять углеводороды обладают представители следующих родов: *Pseudomonas, Bacillus, Bacterium, Methamonas, Mycobacterium*, а также некоторые актиномицеты и грибы.

3. Фенол в растворе до 3000 *мг/л* может быть окислен рядом микроорганизмов. Число фенолразрушающих форм повышается при адаптации их к фенолу.

4. Незначительное видовое различие и наличие общих форм микроорганизмов свидетельствует о том, что гетеротрофы обладают большим разнообразием типов обмена веществ и могут быстро приспосабливаться к очистке различных производственных сточных вод.

5. При использовании углеводородокисляющих микроорганизмов для очистки сточных вод возможно наиболее полное окисление органических загрязнителей и получение ряда ценных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

Баштан Ф. А., Несмеянов С. А., Чистяков Г. К., 1941. Допустимые концентрации ядовитых веществ в водоемах. Госстройиздат.

Беренс У., Затлер К., 1962. Получение ценных веществ при биологической очистке промышленных сточных вод. Микробиол., 31, 2.

Болотина О. Т., 1960. Состав и свойства активного ила в условиях регенерации. Водоснабж. и сан. техн., 10.

Букин В. Н., Мантрова Г. В., 1961. Биосинтез витамина B_{12} и порфиринов пропионовокислыми бактериями. В сб.: Витаминные ресурсы и их использование, 5.

Воробьев Е. В., 1960. Доочистка произв. сточных вод на биологических очистных сооружениях. Конференция по очистке фенольных сточных вод. М.

Друблянец Э. Э. и др., 1958. Биологическая очистка сточных вод гидролизных заводов. (ЦБТИ) М.

Зденек Гала, 1960. Очистка на опытной установке смеси сточных вод производств искусственного волокна, клея и желатина. В сб.: Очистка производственных сточных вод. М.

Имшенецкий А. А., Перова К. З., 1954. Активность дрожжей, адаптированных к антисептикам. Микробиол., 23, 1.

Имшенецкий А. А., Перова К. З., 1955. Адаптация дрожжей к ядам. Микробиол., 24, 2.

Имшенецкий А. А., Перова К. З., 1957. Морфолого-физиологическая характеристика дрожжей, адаптированных к фенолу или сулеме. Микробиол., 26, 3.

Калабина М. М., 1961. Биохимическая очистка сточных вод. В сб.: Очистка пром. ст. вод. М.

Лапшин М. И., Строганов С. Н., 1938. Химия и микробиология питьевых и ст. вод. М.

Лопатин М. Д., 1964. Изучение способности микобактерий окислять углеводороды. Микробиол., 33, 2.

Любимов В. И., 1963. Разложение летучих органических кислот микроорганизмами «активного ила». Микробиол., 32, 4.
Малченков А. М., 1961. Влияние дезинфектантов на морфологию и биологию бактериальной клетки. Микробиол., 30, 3.
Монгайт И. А., Яковлев С. В., 1961. Очистка бытовых и произв. ст. вод в СССР и за рубежом. В сб.: Очистка пром. ст. вод., 1.
Путилина Н. Т., 1959. Микробы, применяемые на промышленных очистных сооружениях для обесфеноливания ст. вод. Микробиол., 28, 5.
Роговская Ц. И., Лазарева М. Ф., 1959. Микробиологическая характеристика активных илов, очищающих различные сточные воды. Микробиол., 28, 4.
Родзиллер И. Д., 1964. Биохимическая очистка пром. ст. вод. В сб.: Очистка пром. ст. вод. М.
Смирнова З. С., Телегина З. П., 1959. Отношение бактерий, используемых при микробиологических поисках, к газообразным углеводородам парафинового ряда. В сб.: Геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений. (АН СССР). М.
Смирнова З. С., 1964. Видовой состав и некоторые физиологические свойства бактерий, применяемых при поисках нефти и газа. Микробиол., 30, 4.
Таусон В. О., 1932. Разрушение микроорганизмами химически устойчивых соединений. Микробиол., 1, 1.
Таусон В. О., Таусон Т. А., 1933. Превращение энергии микроорганизмами. Микробиол., 2, 3.
Таусон В. О., 1950. Основные положения растительной биоэнергетики. М.
Телегина З. П., 1961. Отношение некоторых видов бактерий, окисляющих некоторые газообразные углеводороды, к углеводородам парафинового ряда. Микробиол., 30, 3.
Ткаченко Н. И., 1960. Распределение микроорганизмов в биофильтре, очищающем ст. воды гидролизного завода. Микробиол., 29, 2.
Ткаченко Н. И., 1963. Дрожжеподобные организмы биофильтров, очищающих ст. воды гидролизных заводов. Микробиол., 32, 3.
Юровська Е. М., 1962. Порівняльна характеристика фенолруйнуючих бактерій, виділених з біологічних басейнів і лабораторних штамів. Мійкробіол. ж., 24, 6
Ahrens W., 1956—1957. Experimentelle Untersuchungen zur Frage der seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von ausgegastem Schlamm (Methanvergärung). Wiss. Z. Techn. Hochschule Dresden, 6 (6).
Barta Jiri, Hudcova Eva, 1962. Vyuzitii odpadnich vod s vysokym obsahem masthych, kyselin k vyrobe kvasnichych bilkovin Kvasny preimysl, 8 (9).
Champagnat A., Vernet Ch., Laine B., Filosa J., 1963. Déparaffinage microbiologique avec production de concentrés proteines-vitamines. 6th World Petrol. Congr. Francfourt-Main (Préprint), S. 1., s. a. I—I.
Hamdy M., Sherrer E., Weiser H., Sheets B., 1954. Microbiological factors in the treatment of phenolic wastes. Appl. Microbiol., 2 (3).
Hurtvitz E., 1957. Wastes Engng, 28.
Leibnitz E., Behrens U., Zdarsa E., 1959. Über die mikrobielle Eiweiss-Synthese mit fettsäurehaltigen Abwässern. Wasserwirtsch.-Wassertechn., 9 (4).

Институт экспериментальной биологии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
4/V 1965

N. GRATSOVA, M. ROMEIKIS

TÕÖSTUSLIKE HEITVETE BIOLOOGILINE PUHASTAMINE MÕNINGATE SÜSIVESINIKE HAPENDAMISE TEEL MIKROORGANISMIDEGA

Resümee

Paljud heitvett reostavad orgaanilised ained, osalt varem antiseptikuteks peetud, võivad olla substraadiks teatavaile mikroorganismidele. Kasutades neid mikroorganisme heitvete puhastamiseks, on võimalik orgaanilisi reostajaid täielikumalt hapendada ning mitmeid väärtuslikke aineid saada.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Eksperimentaalbioloogia Instituut

Saabus toimetusse
4. V 1965

N. GRACHOVA, M. ROMEIKIS

OXIDATION OF A NUMBER OF HYDROCARBONS BY MICRO-ORGANISMS IN CONNECTION WITH BIOLOGICAL PURIFICATION OF INDUSTRIAL SEWAGE WATERS

Summary

A great number of organic matters, sewage water impurities, including those formerly considered to be antiseptics, may serve as sources of food for a number of micro-organisms. Making use of these micro-organisms for purifying sewage water, a most complete oxidation of organic impurities and obtaining of a number of valuable compounds is made possible.

Academy of Sciences of the Estonian S.S.R.,
Institute of Experimental Biology

Received
May 4th, 1965