

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н. И. Вавилова»

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

краткий курс лекций

для бакалавров IV курса

Направление подготовки
19.03.01 Биотехнология

Профиль подготовки
Пищевая биотехнология

Саратов 2016

УДК 574:60
ББК 28.080:28.4
С14

Экологическая биотехнология: краткий курс лекций для бакалавров IV курса направления подготовки 19.03.01 «Биотехнология» / Сост.: И.А. Сазонова, Щербаков А.А. // ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2013. – 62 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Экологическая биотехнология» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для направления подготовки 19.03.01 «Биотехнология». Краткий курс лекций содержит теоретический материал по основным вопросам экологической биотехнологии, рассмотрены вопросы использования микроорганизмов для защиты окружающей среды. Курс направлен на формирование у студентов знаний об основных закономерностях биотехнологических процессов, на применение этих знаний для защиты окружающей среды, для решения экологических проблем.

УДК 574:60
ББК 28.080:28.4

© Сазонова И.А., 2016
© ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016

Введение

Экологическая биотехнология — это специальное применение биологических систем и процессов для решения задач охраны окружающей среды и рационального природопользования.

Краткий курс лекций по дисциплине «Экологическая биотехнология» предназначен для студентов по направлению подготовки 19.03.01 «Биотехнология». Он раскрывает основные биотехнологические методы, применяемые для защиты окружающей среды, и включает в себя биоремедиацию, основные законы микробного синтеза, методы генетической инженерии, знакомит с биотехнологическими процессами утилизации отходов, предполагает освоение теоретических основ методов биотехнологии. Курс нацелен на формирование ключевых компетенций, необходимых для эффективного решения профессиональных задач и организации профессиональной деятельности на основе глубокого понимания законов функционирования экосистем.

Лекция 1

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

1.1. Развитие биотехнологии и ее место в современной науке

Среди ученых нет единого точного определения понятия «биотехнология». Можно сказать, что биотехнология изучает методы получения полезных для человека веществ и продуктов в управляемых условиях, используя микроорганизмы, клетки животных и растений или изолированные из клеток биологические структуры. Современная биотехнология далеко ушла от той науки о живой материи, которая зародилась в середине прошлого века. Успехи молекулярной биологии, генетики, цитологии, а также химии, биохимии, биофизики, электроники позволили получить новые сведения о процессах жизнедеятельности микроорганизмов.

Биотехнология позволила управлять клеточным биосинтезом микроорганизмов, но биотехнология — понятие более широкое, чем микробный синтез, поскольку используются не только микроорганизмы, но и культуры растительных и животных тканей, протопласты, клеточные ферменты и любые биологические системы, способные к биосинтезу или биоконверсии.

В биотехнологии широко используются генетическая и клеточная инженерия, культивирование тканей многоклеточных организмов, иммунокоррекция, манипуляция с половыми клетками и др. Тесно связана с биотехнологией **биоинженерия**. Ее задачи — создание биореакторов, аэрирующих устройств, оборудования для стерилизации питательных сред и воздуха, разработка контрольной и измерительной аппаратуры, а также масштабирование и моделирование биотехнологических процессов. Биотехнология также связана с такими науками, как физиология микроорганизмов, растений и животных, цитология, биохимия, генетика, биофизика, молекулярная биология.

Сегодня многочисленные биотехнологические процессы широко используются в отечественной пищевой промышленности. С их помощью удастся увеличить продуктивность сельского хозяйства. С развитием биотехнологии поднялась на новый уровень фармацевтическая промышленность, возрастает роль биотехнологии в защите окружающей среды. Биотехнология вторгается в металлургию и горнодобывающую промышленность, добычу нефти, развивается новая отрасль — биогеотехнология.

Весьма многообразны биотехнологические манипуляции с клеточными структурами и протопластами. Например, в результате искусственного слияния лимфоцитов и меланомных клеток (разновидность опухоли) получены гибридомы, которые синтезируют моноклональные антитела, имеющие важное значение в иммунологических реакциях. Учение о моноклональных антителах — важный раздел современной биотехнологии.

В 1972 г. Дж. Эдельманом, Р. Портером установлен химический состав антител — важного фактора иммунологической системы человека и животных. В 1975 г. путем гибридизации соматических клеток получены гибридомы, секретирующие моноклональные антитела.

К числу достижений биотехнологии можно отнести разработанные А.С. Спириным основы бесклеточного синтеза белка в протоке, создание новых генно-инженерных сортов растений и животных, клонировании животных. В биохимии, микробиологии, цитологии несомненный интерес вызывают методы иммобилизации как ферментов, так

и целых клеток микроорганизмов, растений и животных. В ветеринарии широко используются такие биотехнологические методы, как культура клеток и зародышей, овогенез *in vitro*, искусственное оплодотворение. Дальнейший прогресс человечества связывают с широким применением во всех сферах жизни биотехнологии. В промышленно развитых странах объем выпуска химических веществ, полученный микробным синтезом, составляет 8—10% всей химической продукции.

В современной биотехнологии в соответствии со спецификой сфер ее применения целесообразно выделить в качестве самостоятельных ряд разделов:

- пищевая биотехнология;
- промышленная микробиология;
- медицинская биотехнология;
- технологическая биоэнергетика;
- сельскохозяйственная биотехнология;
- биогидрометаллургия;
- инженерная, энзимология;
- клеточная и генетическая инженерия;
- экологическая биотехнология.

Биотехнологические процессы в отличие от химических протекают в мягких условиях, при нормальном давлении и рН среды, а также при физиологических температурах; они в меньшей степени загрязняют окружающую среду отходами и побочными продуктами, кроме того, они мало зависят от климатических и погодных условий, не требуют больших земельных площадей, не нуждаются в применении пестицидов, гербицидов и других чужеродных для окружающей среды агентов.

Экологическая биотехнология — это специальное применение биологических систем и процессов для решения задач охраны окружающей среды и рационального природопользования.

Эти процессы включают утилизацию сельскохозяйственных, бытовых и промышленных отходов, очистку стоков и газо-воздушных выбросов, деградацию ксенобиотиков, получение эффективных и нетоксичных препаратов для борьбы с болезнями и вредителями культурных растений и домашних животных, а также создание альтернативных и безвредных для окружающей среды способов воепроизводства пищи, лекарственных препаратов, энергоносителей и добычи полезных ископаемых.

1.2. Мировая экологическая ситуация

Интенсификация сельского хозяйства, технический прогресс в промышленности, на транспорте привели к образованию диспропорций в окружающей среде, к деформации установившихся равновесий экосистем, к ухудшению экологической ситуации во всех сферах деятельности человека. Промышленные предприятия загрязняют атмосферу газообразными и твердыми выбросами, водоемы — стоками, которые содержат большое количество вредных, а иногда и сильно ядовитых веществ, от которых страдают фауна и флора. Эти вещества через растения и животных поступают в пищу человека. Химизация сельскохозяйственного производства также приводит к загрязнению почвы, водоемов, воздуха, пищевых продуктов. В некоторых регионах и гордах планеты создалась напряженная экологическая ситуация.

Факторы, влияющие на окружающую среду:

- **производство минеральных удобрений** связано с большим потреблением энергии. Наблюдается снижение эффективности минеральных удобрений. Одновременно применение минеральных удобрений на фоне низкого содержания в почве органических веществ вызывает большой унос минеральных веществ с водой, что ухудшает экологическую ситуацию в регионе.

- **создание больших животноводческих комплексов** также привело к загрязнению атмосферы веществами с неприятным запахом и патогенными микроорганизмами, почвы — сорняками, водоемов — патогенными микроорганизмами и гельминтами. В последнее время много пишется о загрязнении ядохимикатами почвы, водоемов и сельскохозяйственной продукции. Российское овощеводство и садоводство имеют в этом смысле очень горький опыт. Но это касается не только России. Развитые сельскохозяйственные страны мира допускают увеличение содержания нитратов в овощах до 900 мг/кг при норме 300 мг/кг, а во фруктах, до 1000 мг/кг и выше. Сами по себе нитраты малотоксичны, но в организме они преобразуются в нитриты, которые могут участвовать в образовании ядовитых веществ — нитрозаминов.

- **присутствие в среде нитритов** сильно замедляет рост хлебопекарных дрожжей, поэтому регулярно определяют присутствие нитритов. Хуже дело обстоит с контролем пищевых продуктов, в частности плодов и овощей. Необходимо отметить, что при больших нагрузках минерального азота в процессах денитрификации возможно образование не только азота, но и его оксида, который подобно фреону может отрицательно влиять на озоновый слой, окружающий планету. Таким образом, чрезмерное использование минеральных удобрений в земледелии может вызвать глобальные отрицательные последствия.

- **интенсификация сельскохозяйственного производства** связана и с ирригацией. К началу XXI века в мире ожидается увеличение расхода воды на 200—300 %, главным образом для нужд ирригации. Это потребует дополнительные источники пресной воды, а также увеличит угрозу загрязнения водоемов.

- **индустриализация хозяйства** связана с увеличением потребления энергии, превращением сельскохозяйственных угодий в дороги, строительные площадки, созданием крупных заводов, выбрасывающих в атмосферу и водоемы вредные вещества. Тревогу вызывает также усиление вырубки леса. Уменьшение лесных массивов отрицательно влияет на водный режим, приводит к изменению ландшафта, уничтожению многих видов фауны и флоры, особенно в субтропических зонах, ухудшает газообмен в атмосфере и очистку воздуха.

- **строительство гидроэлектростанций** связано с затоплением сельскохозяйственных угодий, уменьшением рыбных ресурсов, ухудшением самоочищения воды и рядом других последствий. Крупнейшие российские реки Волга, Днепр, Обь, Иртыш и озера Байкал, Севан, Ладожское и другие страдают от сброса сточных вод промышленных предприятий и агропромышленного комплекса.

- **твердые и жидкие отходы.** Ежедневно каждый городской житель в среднем выбрасывает 2—3 кг различных отходов, половина которых — бумага и упаковочные материалы. Только в Москве на свалку ежегодно вывозят 8—10 млн т отходов, в том числе 5 млн т коммунальных. Для размещения этой массы отходов в Подмосковье имеется сотни свалок; их площадь ежегодно увеличивается на 40 га, так как вокруг свалки создают санитарную зону шириной 500 м. Общая площадь, занятая свалками, в Подмосковье ежегодно увеличивается на 1000 га. На улицах Нью-Йорка ежегодно собирают 8 млн т отходов, Токио — 4,5 млн т, Лондона — 3 млн т. Во многих

приморских городах коммунальные отходы загружают в контейнеры и сбрасывают в море.

- **жидкие стоки.** Если в начале столетия каждый горожанин для индивидуальных нужд потреблял в сутки 15—20 л воды, то сегодня в индустриально развитых странах эта цифра возросла до 350—400 л. Всего же население планеты ежегодно расходует около 6000 км³ воды. Эта вода в виде стоков поступит обратно в биосферу. Подсчитано, что за последние 100 лет промышленность выбросила в окружающую среду более 1,5 млн т мышьяка, 1,0 млн т никеля, 900 тыс. т кобальта, 600 тыс. т цинка, 125 тыс. т ртути и миллионы тонн других веществ. В последнее время в связи с химизацией сельского хозяйства в водоемы и реки попадают в больших количествах пестициды, гербициды, дефолианты, антибиотики, дезинфицирующие средства, азотистые и фосфорные соединения. Энергетика и транспорт загрязняют среду нефтепродуктами.

- **промышленные сточные воды** сильно различаются и зависят от характера производства. Например, при первичной обработке на молочных заводах из 1 т молока образуется около 40 кг стоков. Содержание сухого вещества в этих стоках обычно не превышает 1 %. При дальнейшей переработке молока из 1 кг молока образуется от 0,1 до 6 кг сточных вод в зависимости от вида получаемого продукта.

На мясокомбинатах образуются стоки, сильно загрязненные кровью, жиром, экскрементами, частицами мяса, шерстью, различными солями. Показатели стоков мясокомбинатов сильно варьируют. При переработке на мясо птицы до 30 % первоначальной массы переходит в отходы. Сухие отходы — перья — утилизируют, в том числе их используют для получения кормовых добавок.

Сточные воды на предприятиях, перерабатывающих рыбу, сильно различаются по содержанию сухого вещества и ВПК. Прежде чем подвергнуть стоки после обработки рыбы биологической очистке, необходимо изыскать максимальные возможности получения из них полезных продуктов.

Сильно загрязненными являются также стоки крахмалопаточных, сахарных заводов и бродильных производств. Эти стоки подвергают, как правило, биотехнологической обработке с целью обезвреживания.

Совершенно другая ситуация с отходами сельского и лесного хозяйства. При производстве зерна в среднем на 1 т приходится 1 т соломы. Солома используется как корм, подстилочный материал, сырье для компостов, топливо, а также как сырье для получения бумаги, кормовых дрожжей и пр. Отходы сельского и лесного хозяйства необходимо рассматривать как перспективное возобновляемое сырье для биотехнологической промышленности.

1.3. Роль биотехнологии для сельского хозяйства

Биотехнология должна помочь сельскому хозяйству получить продукты питания с минимальным применением средств химизации. На основе генетической и клеточной инженерии необходимо создать высокоурожайные, болезнестойкие сорта культурных растений, что позволит исключить ядохимикаты. Важное место здесь отводится клеточной инженерии и меристемной технологии. На основе достижений современной генетики и биотехнологии представляется возможным изменить потребительские свойства сельскохозяйственных продуктов с тем, чтобы отпала необходимость применять для корма животных и птицы различные добавки химического или микробного синтеза (кормовые дрожжи, лизин, витамины и др.), производство которых

связано с определенной экологической опасностью. В качестве примера можно привести создание высоколизинового сорта ячменя в Дании. Этот ячмень содержит 6 г/кг лизина (против 3,8 г/кг в обычном ячмене). Следует расширить производство бактериальных удобрений (особенно нитрагина), биологических средств борьбы с болезнями растений и их вредителями, биологических консервантов кормов. Для повышения плодородия почвы необходимо применять органические удобрения, компосты и обезвреженные путем метанового брожения жидкие отходы животноводческих ферм.

Биотехнология должна создать рациональные и безвредные для человека и среды процессы конверсии продуктов сельского хозяйства в более ценные товарные формы. То же касается химического сырья, которое можно превращать в биологически безвредные формы.

Биотехнология призвана сыграть значительную роль при создании безотходных технологий и, конечно, при разработке различных схем очистки производственных стоков и твердых отходов.

Достижения современной биологии дают новые эффективные средства индикации биологического загрязнения окружающей среды. Необходимо отметить методы, основанные на использовании моноклональных антител, или иммуноферментные, а также электроды с иммобилизованными ферментами. Посредниками для индикации определенных соединений в воде или почве могут быть различные биологические объекты, которые аккумулируют эти вещества. Например, в печени рыбы накапливаются пестициды, тяжелые металлы, сбрасываемые в водоем, где обитает такой посредник.

Предприятия микробиологической промышленности по действующим в России правилам должны обеспечить такую обработку стоков, чтобы они отвечали всем санитарно-гигиеническим требованиям.

Основные биотехнологические методы, которые могут быть применены для оздоровления и защиты окружающей среды, в том числе для обеспечения экологически чистого производства на самих биотехнологических предприятиях:

- создание безотходных технологических процессов;
- создание препаратов для борьбы с возбудителями болезней человека и животных;
- создание растений, устойчивых к болезням и вредителям;
- бактериальные удобрения и стимуляторы роста растений;
- создание культурных растений, способных фиксировать атмосферный азот без участия микроорганизмов;
- получение из отходов полезных продуктов или обезвреживание их;
- средства для диагностики, иммуностимуляторы, вакцины, антибиотики и др.;
- получение методами генетической и клеточной инженерии культурных растений, при возделывании которых отпадает необходимость использования ядохимикатов как средств борьбы против вредителей и болезней;
- специальные микробиологические или другие биологические препараты селективно уничтожают вредных насекомых, грызунов или возбудителей болезней;
- усиление биологической фиксации атмосферного азота, мобилизации фосфора; ускорение роста органов растений; снижение потребности в минеральных удобрениях;
- перенос методами генетической инженерии в геном растений генов от микроорганизмов, определяющих фиксацию азота;
- аэробная биологическая очистка стоков;

Экологическая биотехнология бурно развивается, появляются системы для утилизации органических и неорганических веществ, загрязняющих среду и попадающих в нее с жидкими и газовыми выбросами. В аэробных и анаэробных условиях обычно с помощью иммобилизованных культур микроорганизмов в жидких стоках разрушают большое количество органических соединений. Примером может быть окисление сульфидов до сульфатов в жидких стоках аутотрофными бактериями *Thiobacillus denitrificans*, иммобилизованными в геле альгината. Процесс происходит в анаэробном биофильтре. В гель включают также CaCO₃ для поддержания буферности и ионы Ca²⁺ в качестве структурирующего фактора в гранулах альгината. Такая система обеспечивает утилизацию сульфидов из раствора в течение 12 сут. при их концентрации 26 промилль.

Учёными-биотехнологами разработана также биотехнологическая система для окисления металлов в грязеобразной среде с содержанием сухого вещества 10—30 %. Так, бактерии рода *Leptospirillum* окисляют ртуть, серебро, молибден, селен и др.

1.4. Загрязнение почв и водоемов

Известно, что в естественных условиях в водоемах и в почве происходит биологическое самоочищение. Но как только концентрация вредных веществ превышает критическую, развитие живых организмов, а также процесс биологического самоочищения нарушается. Под влиянием чужеродных вредных веществ нарушается установившееся равновесие, возникают нежелательные изменения, отрицательно воздействующие на здоровье человека и его хозяйственную деятельность.

К веществам, загрязняющим водоемы и почву, относят:

- различные яды и вредные вещества — соли тяжелых металлов, мышьяк, цианиды, фенолы, анилин, пестициды и др., ингибирующие активность ферментных систем, связывающие кислород или нарушающие жизненные процессы;

- кислоты и щелочи, изменяющие реакцию среды в природных водоемах и приводящие к нарушению равновесия в живых системах;

- поверхностно-активные вещества, которые в последнее время с развитием химической промышленности все чаще попадают в природные водоемы, образуя слой пены на поверхности. Эти вещества очень опасны, так как часто недоступны воздействию микроорганизмов и не разрушаются;

- растворимые органические вещества, содержащие углерод и азот, нефтепродукты, углеводы и т. д. Данная группа веществ используется микроорганизмами в качестве субстрата и способствует их чрезмерному размножению в водоемах. В свою очередь, это приводит к увеличению расхода растворенного в воде кислорода и развитию анаэробной, гнилостной микрофлоры, что вызывает вымирание других форм жизни. В таких условиях могут развиваться микроорганизмы, опасные для здоровья человека, например сульфатредуцирующие бактерии, в результате действия которых появляется неприятный запах сероводорода и т.д.;

- нерастворимые органические соединения — крахмал, целлюлоза, лигнин, другие высокомолекулярные вещества, которые в виде плавающих частиц поступают в водоемы и вызывают последствия, схожие с действием веществ предыдущей группы;

- радиоактивные и другие вредные загрязнители.

Водоемы представляют собой биологические системы, способные утилизировать отходы.

При рециркуляции воды или для временного замедления биологических процессов сточные воды иногда обрабатывают хлором или хлорной известью. Химическая очистка сточных вод осуществляется путем регуляции рН и осаждения коллоидных веществ электролитами (чаще всего солями железа или алюминия), поликатионитами, флокулянтами. Эти методы обычно комбинируют с биологическими методами очистки: обработкой воды в аэробных условиях активным илом или анаэробной ферментацией.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Понятие биотехнологии. Каковы основные ее разделы?
- 2) Какие антропогенные факторы влияют на окружающую среду?
- 3) Каковы основные биотехнологические методы для обеспечения экологически чистого производства?
- 4) Какие вещества загрязняют водоемы и почву?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Сазонова, И.А.** Экологическая биотехнология: учебное пособие / И.А. Сазонова. Саратов, 2012 г. – 106 с. – (ЭБС IPR-books <http://www.iprbookshop.ru/>)
2. **Колесников, С.И.** Экологические основы природопользования / С.И. Колесников. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2010. – 156с.

Дополнительная

3. **Волова, Т.Г.** Экологическая биотехнология: уч. пособие для университетов / Т.Г. Волова. - Новосибирск: Хронограф, 2007. – 141с.
4. Биотехнология: Теория и практика / Н.В. Загоскина, [и др.]. – М.: Изд-во: Оникс. - 2009. – 496 с.
5. **Елинов, Н.П.** Основы биотехнологии / Н.П. Елинов. - СПб.: Наука, 1995, 600с.
6. Экологическая биотехнология / Под редакцией К.Ф. Форстера и Дж. Вейза. – Л.: Химия, 1990. – 384с.
7. Сельскохозяйственная биотехнология /Под. ред. В.С. Шевелухи. - М.: Высшая школа, 2003. - 469 с.
8. **Блинов, В.А.** Биотехнология (некоторые проблемы сельскохозяйственной биотехнологии) / В.А. Блинов. – Саратов. - 2003. – 198с.

Лекция 2

ТИПОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

2.1. Синтез биологически активных веществ

Значение биотехнологии велико. Биологически активные вещества (антибиотики, витамины, ферменты и др.), полученные микробиологическим синтезом, находят широкое применение в медицине, сельском хозяйстве, в пищевой, лёгкой и др. отраслях промышленности.

Микробиологическое производство биологически активных веществ и препаратов является важным направлением промышленной биотехнологии, обеспечивающим народное хозяйство такими ценными продуктами, как аминокислоты, антибиотики, микробиологические удобрения и средства защиты растений и т. п. Антибиотики, ферменты, аминокислоты, химиотерапевтические препараты, феромоны и др., получают с помощью микробиологического синтеза. Технология производства этих веществ хорошо отработана, получение их микробиологическим путём экономически выгодно.

В медицине биотехнологические приемы и методы играют ведущую роль при создании новых биологически активных веществ и лекарственных препаратов, предназначенных для ранней диагностики и лечения различных заболеваний.

Антибиотики — самый большой класс фармацевтических соединений, получение которых осуществляется с помощью микробиологического синтеза. Созданы генноинженерные штаммы кишечной палочки, дрожжей, культивируемых клеток млекопитающих и насекомых, используемые для получения ростового гормона, инсулина и интерферона человека, различных ферментов и противовирусных вакцин.

2.2. Биодegradация токсичных веществ, компостирование

Перед транспортировкой твёрдых отходов на свалку они могут быть подвергнуты обработке, т.е. измельчению, перемалыванию и дроблению. Эта предварительная обработка может сильно влиять на катаболические процессы в твёрдых отходах. На типичной свалке, где отходы размещаются по отсекам, вся система в целом работает как группа реакторов периодического действия, в которых отходы находятся на разных стадиях биодegradации и подвергаются случайным воздействиям, например, попаданию воды, содержащей растворённый кислород или различные ксенобиотики. В этом случае можно применить простую модель периодических культивирований, действующих в той последовательности, в какой происходит загрузка. Для более традиционного типа свалки можно использовать модель периодического культивирования с повторным внесением посевного материала микроорганизмов и беспозвоночных.

В начальной стадии катаболизма твёрдых отходов, сопровождаемого физическими и химическими процессами, преобладают аэробные процессы, в ходе которых наиболее лабильные молекулы быстро разрушаются рядом беспозвоночных и микроорганизмами. Утилизация миксотрофных субстратов затем сменяется последующим катаболизмом макромолекул, таких как лигноцеллюлозы, лигнин, танины и меланины, которые способны только к медленной биодegradации, что приводит к тому, что кислород перестаёт быть лимитирующим субстратом.

Биодеградация органических соединений, загрязняющих окружающую среду, оправдана только в том случае, если в результате происходит их полная минерализация, разрушение и детоксикация; если же биохимическая модификация этих соединений приводит к повышению их токсичности или увеличивает время нахождения в среде, она становится не только нецелесообразной, но даже вредной. Детоксикация загрязняющих среду веществ может быть достигнута путем всего одной модификации структуры. Судьба ксенобиотика зависит от ряда сложным образом взаимосвязанных факторов как внутреннего характера (устойчивость ксенобиотика к различным воздействиям, растворимость его в воде, размер и заряд молекулы, летучесть), так и внешнего (рН, фотоокисление, выветривание). Все эти факторы будут определять скорость и глубину его превращения. Скорость биодеградации ксенобиотика данным сообществом микроорганизмов зависит от его способности проникать в клетки, а также от структурного сходства этого синтетического продукта и природного соединения, которое подвергается естественной биодеградации. В удалении ксенобиотиков из окружающей среды важную роль играют различные механизмы метаболизма.

Ликвидация токсичных и опасных отходов на свалке, отдельно или вместе с твёрдыми отходами, требует тщательного выбора места свалки и материала для ограждения. Часто токсичные и опасные жидкие отходы и илы подвергаются стабилизации или отверждению перед их ликвидацией на свалке.

Ликвидация токсичных и опасных твёрдых отходов вместе с обычными требует учёта следующих факторов: типа отходов (твёрдые, ил, жидкие), совместимости видов микроорганизмов, нагрузки, испарения, скорости вымывания, характеристик твёрдых отходов, температуры и водного баланса в данном месте.

Механизм ослабления вредных воздействий может быть как микробиологическим, так и физико-химическим. Радиоактивные отходы также могут быть подвергнуты микробной трансформации.

Компостирование – это экзотермический процесс биологического окисления, в котором органический субстрат подвергается аэробной биодеградации смешанной популяцией микроорганизмов в условиях повышенной температуры и влажности. В процессе биодеградации органический субстрат претерпевает физические и химические превращения с образованием стабильного гумифицированного конечного продукта. Этот продукт представляет ценность для сельского хозяйства и как органическое удобрение, и как средство, улучшающее структуру почвы.

Отходы, поддающиеся компостированию, варьируют от городского мусора, представляющего собой смесь органических и неорганических компонентов, до более однородных субстратов, таких как навоз, отходы растениеводства, сырой активный ил и нечистоты. В процессе компостирования удовлетворяется в основном потребность в кислороде, органические вещества переходят в более стабильную форму, выделяются диоксид углерода и вода и возрастает температура. В естественных условиях процесс биодеградации протекает медленно, на поверхности земли, при температуре окружающей среды и в основном в анаэробных условиях.

Важными параметрами являются соотношение углерода и азота и мультидисперсность субстрата, необходимая для нормальной аэрации. Навоз, сырой активный ил и многие растительные отходы имеют низкое отношение углерода к азоту, высокую влажность и плохо поддаются аэрации. Их необходимо смешивать с твёрдым материалом, собирающим влагу, который обеспечит дополнительный углерод и нужную для аэрации структуру смеси.

В процессе компостирования принимает участие множество видов бактерий – более 2000 и не менее 50 видов грибов. Эти виды можно подразделить на группы по температурным интервалам, в которых каждая из них активна. Для психрофилов предпочтительна температура ниже 200°С, для мезофилов – от 20 до 400°С и термофилов – свыше 400°С. Микроорганизмы, которые преобладают на последней стадии компостирования, являются, как правило, мезофилами.

В большинстве случаев при исследовании биodeградации использовался традиционный подход, основанный на выделении и анализе свойств чистых изолятов из окружающей среды. С другой стороны, из-за гетерогенности среды в ней формируются местообитания для множества разных микроорганизмов с самыми разнообразными метаболическими свойствами. Эти местообитания не могут не быть взаимосвязанными друг с другом. Ксенобиотики подвергаются действию смешанных популяций микроорганизмов, т.е. сообществ, для которых характерны отношения кооперации, комменсализма и взаимопомощи.

Сточные воды нефтяной промышленности обычно очищают биологическим способом после удаления большей части нефти физическими способами или с помощью коагулянтов. Токсическое воздействие компонентов таких сточных вод на системы активного ила можно свести к минимуму путем постепенной «акклиматизации» очистной системы к повышенной скорости поступления стоков и последующего поддержания скорости потока и его состава на одном уровне. Однако загрузка этих систем может значительно варьировать и, видимо, лучше использовать более совершенные технологии, например системы с илом, аэрированным чистым кислородом, или же колонные биореакторы.

Самые большие утечки нефти в окружающую среду происходят в море, где она затем подвергается различным физическим превращениям, известным как выветривание. В ходе этих абиотических процессов, включающих растворение, испарение и фотоокисление, разлагается (в зависимости от качества нефти и от метеорологических условий) 25 - 40% нефти. На этой стадии разрушаются многие низкомолекулярные алканы. Степень микробиологической деградации выветрившихся нефтяных разливов определяется рядом факторов. Весьма важен состав нефти: относительное содержание насыщенных, ароматических, содержащих азот, серу и кислород соединений, а также асфальтенов в различных типах нефти различно. Определенную устойчивость нефти придают разветвленные алканы, серосодержащие ароматические соединения и асфальтены. Кроме того, скорость роста бактерий, а, следовательно, и скорость биodeградации определяются доступностью питательных веществ, в частности азота и фосфора. Оказалось, что добавление таких веществ увеличивает скорость биodeградации. Количество разных организмов, способных расти на компонентах нефти, зависит от степени загрязненности углеводородами. Например, больше всего их находят поблизости от крупных портов или нефтяных платформ, где среда постоянно загрязнена нефтью. Полная деградация нефти зачастую не происходит даже при участии богатых по видовому составу микробных сообществ. Наиболее биологически инертные компоненты, например асфальтены, содержатся в осадочных породах и нефтяных залежах. Основные физические факторы, влияющие на скорость разложения нефти, - это температура, концентрация кислорода, гидростатическое давление и степень дисперсности нефти. Наиболее эффективная биodeградация осуществляется тогда, когда нефть эмульгирована в воде.

Особую проблему представляют выбросы или случайные разливы нефти на поверхности почвы, поскольку они могут привести к загрязнению почвенных вод и

источников питьевой воды. В почве содержится очень много микроорганизмов, способных разрушать углеводороды. Однако даже их активность не всегда достаточна, если образуются растворимые производные или поверхностно-активные соединения, увеличивающие распространение остаточной нефти.

2.3. Биоочистка и детоксикация отходов

Биоочистка - удаление посторонних или вредных агентов из вод и почв с помощью живых организмов, способствующих фильтрации и(или) разложению этих примесей, восстановлению первичных свойств среды.

На современном этапе развития науки биоочистка является основным и наиболее перспективным методом удаления загрязнений из сточных вод, т.к. обеспечивает достаточно глубокий распад веществ и основан на использовании природных процессов и катализаторов.

Среди биологической очистки наибольшее распространение получил аэробный метод. Наиболее распространены двухступенчатые биологические системы обработки сточных вод, т.к. обеспечивают более глубокую очистку вод, нежели одноступенчатые.

Для очистки сточных вод, содержащих токсичные вещества, можно использовать аэротенки-смесители. Разработан метод с использованием биокоагулянта – раствора трехвалентного железа в культуре *Thiobacillus Ferrooxidans*, используемого для осаждения тяжелых металлов и фосфора из промышленных сточных вод. С помощью данной культуры их сточных вод биологических очистных сооружений возможно растворение металлической стружки. Полученный биокоагулянт с содержанием трехвалентного железа до 50 г/л использовался для доочистки производственных сточных вод от тяжелых металлов и фосфора.

При анаэробной биоочистке производится разложение сложной органики, в частности – жиров, на более простые; далее, на аэробной стадии. они окислятся в нитраты при помощи микроорганизмов.

Детоксикация отходов - освобождение их от вредных компонентов на специализированных установках.

2.4. Биоремедиация. Биовыщелачивание

Биоремедиация — комплекс методов очистки вод, грунтов и атмосферы с использованием метаболического потенциала биологических объектов — растений, грибов, насекомых, червей и других организмов. Биоремедиация - одна из способностей природы к самоочищению окружающей среды под воздействием антропогенных загрязнителей. Хотя термин «биоремедиация» возник совсем недавно, но сам природный процесс существовал на этапе возникновения первых форм жизни, когда под воздействием загрязнённых компонентов были, выработали определённые детоксицирующие механизмы по преобразованию их в менее вредные формы, снижающие экологическое напряжение. В настоящее время биоремедиационные технологии основаны на механизмах и потенциалах почти всех видах жизненных форм, то есть растений (фиторемедиация), микроорганизмов (микробная ремедиация) и животных (зооремедиация).

Фиторемедиация является рентабельным, доступным и жизнеспособным механизмом, который предотвращает загрязнение всех компонентов окружающей среды: воздуха, воды или почвы, используя растения.

Микроремедиация. Главную роль в деградации загрязнений играют микроорганизмы. Микроорганизмы преобразовывают опасные органические загрязнители к экологически безопасным уровням в почвах, поверхностных материалах, воде и осадках. Микробы имеют дело с ядовитыми химикатами, применяя ферменты, чтобы преобразовать один химикат в другую форму при этом получают необходимую для жизни энергию. Химические преобразования приводят к расщеплению больших молекул в несколько маленьких молекул в более простой форме. В некоторых случаях побочные продукты бактериальной ремедиации не только безопасны, но и могут оказаться полезными.

Дезактивация токсических веществ с помощью животных получил название - **зооремедиация**. Многие водные животных были успешно продемонстрированы для обработки загрязненной воды, но этот метод не нашел широкого применения вследствие существенных экологических соображений безопасности.

Еще за тысячелетие до нашей эры римляне, финикийцы и люди иных ранних цивилизаций извлекали медь из рудничных вод. В средние века в Испании и Англии применяли процесс «выщелачивания» для получения меди из медьсодержащих минералов. Безусловно, древние горняки не могли предположить, что активным элементом данного процесса являются микроорганизмы.

Несмотря на давность существования биотехнологических процессов извлечения металлов из руд и горных пород, только в 50-е годы была доказана активная роль микроорганизмов в этом процессе. В 1947 году в США Колмер и Хинкли выделили из шахтных дренажных вод микроорганизмы, окисляющие двухвалентное железо и восстанавливающие серу. Микроорганизмы были идентифицированы как *Thiobacillus ferrooxydans*. Вскоре было доказано, что эти железобактерии в процессе окисления переводят медь из рудных минералов в раствор. Бактерии *Thiobacillus ferrooxidans* очень широко распространены в природе, они встречаются там, где имеют место процессы окисления железа или минералов. Они в настоящее время наиболее изучены. Помимо *Thiobacillus ferrooxidans*, широко известны также *Leptospirillum ferrooxidans*. Первые окисляют сульфидный и сульфитный ионы, двухвалентное железо, сульфидные минералы меди, урана. Спириллы не окисляют сульфидную серу и сульфидные минералы, но эффективно окисляют двухвалентное железо в трехвалентное, а некоторые штаммы окисляют пирит. Сравнительно недавно выделены и описаны бактерии *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans*, *T. acidophilus*. Окислять S^0 , Fe^{2+} и сульфидные минералы способны также некоторые представители родов *Sulfolobus* и *Acidianus*. Среди этих микроорганизмов – мезофильные и умеренно термотолерантные формы, крайние ацидофилы и ацидотермофилы. Для всех этих микроорганизмов процессы окисления неорганических субстратов служат источником энергии. Затем были выделены и описаны многие другие микроорганизмы, участвующие в процессах окисления сульфидных минералов.

Несколько позднее было установлено, что нитрифицирующие бактерии способны выщелачивать марганец из карбонатных руд и разрушать алюмосиликаты. Среди микроорганизмов, окисляющих $NH_4^+ \rightarrow NO_2^-$, это представители родов *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrobacter*, *Nitrococcus* и др.

Определенный интерес для биосорбции металлов из растворов вызывают денитрифицирующие бактерии; наиболее активные среди них – представители родов *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*. Эти микроорганизмы, являясь факультативными анаэробами, используют в качестве акцептора электронов окислы азота (NO_3^- , NO_2^- ,

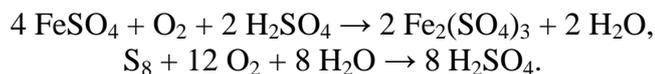
N₂O) или кислород, а донорами электронов могут служить различные органические соединения, водород, восстановленные соединения серы.

Сульфатвосстанавливающие бактерии, которые используют в качестве доноров электронов молекулярный водород и органические соединения, в анаэробных условиях восстанавливают сульфаты, SO₄²⁻, S₂O₃²⁻, иногда S⁰. Оказалось, что некоторые гетеротрофные микроорганизмы способны разрушать горные породы в результате выделения органических продуктов обмена – органических кислот, полисахаридов; источником энергии и углерода для организмов служат различные органические вещества. Так, силикатные породы деструктурируют представители рода *Bacillus* в результате разрушения силоксанной связи Si-O-Si; активными деструкторами силикатов

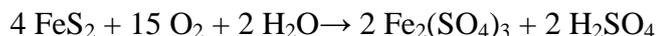
являются также грибы *Aspergillus*, *Penicillium* и др.

Все названные выщелачивающие бактерии переводят в ходе окисления металлы в раствор, но не по одному пути. Различают «прямые» и «непрямые» методы бактериального окисления металлов.

Процесс окисления железа и серы бактериями является прямым окислительным процессом:



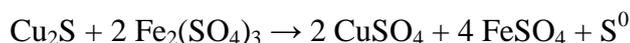
В результате прямого бактериального окисления окисляются пирит:



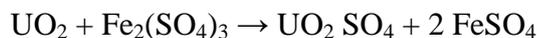
и сфалерит:



Ион трехвалентного железа, образующийся в результате окисления бактериями двухвалентного железа, служит сильным окисляющим агентом, переводящим в раствор многие минералы, например халькоцит:



и уранит:



Выщелачивание, происходящее при участии иона Fe³⁺, который образуется в результате жизнедеятельности бактерий, называется непрямым окислением. Часто в ходе непрямого окисления минералов образуется элементарная сера, которая может непосредственно окисляться бактериями до серной кислоты.

В настоящее время процесс бактериального выщелачивания для получения меди достаточно широко применяют повсеместно; меньшие масштабы имеет бактериальное выщелачивание урана. На основании многочисленных исследований принято считать бактериальное выщелачивание перспективным процессом для внедрения в горнодобывающую промышленность. В меньших масштабах применяется

в горнодобывающей промышленности другой биотехнологический процесс – извлечение металлов из водных растворов. Это направление обещает существенные перспективы, так как предполагает достаточно дешевые процессы очистки стоков от металлов и экономичное получение при этом сырья.

Например, в изучении железобактерий в последнее время достигнуты большие успехи, связанные с получением чистых культур ряда этих организмов. Это разнообразная группа бактерий, способных окислять и откладывать окислы железа и/или марганца вне или иногда внутри клетки. Накопление окислов железа и марганца на поверхности бактериальных клеток - результат двух взаимосвязанных процессов: аккумуляции (поглощения) клетками этих металлов из раствора и окисления, сопровождающегося обильным отложением нерастворимых окислов на поверхности бактерий.

Процесс аккумуляции тяжелых металлов из растворов в основе имеет физико-химическую природу и в значительной мере обусловлен химическим составом и свойствами поверхностных структур клетки. Он включает связывание металлов внеклеточными структурами (капсулы, чехлы, слизистые выделения), клеточной стенкой и ЦПМ. Сорбционные свойства поверхностных клеточных структур определяются в большой степени суммарным отрицательным зарядом молекул, входящих в их состав. Поглощение металлов приводит к значительному концентрированию их вокруг клеток по отношению к среде. Коэффициент накопления для железа и марганца может достигать значений 100000-1000000.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Какие биологически активные вещества получают с помощью микробиологического синтеза?
- 2) Каковы могут быть результаты биодegradации органических соединений?
- 3) Что такое компостирование?
- 4) Что такое биоочистка и детоксикация?
- 5) Какой бывает биоремедиация?
- 6) Что такое биовыщелачивание и где его применяют?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Сазонова, И.А.** Экологическая биотехнология: учебное пособие / И.А. Сазонова. Саратов, 2012 г. – 106 с. – (ЭБС IPR-books <http://www.iprbookshop.ru/>)
2. Техника и технология утилизации нефтяных отходов [монография] / Н. С. Минигазимов [и др.]; Акад. наук Респ. Башкортостан, ГУП НИИ безопасности жизнедеятельности. - Уфа: Гилем, 2010. – 313с.

Дополнительная

3. Биотехнология: Теория и практика / Н.В. Загоскина, [и др.]. – М.: Изд-во: Оникс. - 2009. – 496 с.
4. Биотехнология микробного синтеза / Под ред. М.Е. Беккера. – Рига: Зинатне, 1980. – 350 с.
5. **Елинов, Н.П.** Основы биотехнологии / Н.П. Елинов. - СПб.: Наука, 1995. – 600с.
6. **Волова, Т.Г.** Экологическая биотехнология: уч. пособие для университетов / Т.Г. Волова. - Новосибирск: Хронограф, 2007. – 141с.

Лекция 3

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЗАДАЧАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ (часть I)

3.1. Принцип минимума

Закон ограничивающего (лимитирующего) фактора или закон минимума Либиха (1840) — один из фундаментальных законов в экологии, гласящий, что наиболее значим для организма тот фактор, который более всего отклоняется от оптимального его значения (концепция, согласно которой существование и выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей). Поэтому во время прогнозирования экологических условий или выполнение экспертиз очень важно определить слабое звено в жизни организмов.

Согласно закону минимума жизненные возможности организмов лимитируют те экологические факторы, количество и качество которых близки к необходимому организму или экосистеме минимуму. Лимитирующий фактор - фактор среды, выходящий за пределы выносливости организма. Лимитирующий фактор ограничивает любое проявление жизнедеятельности организма. С помощью лимитирующих факторов регулируется состояние организмов и экосистем.

Например, продуктивность культурных растений, в первую очередь, зависит от того питательного вещества (минерального элемента), который представлен в почве наиболее слабо. Например, если фосфора в почве лишь 20 % от необходимой нормы, а кальция — 50 % от нормы, то ограничивающим фактором будет недостаток фосфора; необходимо в первую очередь внести в почву именно фосфорсодержащие удобрения.

По имени учёного названо образное представление этого закона — так называемая «бочка Либиха». Суть модели состоит в том, что вода при наполнении бочки начинает переливаться через наименьшую доску в бочке и длина остальных досок уже не имеет значения.

При микробиологическом синтезе закон минимума действует на рост и развитие микроорганизмов. От состава питательной среды и ее компонентов, их концентрации зависит качество продуцентов.

3.2. Формирование экологических ниш для окислительных и восстановительных процессов

Под экологической нишей понимают обычно место организма в природе и весь образ его жизнедеятельности, или, как говорят, жизненный статус, включающий отношение к факторам среды, видам пищи, времени и способам питания, местам размножения, укрытий и т. п. Это понятие значительно объемнее и содержательнее понятия «местообитание».

Каждый вид занимает в своем местообитании определенную экологическую нишу, т.е. это положение вида, которое он занимает в общей системе биоценоза, комплекс его биоценологических связей и требований к абиотическим факторам среды.

Понятие экологической ниши подразумевает не только физическое пространство, где может быть обнаружен данный вид, но также, определенную его роль в сообществе, в частности его питание и взаимоотношения с другими видами. Когда два вида

занимают одну и ту же нишу, они обычно конкурируют друг с другом, пока один из них не будет вытеснен. Гаузе в 1934 г. сформулировал 2 закона:

1. Два вида не могут занимать одну и ту же экологическую нишу;
2. Пустующая экологическая ниша всегда будет заполнена.

Экологическая ниша — абстрактное понятие, объединяющее все физические, химические, физиологические и биотические факторы, необходимые организму для жизни. Для того чтобы описать экологическую нишу организма, нужно знать, чем он питается, кому он служит пищей, его способность к передвижению и его воздействие на другие организмы и на неживые элементы внешней среды.

Экологическая ниша может быть:

- фундаментальной — определяемой сочетанием условий и ресурсов, позволяющим виду поддерживать жизнеспособную популяцию;
- реализованной — свойства которой обусловлены конкурирующими видами.

Это различие подчеркивает, что межвидовая конкуренция приводит к снижению плодовитости и жизнеспособности и что в фундаментальной экологической нише может быть такая часть, занимаемая некоторым видом в результате межвидовой конкуренции не в состоянии больше жить и успешно размножаться. В мелководье у берегов озер встречаются различные водяные клопы, имеющие одно и то же местообитание. Вместе с тем одни из них, например гладыш (*Notonecta*), — хищники, которые ловят и поедают других животных, почти равных им по размерам; другие же, например *Coixa*, питаются мертвыми и разлагающимися организмами. Каждый из этих организмов играет различную роль в общем биологическом хозяйстве озера, и, следовательно, каждому из них присуща особая экологическая ниша.

На земном шаре не так уж много мест, где нет бактерий. Бактерии были найдены в почве на глубине 5 м, в пресной и соленой воде и даже во льдах ледников. Лишь немногие бактерии автотрофны и могут синтезировать необходимые для них органические соединения в результате реакций фотосинтеза или хемосинтеза; остальные питаются, как сапрофиты или паразиты. Большая часть бактерий, подобно животным, аэробы и используют в процессе дыхания атмосферный кислород. Другие бактерии могут расти и размножаться в отсутствие свободного кислорода, получая энергию в процессе анаэробного расщепления углеводов или аминокислот и накапливая различные частично окисленные промежуточные продукты — спирт, глицерин или молочную кислоту. Некоторые из таких бактерий, называемые облигатными анаэробами, растут только в отсутствие кислорода; при наличии молекулярного кислорода они быстро погибают. Другие, называемые факультативными анаэробами, развиваются одинаково хорошо как в присутствии, так и в отсутствие кислорода.

Различные виды бактерий могут использовать в качестве источника энергии почти любые органические соединения — не только питательные вещества, как сахара, аминокислоты и жиры, но и продукты выделения, например мочевины и мочевую кислоту, содержащиеся в моче, и вещества, входящие в состав экскрементов. Один из видов бактерий может использовать в качестве питательного субстрата даже пенициллин, убивающий многие бактерии.

Каждый вид бактерий занимает определенную экологическую нишу, которая может быть в водной среде, почве. Каждая ниша характеризуется определенными химическими процессами.

Биохимические процессы, осуществляющиеся в организмах, представляют собой сложные, организованные в циклы цепи реакций. На воспроизведение их в неживой

природе потребовались бы огромные энергетические затраты. В живых организмах они протекают при посредстве белковых катализаторов – ферментов, понижающих энергию активации молекул на несколько порядков величин. Так как материалы и энергию для обменных реакций живые существа черпают в окружающей среде, они преобразуют среду уже только тем, что живут.

В биосфере в результате жизнедеятельности микроорганизмов в больших масштабах осуществляются такие химические процессы, как окисление и восстановление элементов с переменной валентностью (азот, сера, железо, марганец и др.). Геологические результаты деятельности этих организмов проявляются в образовании осадочных месторождений серы, образовании в анаэробных условиях залежей сульфидов металлов, а в аэробных – окисление их и перевод в растворимое состояние, возникновение железных и железомарганцевых руд.

За счет жизнедеятельности огромного числа гетеротрофов, в основном грибов, животных и микроорганизмов, происходит гигантская, в масштабах всей Земли, работа по разложению органических остатков. При деструкции органической массы протекают два параллельных процесса: минерализации и образования почвенного гумуса со значительным запасом энергии.

Вопросы для самоконтроля

- 1) В чем заключается принцип минимума?
- 2) Какие типы экологических ниш различают?
- 3) Какие законы были сформулированы Гаузе, применяемых к экологическим нишам?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Сазонова, И.А.** Экологическая биотехнология: учебное пособие / И.А. Сазонова. Саратов, 2012 г. – 106 с. – (ЭБС IPR-books <http://www.iprbookshop.ru/>)
2. **Вечканов, Е.М.** Термодинамика и кинетика биологических процессов: учеб-метод. пособие для вузов / Е.М. Вечканов, В. В. Внуков. - Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2010. - 59 с.

Дополнительная

3. Биотехнология: Теория и практика / Н.В. Загоскина [и др.]. – М.: Оникс, 2009. – 496 с.
4. **Елинов, Н.П.** Основы биотехнологии / Н.П. Елинов. - СПб.: Наука, 1995, 600 с.
5. Биотехнология /Под ред. А.А. Баева. – М: Наука, 1984. – 309с.

Лекция 4

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЗАДАЧАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ (часть II)

4.1. Кинетика микробиологических процессов

В основе процессов обмена клетки со средой и внутреннего метаболизма лежит сложная сеть организованных определенным образом во времени и пространстве различных реакций. В результате этих процессов изменяются концентрации различных веществ, численность отдельных клеток, биомасса организмов, могут изменяться и другие величины, например величина трансмембранного потенциала в клетке. Изменения всех этих переменных величин во времени и составляют кинетику биологических процессов. Таким образом: кинетика изучает закономерности протекания во времени биохимических процессов, механизмы биохимических превращений в зависимости от различных факторов (температуры, концентрации реагирующих веществ, давления, pH среды).

Все гомогенные элементарные химические реакции различают по числу молекул, участвующих в элементарном акте химического взаимодействия. По этому признаку реакции подразделяют: **мономолекулярные, бимолекулярные и тримолекулярные.**

Порядок реакции по данному веществу — показатель степени при концентрации этого вещества в кинетическом уравнении реакции. Если зависимость скорости химической реакции от концентраций исходных веществ записать в виде:

$$V = k [A_1]^{n_1} [A_2]^{n_2} \dots \dots \dots [A_h]^{n_k}$$

где n_1 - порядок реакции по веществу **A1**, а $(n_1 + n_2 + \dots + n_k)$ - порядок реакции в целом.

Выделяют реакции 0, 1, 2, 3 – порядков.

Химические реакции 0 порядка. Кинетическое уравнение имеет следующий вид:

$$V_0 = k_0$$

Скорость реакции нулевого порядка постоянна во времени и не зависит от концентраций реагирующих веществ. Нулевой порядок характерен, например, для гетерогенных реакций в том случае, если скорость диффузии реагентов к поверхности раздела фаз меньше скорости их химического превращения. Диаграмма зависимости скорости химической реакции от концентрации субстрата при химической реакции 0 порядка:



Рисунок 1. Зависимость скорости реакции от концентрации 0 порядка

Химические реакции 1 порядка. Кинетическое уравнение имеет следующий вид:

$$V_1 = k_1[C]$$

Диаграмма зависимости скорости химической реакции от концентрации субстрата при химической реакции 1 порядка:



Рисунок 2. Зависимость скорости реакции от концентрации 1 порядка

Химические реакции 2 порядка. Кинетическое уравнение имеет следующий вид:

$$V_2 = k_2[Ca]^2 \text{ или } V_2 = k_2[Ca] [Cb]$$

Диаграмма зависимости скорости химической реакции от концентрации субстрата при химической реакции 2 порядка:



Рисунок 3. Зависимость скорости реакции от концентрации 2 порядка

Правило Вант-Гоффа - эмпирическое правило, позволяющее в первом приближении оценить влияние температуры на скорость химической реакции в небольшом температурном интервале (обычно от 0 °С до 100 °С). Я. Х. Вант-Гофф на основании множества экспериментов сформулировал следующее правило: при повышении температуры на каждые 10 градусов константа скорости гомогенной элементарной реакции увеличивается в два — четыре раза.

Правило Вант-Гоффа имеет ограниченную область применимости. Ему не подчиняются многие реакции, происходящие при высоких температурах, очень быстрые и очень медленные реакции. Правилу Вант-Гоффа также не подчиняются реакции, в которых принимают участие громоздкие молекулы, например белки в биологических системах.

Распределение молекул в системе по скоростям, а следовательно, и по энергиям описывается **кривой Максвелла-Больцмана**. Отношение количества молекул n , обладающих энергией E_A , к общему количеству молекул N равно:

$$n/N = e^{-E_A/RT}$$

Уравнение, связывающее константу скорости реакции, количество столкновений молекул, энергию активации и температуру, называется **уравнением Аррениуса**:

$$K = p Z e^{-E_A/RT}$$

где Z – количество столкновений, p – стерический фактор, предоставляющий собой вероятность столкновения молекул активными центрами.

Таким образом, энергия активации — это энергетический барьер, который преодолевают молекулы для осуществления реакции. В уравнении Аррениуса множитель определяет долю молекул, имеющих энергию и эффективно участвующих в реакции. Чем выше энергия активации реакции, тем медленнее она протекает при заданной температуре.

Зависимость скорости (v) ферментативной реакции от концентрации субстрата $[S]$ выражается **уравнением Михаэлиса-Ментен** и в графической форме:

$$V = V_{\max} \frac{[S]}{K_m + [S]}$$

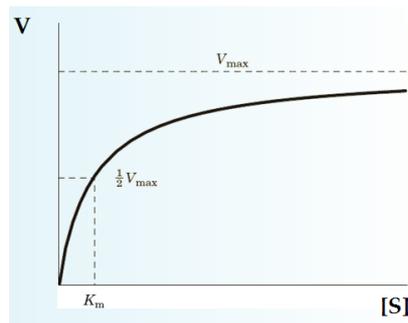


Рисунок 4. Кривая Михаэлиса-Ментен

При достаточно малых концентрациях субстрата скорость V пропорциональна $[S]$ и ферментативная реакция представляет реакцию первого порядка. При очень больших концентрациях субстрата, когда $[S] > K_m$, $V = V_{\max}$, и процесс идет как реакция нулевого порядка.

3.2. Моделирование роста микроорганизмов

Моделирование - один из основных методов биофизики. Он используется на всех уровнях изучения живых систем, начиная от молекулярной биофизики, биофизики мембран, биофизики клетки и органов и заканчивая биофизикой сложных систем.

При изучении сложных систем исследуемый объект может быть заменен другим, более простым, но сохраняющим основные, наиболее существенные для данного исследования свойства. Такой более простой объект исследования называется моделью.

Модель - это всегда некое упрощение объекта исследования и в смысле его структуры, и по сложности внутренних и внешних связей, но обязательно отражающее те основные свойства, которые интересуют исследователя.

Основные виды моделей:

1. Физическая модель имеет физическую природу, часто ту же, что и исследуемый объект. Например, течение крови по сосудам моделируется движением жидкости по трубам (жестким или эластичным). Для изучения процессов проницаемости ионов через биологические мембраны реальная мембрана заменяется искусственной (например, липосомой). Физические устройства, временно заменяющие органы живого организма, также можно отнести к физическим моделям: искусственная почка - модель почки, кардиостимулятор - модель процессов в синусовом узле сердца, аппарат искусственного дыхания - модель легких.

2. Биологические модели представляют собой биологические объекты, удобные для экспериментальных исследований, на которых изучаются свойства, закономерности биофизических процессов в реальных сложных объектах.

3. Математические модели - описание процессов в реальном объекте с помощью математических уравнений, как правило, дифференциальных. Для реализации математических моделей в настоящее время широко используются компьютеры.

Если процессы в модели имеют другую физическую природу, чем оригинал, но описываются таким же математическим аппаратом (как правило, одинаковыми дифференциальными уравнениями), то такая модель называется аналоговой.

Основные требования, которым должна отвечать модель:

1. Адекватность - соответствие модели объекту, то есть модель должна с заданной степенью точности воспроизводить закономерности изучаемых явлений.

2. Модель должна иметь границы применимости, то есть должны быть четко заданы условия, при которых выбранная модель адекватна изучаемому объекту.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Что изучает кинетика?
- 2) В чем заключается правило Вант-Гоффа?
- 3) Какие величины связывает уравнение Аррениуса?
- 4) Основные виды моделей?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Сазонова, И.А.** Экологическая биотехнология: учебное пособие / И.А. Сазонова. Саратов, 2012 г. – 106 с. – (ЭБС IPR-books <http://www.iprbookshop.ru/>)
2. **Вечканов, Е.М.** Термодинамика и кинетика биологических процессов: учеб-метод. пособие для вузов / Е.М. Вечканов, В. В. Внуков. - Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2010. - 59 с.

Дополнительная

3. Биотехнология: Теория и практика / Н.В. Загоскина [и др.]. – М.: Оникс, 2009. – 496 с.
4. **Елинов, Н.П.** Основы биотехнологии / Н.П. Елинов. - СПб.: Наука, 1995, 600 с.
5. Биотехнология /Под ред. А. А. Баева. – М: Наука, 1984. – 309с.

Лекция 5

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

5.1. Понятие генетической инженерии, векторы

При оптимизации любого биотехнологического процесса, протекающего с участием живых организмов, основные усилия обычно направлены на улучшение их генетических свойств. Традиционно для этих целей использовали мутагенез с последующим скринингом и отбором подходящих вариантов. Сегодня в этой области произошли громадные перемены. В настоящее время разрабатываются и применяются принципиально новые методы, основанные на технологии рекомбинантных ДНК. Модификация генетического материала осуществляется разными методами: в живом организме (*in vivo*) и вне его (*in vitro*), соответственно, это два направления – *клеточная инженерия и генетическая инженерия*. С помощью этих методов возможно получение новых высокопродуктивных продуцентов белков и пептидов человека, антигенов, вирусов и др. генетическая инженерия – это методы получения рекомбинантных ДНК (рДНК), объединяющих последовательности нуклеотидов разного происхождения. Она может быть генной, геномной и хромосомной.

Генная инженерия – целенаправленное изменение естественных генетических характеристик известных вирусов и клеток.

Техника генетического конструирования *in vitro* включает несколько последовательных процедур:

- получение нужного гена;
- встраивание его в генетический элемент, способный к репликации (вектор);
- введение гена, входящего в состав вектора, в организм-реципиент;
- идентификацию (скрининг) и отбор клеток, которые приобрели желаемый ген или гены.

Получение генов возможно несколькими путями: выделением из ДНК, химико-ферментным синтезом и ферментным синтезом.

5.2. Выделение генов из ДНК

Проводят с помощью рестриктаз, катализирующих расщепление ДНК на участках, имеющих определенные нуклеотидные последовательности (4–7 нуклеотидных пар). Расщепление можно проводить посередине узнаваемого участка нуклеотидных пар; при этом обе нити ДНК «разрезаются» на одном уровне. Образующиеся фрагменты ДНК имеют так называемые тупые концы. Возможно расщепление ДНК со сдвигом, при этом одна из нитей выступает на несколько нуклеотидов. Образующиеся при этом «липкие» концы в силу своей комплементарности вступают во взаимодействие.

Нуклеотидную последовательность с липкими концами можно присоединить к вектору (предварительно обработанному той же рестриктазой), превратить в кольцевую в результате сшивания лигазами взаимно комплементарных концов. Метод имеет существенные недостатки, так как достаточно трудно подобрать действие ферментов для строгого вычленения нужного гена. Вместе с геном захватываются «лишние» нуклеотиды или, наоборот, ферменты отрезают часть гена, превращая его в функционально неполноценный.

5.3. Ферментные синтезы

Химико-ферментный синтез применяют в том случае, если известна первичная структура белка или пептида, синтез которого кодирует ген. Необходимо полное знание нуклеотидной последовательности гена. Этот метод позволяет точно воссоздать нужную последовательность нуклеотидов, а также вводить в гены участки узнавания рестриктаз, регуляторных последовательностей и пр.

Метод состоит из химического синтеза одноцепочечных фрагментов ДНК (олигонуклеотидов) за счет поэтапного образования эфирных связей между нуклеотидами, обычно 8–16-звенных. В настоящее время существуют «генные машины», которые под контролем микропроцессора очень быстро синтезируют специфические короткие последовательности одноцепочечной ДНК.

Ферментный синтез гена на основе выделенной матричной РНК (мРНК) является в настоящее время наиболее распространенным методом. Сначала из клеток выделяют матричные РНК, среди которых присутствует мРНК, кодируемая геном, который требуется выделить. Затем в подобранных условиях на выделенной из клетки мРНК, как на матрице, с помощью обратной транскриптазы (ревертазы) синтезируется нить ДНК, комплиментарная м РНК (кДНК). Полученная комплиментарная ДНК (кДНК) служит матрицей для синтеза второй нити ДНК с использованием ДНК-полимеразы или ревертазы. Затравкой при этом служит олигонуклеотид, комплиментарный 3'-концу мРНК; новая цепь ДНК образуется из дезоксирибонуклеозидтрифосфатов в присутствии ионов магния. Метод с большим успехом применен для получения в 1979 году гена гормона роста человека (соматотропина).

Полученный тем или иным способом ген содержит информацию о структуре белка, но сам не может ее реализовать. Поэтому нужны дополнительные механизмы для управления действием гена. Перенос генетической информации в клетку реципиента осуществляется в составе вектора. Вектор – это, как правило, кольцевая молекула ДНК, способная к самостоятельной репликации. Ген вместе с вектором образует рекомбинантную ДНК.

5.4. Конструирование рекомбинантных ДНК

При обычном введении в бактериальную клетку ДНК подвергается ферментативной атаке, в результате которой разрушается. Чтобы этого не происходило, используют векторные молекулы ДНК, способные при введении в клетку существовать автономно, а при делениях клетки – реплицироваться. Вектор также несет в своем составе генетический признак, необходимый для последующего распознавания и отбора трансгенных организмов. Обычно в качестве маркерных генов используют гены устойчивости к антибиотикам.

Конструирование рекомбинантных ДНК осуществляется *in vitro* с изолированными ДНК при помощи эндонуклеаз рестрикции, которые расщепляют вектор в одном участке, превращая его из кольцевой формы в линейную с образованием липких концов, комплиментарных концам вводимой ДНК. Комплиментарные концы вектора и вводимого гена сшиваются лигазой. Полученную рекомбинантную ДНК с помощью той же ДНК-лигазы замыкают с образованием кольцевой молекулы.

В качестве векторов используют плазмиды и вирусы. Вирусы транспортируются из клетки в клетку, за короткое время способны быстро заразить весь организм. Важная проблема при их использовании – аттенюация (ослабление патогенности для хозяина),

поэтому не очевидно, что зараженные вирусом клетки выживут и смогут передавать потомству измененную генетическую программу.

Наиболее распространенными векторами являются многокопийные плазмиды с молекулярной массой 3–10 кб. Первые плазмиды были выделены из бактерий, впоследствии их стали конструировать методами генной инженерии.

Использование векторов общего назначения методически – несложная задача, не требующая специального оборудования. Наиболее используемыми плазмидными векторами для клонирования служат плазмиды *E. coli* (pBR322, pBR325, pACYC117, pACYC 184), а также сконструированные на основе плазмиды CoIE1. Современные плазмидные векторы в присутствии хлорамфеникола способны к репликации, независимо от деления хромосомы, количество копий плазмид при этом может возрастать до 1–2.10³ копий на клетку.

С помощью методов генетической инженерии возможно конструирование новых форм микроорганизмов по заданному плану, способных синтезировать разнообразные продукты, в том числе эукариотических организмов. Рекомбинантные микробные клетки быстро размножаются в контролируемых условиях и способны утилизировать при этом разнообразные, в том числе недорогие, субстраты.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Каковы методы получения генов?
- 2) Основные этапы получения трансгенных растений?
- 3) Какие ферментные синтезы применяются в биотехнологии?
- 4) Принцип конструирования рекомбинантных ДНК?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Сазонова, И.А.** Экологическая биотехнология: учебное пособие / И.А. Сазонова. Саратов, 2012 г. – 106 с. – (ЭБС IPR-books <http://www.iprbookshop.ru/>)
2. **Клунова, С.М.** Биотехнология: учебник / С.М. Клунова, Т.А. Егорова, Е.А. Живухина. - М.: Академия, 2010. - 256 с. - ISBN 978-5-7695-6697-4.

Дополнительная

3. Биотехнология: Теория и практика / Н.В. Загоскина, [и др.]. – М.: Изд-во: Оникс, 2009. – 496 с.
4. **Елинов, Н.П.** Основы биотехнологии / Н.П. Елинов. - СПб.: Наука, 1995. – 600 с.
5. **Бейли, Дж.** Основы биотехнологической инженерии. В 2-х ч. / Дж. Бейли, Д. Оллис – М.: Мир, 1989. – 1288с.
6. Биотехнология / Под ред. А. А. Баева. – М: Наука, 1984. – 309с.

Лекция 6

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ II

6.1. Генетическая инженерия растений

Технология состоит из следующих основных этапов получения трансгенных растений: 1) выбор гена и его клонирование; 2) подбор генотипа растения-реципиента; 3) введение гена и его экспрессия в геноме растения-реципиента; 4) регенерация трансформированных клеток и отбор трансгенных растений.

Выбор гена и его клонирование: определяется необходимостью передачи растению определённого хозяйственно-полезного признака. Для трансформации растений используются в основном гены, определяющие моногенные признаки, такие, как устойчивость к гербицидам и пестицидам, устойчивость к некоторым другим видам стрессов. Большинство генов, определяющих эти признаки, выделены из бактериальных геномов диких видов растений.

Подбор генотипа растения-реципиента: в качестве реципиента подбираются растения того сорта или линии, которые отвечали бы требованиям производства по урожайности, качеству плодов, устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам, но имели бы лишь одно отрицательное свойство, например устойчивость к насекомым.

Введение гена и его экспрессия в геноме растения-реципиента: в последнее время довольно широко, особенно для трансформации клеток однодольных растений, используется метод биобаллистической трансформации. Важно обеспечить экспрессию чужеродного гена в геноме растения-реципиента и стабильное наследование признака в поколении.

Регенерация трансформированных клеток и отбор трансгенных растений: хорошо выражена у клеток двудольных растений, таких как табак, картофель, свекла, соя, рапс, люцерна, томаты, морковь, капуста, некоторые плодовые. У однодольных, особенно злаков, этот признак выражен очень слабо, в связи с чем процесс регенерации клеток в целом растение проходит с большими трудностями.

Одной из основных проблем при получении трансгенных растений был способ введения чужеродных генов в хромосомы растений, т. е. трансформации растительных клеток. Значительный прорыв был сделан при открытии возможности использования природной системы трансформации растений Ti-плазмидами почвенных агробактерий.

Ранее было известно, что некоторые виды почвенных бактерий могут заражать двудольные растения и вызывать при этом образование специфических опухолей – корончатых галлов. Опухоли состоят из дедифференцированных клеток, интенсивно делящихся и растущих в месте заражения. При культивировании *in vitro* клетки опухоли могут расти в отсутствие гормонов, необходимых для роста нормальных растительных клеток. Если после заражения все агробактерии инактивизировать добавлением антибиотика, то клетки корончатых галлов сохраняют способность к неконтролируемому делению. Итак, присутствие агробактерии необходимо только для индуцирования образования опухоли.

При заражении растения агробактерией происходит перестройка метаболизма трансформированных растительных клеток, и они начинают синтезировать соединения, необходимые только для бактерий.

На примере одного из самых сильных индукторов опухолей – *Agrobacterium tumefaciens* – было показано, что собственно опухолеродным агентом является

специфическая плаزمиды, названная Ti-плазмидой (от англ. Tumor inducing индуцирующая опухоль), часть которой встраивается в хромосомы клеток растения.

Ti-плазмиды переносятся в ядро растительной клетки и может встраиваться в растительный геном. Этот фрагмент Ti-плазмиды был назван T-ДНК (трансформирующая ДНК).

6.2. Методы генетической инженерии растений

Метод кокультивации с агробактерией является одним из самых распространённых методов получения трансгенных двудольных растений.

В качестве исходного материала необходимо иметь штамм агробактерии с векторной конструкцией. Вектор должен содержать последовательность гена, который необходимо ввести в геном растения.

В качестве эксплантов для трансформации обычно берут стерильные листовые диски. Однако можно брать и молодые корешки, семядоли, междоузлия.

Экспланты инокулируют жидкой средой, содержащей агробактерию с векторной конструкцией. Время инокуляции подбирается для каждого вида растений индивидуально. При этом происходит заражение клеток раневой поверхности экспланта, и после 24-48 ч. кокультивирования в некоторых клетках происходит встраивание в растительный геном фрагмента T-ДНК с чужеродным (выбранным) геном.

Такие трансгенные растения будут расти на среде с добавлением селективного агента. Через 2-5 недель на трансформированном экспланте развиваются побеги, которые в дальнейшем отсаживают или переносят в почву.

Методом кокультивации с агробактериями к настоящему времени получены трансгены растения практически всех сельскохозяйственных двудольных растений. Этот метод применим также и для некоторых однодольных (пшеница, кукуруза, рис).

Методы прямого переноса генов в растение

Для прямого переноса генов в растительные клетки очень часто используется трансформация растительных протопластов. При обработке клеточной стенки растения ферментами (целлюлозой, пектиназой) клеточная оболочка разрушается и остаётся один протопласт. Разработаны методы прямой трансформации протопластов с помощью ДНК.

Для трансформации может быть использован практически ДНК-вектор, несущий чужеродный ген. При этом гибридный ген интегрирует в ядерную ДНК растения и экспрессирует, особенно в случае прямой инъекции в ядро протопласта, используя механизмы клеточной рекомбинации. Однако основным недостатком такого метода является крайне низкая частота трансформации.

В настоящее время более 140 видов растений были протрансформированы путём прямого переноса ДНК вектора в протопластные клетки различными методами:

1) Микроинъекции ДНК. Трансформация растительных протопластов с эффективностью не более 10-15%.

2) Электропорация метод основан на том, что импульсы высокого напряжения обратимо увеличивают проницаемость биомембран. Метод состоит в следующем: на растительные протопласты, находящиеся в растворе большой концентрации, содержащем ДНК-векторы, действуют высоковольтным импульсом (напряжение 200-350 В). В результате молекулы ДНК поглощаются клетками через поры в клеточной

мембране. После разведения раствора протопласты высеиваются на соответствующую среду для регенерации.

3) Упаковка в липосомы. Липосомы – это сферически образования, оболочки которых состоят из фосфолипидов. В настоящее время этот способ трансформации применяется всё реже из-за его технической сложности и низкой трансформирующей активности (0,5- 1%).

4) Метод биобаллистической трансформации. Метод биобаллистики, являясь одним из самых эффективных на сегодняшний день методов трансформации однодольных. Суть метода заключается в том, что на мельчайшие частички вольфрама, платины или золота, напыляется ДНК вектора, содержащего необходимую для трансформации генную конструкцию. Помещают внутрь биобаллистической пушки, суспензия клеток вносится в чашку Петри и помещается под биобаллистическую пушку. В пушке вакуумным насосом уменьшается давление. В момент сбрасывания давления вольфрамовые или золотые частички с огромной скоростью выбрасываются из пушки и, разрывая клеточные стенки, входят в цитоплазму и ядро клеток. Были трансформированы однодольные растения, такие, как кукуруза, рис, пшеница, ячмень.

6.3. Трансгенные организмы. Экологические проблемы

Сегодня в число трансгенных (генетически модифицированных) растений (ГМР) уже входят две сотни полевых, пастбищных, овощных, древесных, декоративных и лекарственных культур. Для генной инженерии не существует препятствий, которые ограничивают перенос генов при традиционной селекции, основанной на половой гибридизации: источником новых генов могут быть любые организмы - животные, растения или микробы. Более того, генные инженеры могут так изменить строение этих генов, приспособив их к организму нового хозяина, чтобы заставить работать продуктивнее или в строго определенный период развития растения.

Сегодня генная инженерия сельскохозяйственных растений развивается, главным образом, в русле классической селекции. Основные усилия ученых сосредоточены на защите растений от неблагоприятных (биотических и абиотических) факторов, снижении потерь при хранении и улучшении качества продукции растениеводства. В частности, это повышение устойчивости к болезням и вредителям, заморозкам или засолению почвы, удаление нежелательных компонентов из растительного масла, изменение свойств белка и крахмала в пшеничной муке, улучшение сохранности, вкуса плодов томата и т.д.

Противники генетически модифицированных растений не без оснований напоминают, что создание, испытание и семеноводство трансгенных сортов монополизировано несколькими транснациональными корпорациями, которые в состоянии ограничивать доступ информации о неблагоприятных экологических последствиях широкого применения продуктов из ГМР. Очевидно, потребуется несколько лет для их экологической экспертизы и приспособления к консервативным вкусам потребителей. Последние вправе ожидать, что закон защитит их право выбора между традиционными и генетически модифицированными продуктами питания.

Во многих странах уже приняты законы, предотвращающие несанкционированное распространение трансгенного семенного материала и обеспечивающие мониторинг трансгенов в посевах, а также маркировку пищевых товаров, изготовленных из продуктов ГМР или с их добавлением. В нашей стране также принят Закон о государственном регулировании в области генно-инженерной деятельности от

05.07.1996 г. и подзаконные акты, регулирующие генно-инженерные работы, полевые испытания трансгенных растений и ввоз генетически модифицированных семян, продуктов питания и кормов.

Специальные исследования показали, что ограниченное поступление трансгенов и белковых компонентов их экспрессии в организм человека с продуктами питания не может иметь тех серьезных последствий, которые дали бы основание для запрещения продуктов питания из ГМР. В то же время ГМР могут существенно оздоровить окружающую среду. Возделывание ГМР, устойчивых к широкому спектру болезней и насекомых-вредителей, сможет существенно снизить, а в дальнейшем и свести к минимуму пестицидную нагрузку на окружающую среду. Растения, ослабленные неблагоприятными погодными условиями, легче поражаются болезнями и вредителями. Поэтому трансгенные сорта, устойчивые к заморозкам, засолению и засухе, в меньшей степени нуждаются в химической защите, и возделывании таких ГМР, что также обеспечит снижение пестицидной нагрузки и на среду обитания.

Труднее оценить экологические последствия широкого применения трансгенных сортов, устойчивых к современным гербицидам сплошного действия (глифосат). Эти гербициды применяются в умеренных дозах, они малотоксичны для человека и животных и нестойки в почве. Посевы ГМР поэтому удается практически полностью освободить от сорняков. Однако расширенное применение этих гербицидов может иметь неблагоприятные последствия для дикорастущих растений и окружающей природы в целом.

Наиболее серьезные возражения против ГМР связаны с предположением, что их широкое распространение приведет к появлению и быстрому размножению устойчивых форм сорных растений. Столь же реально появление насекомых-вредителей, которые приобрели устойчивость к В1-токсинам, синтезируемым ГМР.

Другим неблагоприятным последствием широкого распространения ГМР может стать сокращение генетического разнообразия дикорастущих и особенно культурных растений на нашей планете. Уменьшение численности фитофагов или подавление фитопатогенов может привести к размножению контролируемых ими видов растений и снижению численности энтомофагов, что изменит структуру агро- и биоценозов.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Каковы методы получения генов?
- 2) Основные этапы получения трансгенных растений?
- 3) Какие методы используются при генетической инженерии растений?
- 4) Проблемы окружающей среды в связи с использованием трансгенных растений?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Сазонова, И.А.** Экологическая биотехнология: учебное пособие / И.А. Сазонова. Саратов, 2012 г. – 106 с. – (ЭБС IPR-books <http://www.iprbookshop.ru/>)

Дополнительная

2. **Елинов, Н.П.** Основы биотехнологии / Н.П. Елинов. - СПб.: Наука, 1995. – 600 с.
3. **Бейли, Дж.** Основы биотехнологической инженерии. В 2-х ч. / Дж. Бейли, Д. Оллис – М.: Мир, 1989. – 1288с.

Лекция 7

Сточные воды как объект очистки

Биологическая очистка сточных вод основана на способности микроорганизмов использовать растворённые и коллоидные загрязнения в качестве источника питания и минерализовывать их в процессах своей жизнедеятельности. Среди биологических методов защиты окружающей среды биологические методы очистки сточных вод первыми получили развитие и в настоящее время наиболее широко используются. По объёму перерабатываемых потоков биологическая очистка сточных вод является самой крупнотоннажной технологией и применяется на подавляющем большинстве очистных сооружений: производственных, городских, локальных и придомовых.

Очистку сточных вод проводят с целью удаления из них взвешенных и растворимых органических и неорганических соединений до концентраций, которые не превышают регламентированные (предельно допустимые концентрации, ПДК). Чем ниже содержание загрязнений в очищенной сточной воде, тем выше её качество.

Нормативы качества и объёмы сбрасываемой воды (предельно допустимые сбросы, ПДС) назначаются с учётом соотношения объёмов сбрасываемых сточных вод и воды водоприёмного природного водоёма, процессов самоочищения в водоёме, категории водоёма и содержания фоновых загрязнений. В случае использования речной воды для культурно – бытовых или хозяйственно-питьевых целей регламентируются показатели качества воды в контрольном створе, в котором состав и свойства воды должны соответствовать нормативным и который расположен на расстоянии 1 км выше ближайшего по течению пункта водопользования или водопотребления.

В России требования к качеству очищенных сточных вод содержатся в «Правилах охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», «Правилах охраны прибрежных районов морей», строительных нормах и правилах проектирования канализации и очистных сооружений. Все эти документы определяют условия отведения сточных вод в водоёмы, и их выполнение обязательно как для промышленных объектов, так и для хозяйствующих субъектов.

Регламентированное содержание загрязнений в очищенной воде зависит от категории природного водоёма, в который эту воду сбрасывают. Выделяют водоёмы, вода которых используется для хозяйственно-питьевых целей (а также для снабжения предприятий пищевой промышленности), для культурно-бытового водопользования и в рыбохозяйственных целях. Наиболее жёсткие требования предъявляются к качеству воды объектов, используемых в рыбохозяйственных целях.

Различают водопотребление и водопользование. При водопотреблении воду изымают из мест локализации и перемещают. Главные потребители воды – промышленность, сельское хозяйство, горная добыча, хозяйственно-питьевое водоснабжение. Российскими природоохранными документами нормируется содержание загрязнений в воде хозяйственно-питьевого назначения.

При водопользовании воду используют без изъятия из мест локализации. Наиболее крупные водопользователи – гидроэнергетика, транспорт, рыбное хозяйство, система

отдыха. Нормируется содержание загрязнений в воде водоёмов культурно-бытового и рыбохозяйственного назначения.

Рыбохозяйственные водоёмы подразделяют на 3 категории:

- высшая категория – для разведения особо ценных и ценных видов рыб, других водных животных и растений, места расположения нерестилищ;
- первая категория – для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, высокочувствительных к содержанию кислорода;
- вторая категория – для других рыбохозяйственных целей.

Сброс вод при соблюдении рыбохозяйственных ПДК не должен приводить к гибели рыб и их кормовой базы, к их постепенному исчезновению, ухудшению товарных качеств обитающей в водном объекте рыбы, замене ценных видов рыб на малоценные.

Если сточная вода сбрасывается не в природный водоём, а в городскую канализацию, то, согласно действующему законодательству, в каждом населённом пункте Российской Федерации могут утверждаться собственные правила приёма сточных вод в канализацию и соответственно ПДК загрязняющих веществ, сбрасываемых со сточными водами на очистные сооружения канализации.

7.1 Основные показатели загрязнённости сточных вод

Для определения характера и степени загрязнённости сточных вод, качества очистки используется ряд показателей.

Органолептические показатели: цвет, вид, запах, мутность, прозрачность. Некоторые вещества обнаруживаются органами чувств человека при очень малых концентрациях (например, хлорфенол – при 0,000004 мг/л). По принятой методике вкус и запах воды определяются для холодной и подогретой до 60⁰С вода т оцениваются по следующей системе:

- 0 баллов – запах и привкус не обнаруживаются;
- 1 балл – обнаруживаются лишь опытным лицом с тонким обонянием и вкусом;
- 2 балла – обнаруживаются потребителем;
- 3 балла – обнаруживаются легко, могут быть поводом для жалоб;
- 4 балла – вода непригодна для употребления;
- 5 баллов – вода совершенно непригодна для питья.

В соответствии с гигиеническими требованиями при использовании воды в питьевых целях интенсивность запаха не должна превышать двух баллов.

Из запахов различают ароматический, болотный, гнилостный, древесный, землистый, рыбный, сероводородный и неопределённый. Вода, пригодная для употребления, не должна иметь запаха. Появление запаха чаще всего связано с образованием сероводорода при гниении серосодержащих органических веществ или при восстановлении сульфатов. Причиной появления запахов и привкусов воды может быть массовое развитие водорослей в водоёме, откуда производится водозабор. При этом в воду поступают продукты обмена веществ водорослей, придающие воде разнообразные запахи и привкусы.

Качественное определение мутности проводят описательно: слабая опалесценция, опалесценция, слабая, заметная и сильная муть. Количественно мутность определяют турбидиметрическим методом по ослаблению проходящего через пробу света. В качестве стандарта используют суспензию SiO_2 , каолина, формазина.

Прозрачность (или светопропускание) воды обусловлена её цветом и мутностью, т. е. содержанием в ней различных растворённых и окрашенных органических и минеральных веществ. В зависимости от степени прозрачности воду условно подразделяют на прозрачную, слабоопалесцирующую, опалесцирующую, слегка мутную, мутную и сильно мутную. Мерой прозрачности служит высота столба воды, при которой можно наблюдать опускаемую в воду белую пластину определённых размеров (диск Секки) или различать на белой бумаге шрифт определённого размера и типа (как правило, полужирный шрифт высотой 3,5 мм). Результаты выражаются в сантиметрах с указанием способа измерения.

Физико-химические показатели: рН, температура, окислительно-восстановительный потенциал, суммарная минерализация, электропроводность, цветность.

Суммарная минерализация отражает общее содержание минеральных веществ в воде; обычно выражается в мг/л или мг/дм^3 (до 1000 мг/л) и ‰ (промилле или тысячная доля при минерализации более 1000 мг/л).

Электропроводность приблизительно отражает суммарную минерализацию воды и обычно возрастает с её увеличением.

Цветность воды выражается в градусах платиново-кобальтовой или бихромат-кобальтовой шкалы и характеризует интенсивность окраски воды. Высокая цветность воды ухудшает её органолептические свойства и оказывает отрицательное влияние на развитие водных организмов.

Содержание взвешенных веществ отражает содержание в воде грубодисперсных суспендированных минеральных примесей (частиц глины, песка, других неорганических веществ) и органических частиц (различных микроорганизмов, активного ила, планктона, отмерших остатков организмов и т. п.).

Потери при прокаливании, зольность твёрдых примесей характеризуют содержание органической и минеральной части примесей. Определяют их путём прокалывания пробы (навески) при $500\text{--}600^\circ\text{C}$, при этом большинство соединений, содержащих С, Н, N, S и другие летучие примеси, выгорают. Потери при прокаливании выражают в мг/л, зольность – в ‰ от исходной массы твёрдого образца. Вместо показателей потерь при прокаливании и зольности иногда используют показатель «содержание в пробе летучих и нелетучих примесей».

Плотный остаток – остаток, образовавшийся при упаривании нефильтрованной воды и высушенный до постоянного веса при 105°C . Сухой остаток – остаток после упаривания и высушивания при 105°C профильтрованной воды.

Для описания содержания органических соединений также применяют показатели «растворённое органическое вещество» (РОВ), «взвешенное органическое вещество» (ВОВ), «общий органический углерод» (ООУ).

Показатель «общий органический углерод» определяется окислением органических веществ до CO_2 при нагревании. Для вычисления ООУ используют разность в количестве CO_2 до и после окисления. Концентрация ООУ растворённых органических веществ в незагрязнённых природных водах составляет от 1 до 20 мг/л. В болотных водах она может достигать нескольких сотен мг/л.

Жёсткость (мг-экв/л). Общая жёсткость воды определяется, главным образом, как сумма концентраций ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , выраженная в мг-экв/л. Она равна $[\text{Ca}^{2+}]/20,04 + [\text{Mg}^{2+}]/12,16$. Мягкая вода имеет жёсткость <4 мг-экв/л, вода средней жёсткости 4-8 мг-экв/л, жёсткая 8-12 мг-экв/л, очень жёсткая >12 мг-экв/л. Величина общей жёсткости в питьевой воде не должна превышать 7 мг-экв/л. Особые требования предъявляются к технической воде (из-за образования накипи).

Содержание железа и марганца. В городских сточных водах допускается содержание Fe до 5-8 мг/л, Mn до 1 мг/л. Воду в качестве питьевой можно использовать, если общее содержание железа не превышает 0,3 мг/л, марганца – 0,1 мг/л.

Содержание сульфатов, хлоридов, силикатов. Концентрация хлоридов может служить контрольным показателем для определения времени нахождения воды в сооружениях, сигналом о несоответствии проб поступающих и очищенных вод, поскольку в процессе прохождения сточной воды по всем очистным сооружениям хлориды практически не потребляются биоценозом очистных сооружений.

Содержание соединений фосфора и азота. Содержание аммонийного и нитратного азота в очищенной воде не должно превышать ПДК. Особенно важно отсутствие ионов NH_4^+ , которые вредны для рыб. При использовании процессов биологической очистки сточных вод в аэробных условиях должно быть обеспечено ориентировочное соотношение полного биологического потребления кислорода (БПК_п), азота и фосфора: БПК_п : N : P = 100:5:1. Если в сточных водах это соотношение не выдерживается (N и P меньше требуемого уровня), то азот и фосфор добавляют в сточные воды (обычно в виде минеральных солей: хлоридов, сульфатов, фосфатов).

Кислотность (мг-экв/л) сточных вод определяется способностью связывать гидроксид-ионы. Количество гидроксид-ионов, вступающих в реакцию, отображает общую кислотность воды и зависит от содержания свободного диоксида углерода, других органических слабых кислот, сильных кислот и их солей.

Щёлочность (мг-экв/л) определяет количество веществ, вступающих в реакцию с сильными кислотами. В зависимости от характера анионов, формирующих щёлочность, различают гидратную щёлочность (обусловленную присутствием ионов OH^-), бикарбонатную (HCO_3^-), карбонатную (CO_3^{2-}), силикатную (HSiO_3^-), фосфатную (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), гуматную и т. д. Природные воды с pH 7-9 обычно имеют суммарную карбонатную и бикарбонатную щёлочность 3-4 мг-экв/л.

Суммарный показатель карбонатной и бикарбонатной щёлочности используется в оценке качества иловой воды метантенка и выражает содержание CO_2 ,

гидрокарбонатов и карбонатов. В этом случае при рН воды <4,0-4,3 щёлочность равно 0. При определении щёлочности иловой воды метантенка при внесении HCl оттитровываются гидроксиды, карбонаты, гидрокарбонаты и низшие жирные кислоты. Содержание жирных кислот определяется по разнице оттитровывания двух проб с разными индикаторами. Жирные кислоты оттитровывают последними.

Чем выше щёлочность сточной воды, тем выше её буферная ёмкость, выше устойчивость к закислению и защелачиванию, наблюдаемым в биологических процессах аммонификации, потребления соединений азота микроорганизмами, нитрификации, денитрификации и др. В то же время для достижения желаемых значений рН для воды с низкой щёлочностью требуется меньший расход реагентов.

Содержание синтетических ПАВ. На биоочистку допускается поступление сточных вод с содержанием синтетических ПАВ не более 10-20 мг/л

Суммарная концентрация вредных вещества на выходе из очистных сооружений в долях ПДК не должна превышать 1:

$$\sum C_i / \text{ПДК}_i \leq 1 \quad (1.1)$$

где C_i – концентрация i -го вещества-загрязнителя в воде, мг/л; ПДК_i – предельно допустимая концентрация вещества-загрязнителя в воде, мг/л.

Растворённый кислород – один из основных санитарных показателей состояния водоёма. Концентрация кислорода в значительной мере определяет направление и скорость процессов химического и биологического окисления органических и неорганических соединений. Минимальное содержание растворённого O_2 , обеспечивающее нормальное развитие рыб, составляет около 5 мг/л. Понижение его до 2 мг/л вызывает массовую гибель (замор) рыбы.

Наиболее часто для оценки показателя общей загрязнённости сточных вод органическими соединениями используют показатели ХПК и БПК.

ХПК – химическое потребление кислорода – величина, определяемая по методике, при которой вещество, присутствующее в сточных водах, химически окисляется -,25%-м $K_2Cr_2O_7$ при кипячении пробы в течение 2ч в растворе H_2SO_4 с объёмной долей 50%. Для полноты окисления органических веществ применяют катализатор – Ag_2SO_4 . Большинство органических веществ в таких условиях окисляется до H_2O и CO_2 , однако ряд соединений (пиридин, бензол и его гомологи, нафталин, триметиламин) в этом режиме окисляются не полностью. При окислении бихроматом наряду с органическими веществами окисляются и некоторые неорганические вещества (NO_2^- , S^{2-} , $S_2O_3^{2-}$, Fe^{2+} , SO_3^{2-}). Аммиак и ионы аммония, образующиеся при окислении органического азота, не окисляются. Величину ХПК выражают в пересчёте на содержание кислорода, например в мг O_2 /л, то есть потребление бихромата или перманганата калия переводят в эквивалентное потребление кислорода (то количество кислорода, которое потребовалось бы для окисления кислородом органических веществ, содержащихся в 1 л воды).

Кроме ХПК по бихроматной окисляемости ($ХПК_{Cr}$) используют также ХПК по мерманганатной окисляемости ($ХПК_{Mn}$) – окисление загрязнений с помощью $KMnO_4$.

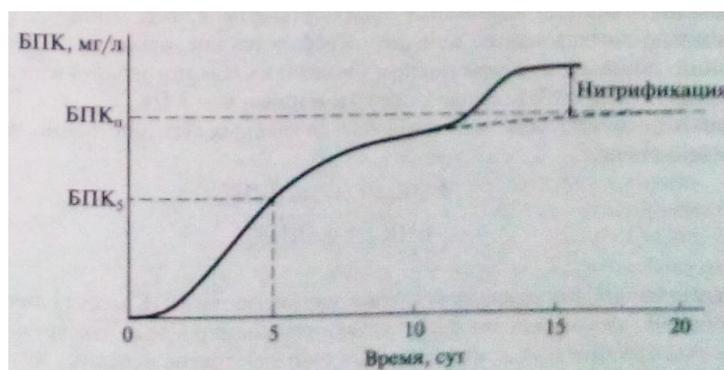
Эта методика более простая в исполнении, но при её использовании количество окисляемых органических соединений существенно меньше, чем при окислении бихроматом.

При определении ХПК азот не окисляется и его не учитывают.

ХПК подземных природных вод составляет десятые и сотые доли мг/л; исключение составляют подземные воды нетяных месторождений и грунтовые воды, питающиеся за счёт болот. Для воды горных рек и озёр ХПК составит 2-3 мг O_2 /л, равнинных рек – 5-7 мг O_2 /л, рек с болотным питанием – десятки мг на 1 литр.

БПК – биохимическое (биологическое) потребление кислорода – количество кислорода, которое потребляется микроорганизмами или при аэробном биологическом разложении органических веществ, содержащихся в сточных водах, при стандартных условиях инкубации (температура 20⁰С, нейтральный рН) за определённый интервал времени. Кислород, затрачиваемый на нитрификацию, при определении БПК не учитывается. Ил должен быть адаптирован к потреблению загрязнений сточных вод. В зависимости от длительности биологического разложения различают БПК за 5 сут, 20 сут и полное окисление: БПК₅, БПК₂₀, БПК_п. БПК₅ обычно определяют для стоков, содержащих легко усвояемые загрязнения – углеводы, низшие спирты. Для стоков химических производств с большим спектром органических загрязнений определяют БПК_п. Однако это определение может быть затруднено тем, что по мере снижения концентрации органического загрязнения начинают протекать процессы нитрификации с потреблением кислорода, поэтому БПК_п часто определяют за время 15-20 сут, до начала нитрификации (см. рисунок).

При определении БПК классическим методом загрязнённая вода разбавляется чистой аэрируемой водой в таком соотношении, чтобы количества растворённого кислорода, которое может быть биологически потреблено микроорганизмами, хватило на окисление загрязнений в воде после разбавления. Смесь разливают в сосуды, которые закрывают таким образом, чтобы над жидкостью не оставалось слоя воздуха, выдерживают заданное время (5 сут, 20 сут) в темноте при температуре инкубирования, после чего производят измерение содержания растворённого кислорода. БПК_п рассчитывают по графику $БПК = f(\tau)$. Для предотвращения нитрификации в анализируемую воду добавляют различные ингибиторы – этилмочевину, метиленовую синь и др. Однако их внесение часто приводит к занижению результатов определения БПК_п.



Кривая изменения БПК от времени

Для определения БПК за время τ часто используют уравнение

$$\frac{d\text{БПК}}{d\tau} = -k(\text{БПК}_\tau - \text{БПК}_\tau) \quad (1.2)$$

(кинетика окисления загрязнений описывается дифференциальным уравнением первого порядка, т. е. скорость изменения БПК пропорциональна концентрации оставшихся загрязнений), откуда:

$$\text{БПК}_\tau = \text{БПК}_\tau (1 - 10^{-k\tau}) \quad (1.3)$$

$$\tau = (1/k) \lg \text{БПК}_\tau / (\text{БПК}_\tau - \text{БПК}_\tau) \quad (1.4)$$

Так как для достижения $\text{БПК}_\tau \tau \rightarrow \infty$, то для практических расчётов принимают

$$\text{БПК}_\tau \text{ практич.} = 0,99 \text{БПК}_\tau \infty \quad (1.5)$$

Зная БПК_{τ_1} и БПК_{τ_2} , можно найти БПК_τ .

Для городских сточных вод $k \approx 0,15/0,25 \text{ сут}^{-1}$. Для биологически очищенных $k \approx 0,08/0,25 \text{ сут}^{-1}$.

Недостатки БПК как показателя загрязнённости воды обусловлены длительностью измерения. Результаты измерений БПК трудно стандартизировать, и они могут варьироваться для одной и той же группы сточных вод. Присутствие сильно токсических веществ в стоках может угнетать жизнедеятельность организмов при определении БПК. Всё это затрудняет применение показателя БПК для контроля за состоянием среды и регулирования процесса очистки.

Для ряда соединений определение ХПК невозможно (например, для оксиметилфурфурола), хотя они вполне доступны для биологического окисления, и наоборот, есть соединения, которые химически окисляются, но биологически инертны. В целом, ХПК выше, чем БПК, что обусловлено не столько более полным химическим окислением загрязнений по сравнению с биологическим, сколько тем обстоятельством, что в биологическом процессе часть субстрата загрязнений переходит в биомассу микроорганизмов, т. е. минерализуется не полностью, и соответственно меньше потребляется кислорода на окисление загрязнений, поэтому даже при полном

биологическом потреблении такого субстрата, как глюкоза, БПК в воде с глюкозой ниже, чем ХПК.

Ориентировочно, для хозяйственно-фекальных (хозяйственно-бытовых) стоков принимают:

$$\text{БПК}_{20} = (1,5 \div 2)\text{БПК}_5 \quad (1.6)$$

$$\text{БПК}_{20} = 0,8\text{ХПК}_{\text{сr}} \quad (1.7)$$

Кроме нитрифицирующих бактерий на показания БПК могут влиять сероокисляющие, железокисляющие и другие хемоавтотрофные бактерии. Однако обычно содержание в воде используемых или субстратов невелико и не учитывается при определении БПК.

Показатель БПК характеризует количество кислорода, которое потребили бы живые организмы в природной воде в случае попадания в неё загрязнений. Поскольку растворимость кислорода в воде невелика – в зависимости от температуры воды от 7 до 13 мг/мл, он быстро потребляется при окислении загрязнений, поэтому величины БПК особенно строго регламентируются в вод, сбрасываемой в водоёмы рыбохозяйственного назначения. С целью предупреждения возникновения анаэробных условий в местах выпусков сточных вод принимаются специальные меры, обеспечивающие быстрое перемешивание воды водоёма.

Лекция 8

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

8.1. Технологическая схема очистки промышленных сточных вод

К условно чистым относятся воды, прошедшие теплообменные аппараты, в них не происходит изменения состава, а только температуры. Остальные производственные стоки относятся к загрязненным. Загрязненные промышленные стоки характеризуются присутствием органических и неорганических веществ.

Загрязненность промышленных стоков и расход кислорода на процесс бактериального окисления органических веществ характеризуются биологическим потреблением кислорода (БПК), выражаемым в миллиграммах O_2 на 1 л анализируемой жидкости: БПК.

После сброса очищенных сточных вод содержание взвешенных веществ в водоеме не должно увеличиваться более чем на $0,25-0,75 \text{ г/м}^3$, а содержание органических веществ (по БПК₂₀) не должно превышать $3-6 \text{ г/м}^3$ в водоемах для питьевого и культурно-бытового водопользования и 2 г/м^3 в водоемах рыбохозяйственного значения, в которых, кроме того, содержание растворенного кислорода не должно падать ниже $4-6 \text{ мг/л}$.

Способы очистки сточных вод разделяются на механические, физико-химические, биологические, термические (тепловые).

Биологическая очистка является одним из основных методов очистки сточных вод заводов микробиологической промышленности как перед сбросом их в водоем, так и перед повторным использованием в системах оборотного водоснабжения. Считается, что микроорганизмы способны окислять все органические вещества, за исключением тех искусственно синтезированных, которым нет аналогов в природе. Наименее доступными источниками углерода являются вещества, не содержащие атомов кислорода - углеводороды, но они также расщепляются микроорганизмами активного ила. В том числе - входящие в состав ила.

Биологическую очистку проводят в аэротенках или в биоокислителях с интенсивной аэрацией среды. При этом снижается ВПК, за счет окисления органических веществ и нарастает биомасса микроорганизмов. Очищенные и осветленные сточные воды поступают в водоем и на рециркуляцию в производство, а активный ил, например, производства БВК, являясь источником белка и витаминов, упаковывается в бумажные мешки и направляется к потребителю.

Наиболее распространенная схема включает первичную и вторичную очистку. Первичная очистка заключается в механическом отделении загрязнений. Вторичная очистка предусматривает очистку сточных вод в системе очистных сооружений (биоокислителях), либо очистку сточных вод в естественных условиях на полях орошения.

Для повышения эффективности действия и снижения ВПК сточных вод вводится биокоагуляция (предварительная аэрация с добавлением ила из вторичных отстойников). Конструктивно предаэратор представляет собой аэротенк - резервуар прямоугольной формы, в котором временно пребывает сточная вода (10-20 минут). При их использовании снижается количество органических веществ в стоках, поступающих на аэротенки, до 15%. Первичные отстойники устанавливаются перед аэротенками, где вода пребывает 1-2 часа. В них накапливается избыточный активный ил, который потом извлекается насосами и подсушивается на иловых площадках до влажности 70-80 %. Далее вода поступает в аэротенки.

Аэротенки предназначены для биологической очистки сточных вод, которые попадают в них после первичных отстойников. Работа аэротенков основана на использовании биохимического окисления органических веществ аэробными микроорганизмами, колонии которых образуют так называемый активный ил.

Для сгущения активного ила, поступающего со вторичных отстойников, используют гравитационные илоуплотнители. За 10-20 часов активный ил с влажностью 99-99,2% уплотняется до влажности около 97%. Вследствие длительного уплотнения часть ила может загнивать, всплывать и уноситься в водоемы. Необходимо соблюдать режим илоуплотнения.

Сушка уплотненного ила с получением товарного продукта является конечным этапом очистки сточных вод. Для сушки активного ила могут быть использованы барабанные, вальцовые, ленточные и распылительные сушилки.

Для снижения загрязнений в стоках, оставшихся после аэротенков и вторичных отстойников, служат биологические пруды. Продолжительность пребывания в них сточных вод может превышать 10 суток. Глубина прудов составляет 2-3 м. Они занимают большие площади. В биологических прудах развиваются одноклеточные водоросли, которые выделяют метаболиты, обладающие бактерицидным действием по отношению к патогенной микрофлоре. Аналогичные метаболиты выделяются и высшей водной растительностью. Поэтому летом вода, выходящая из биопрудов, не требует хлорирования.

Степень очистки сточных вод в биологических прудах по БПК, изменяется в пределах 78,9%.

8.2. Принцип действия аэробных систем биоочистки. Микроорганизмы

Он базируется на методах проточного культивирования. Процесс удаления органических примесей складывается из нескольких стадий: массопередачи органических веществ и кислорода из жидкости к клеточной поверхности, диффузии веществ и кислорода внутрь клеток через мембрану и метаболизма, в ходе которого происходит прирост микробной биомассы с выделением энергии и углекислоты. Интенсивность и глубина биологической очистки определяется скоростью размножения микроорганизмов. Когда в очищаемых сточных водах практически не остается органических веществ, наступает второй этап очистки – нитрификация. В ходе этого процесса азотсодержащие вещества стоков окисляются до нитритов и далее – до нитратов. Таким образом, аэробная биологическая очистка складывается из двух этапов: минерализации – окисления углеродсодержащей органики, и нитрификации. Появление в очищаемых стоках нитратов и нитритов свидетельствует о глубокой степени очистки. Большинство биогенных элементов, необходимых для развития микроорганизмов (углерод, кислород, сера, микроэлементы), содержится в сточных водах. При дефиците отдельных элементов (азота, калия, фосфора) их в виде солей добавляют в очищаемые стоки.

В процессах биологической очистки принимает участие сложная биологическая ассоциация, не только состоящая из бактерий, но также включающая одноклеточные организмы – водные грибы, простейшие организмы (амебы, жгутиковые и ресничные инфузории), микроскопические животные (коловратки, круглые черви – нематоды, водные клещи) и др. Эта биологическая ассоциация в процессе биологической очистки формируется в виде активного ила или биопленки. Активный ил представляет собой буро-желтые хлопья размером 3–150 мкм, взвешенные в воде, и образован колониями

микроорганизмов, в том числе бактериями. Последние формируют слизистые капсулы – зооглеи. Биопленка – это слизистое обрастание материала фильтрующего слоя очистных сооружений живыми микроорганизмами, толщиной 1–3 мм.

Капельный биофильтр – наиболее распространенный тип биореактора с неподвижной биопленкой, применяемый для очистки стоков. По существу, это реактор с неподвижным слоем и противотоком воздуха и жидкости. Биомасса растет на поверхности насадки в виде пленки. Особенностью насадки или фильтрующего слоя является высокая удельная поверхность для развития микроорганизмов и большая пористость. Последнее придает необходимые газодинамические свойства слою и способствует прохождению воздуха и жидкости через него.

Биофильтры представляют собой прямоугольные или круглые сооружения со сплошными стенками и двойным дном: верхним в виде колосниковой решетки и нижним, – сплошным. Дренажное дно биофильтра состоит из железобетонных плит с площадью отверстий не менее 5–7 % от общей площади поверхности фильтра. Фильтрующим материалом обычно служит щебень, галька горных пород, керамзит, шлак. Нижний поддерживающий слой во всех типах биофильтров должен содержать более крупные частицы фильтрующего материала (размером 60–100 мм). Щебеночные биофильтры имеют высоту слоя 1.5 – 2.5 м и могут быть круглыми с диаметром до 40 м или прямоугольными размером 75×4 м². Входной поток предварительно отстаиваемых сточных вод с помощью водораспределительного устройства периодически равномерно орошает поверхность биофильтра. В ходе просачивания сточных вод через материал фильтрующего слоя происходит ряд последовательных процессов:

- 1) контакт с биопленкой, развивающейся на поверхности частиц фильтрующего материала;
- 2) сорбция органических веществ поверхностью микробных клеток;
- 3) окисление веществ стоков в процессах микробного метаболизма.

Через нижнюю часть биофильтра противотоком жидкости продувается воздух. Во время паузы между циклами орошения сорбирующая способность биопленки восстанавливается. Биопленка, формирующаяся на поверхности фильтрующего слоя биофильтра, представляет собой сложную экологическую систему.

Бактерии и грибы образуют нижний трофический уровень. Вместе с микроорганизмами – окислителями углерода они развиваются в верхней части биофильтра. Нитрификаторы находятся в нижней зоне фильтрующего слоя, где процессы конкуренции за питательный субстрат и кислород менее выражены. Простейшие, коловратки и нематоды, питающиеся бактериальной компонентой экосистемы биопленки, служат пищей высшим видам (личинкам насекомых). В биофильтре происходит непрерывный прирост и отмирание биопленки. Отмершая биопленка смывается током очищаемой воды и выносится из биофильтра. Очищенная вода поступает в отстойник, в котором освобождается от частиц биопленки, и далее сбрасывается в водоем. Процесс окисления органических веществ сопровождается выделением тепла, поэтому биофильтры обогреваются за счет собственного тепла. Крупные установки, снабженные слоем теплоизоляционного материала, способны функционировать при отрицательной температуре внешней среды. Однако температура внутри фильтрующего слоя должна быть не ниже 6 °С. Основным режимом работы щебеночных биофильтров – однократное прохождение стоков. При этом нагрузка по органическому веществу на фильтр составляет 0.06–0.12 кг БПК/м³ в сутки. Для повышения нагрузки без увеличения площади биофильтра применяют режим очистки с рециркуляцией стоков или режим двойного фильтрования.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Какой метод лежит в основе аэробной системы биоочистки?
- 2) Какие организмы входят в состав активного ила?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Сазонова, И.А.** Экологическая биотехнология: учебное пособие / И.А. Сазонова. Саратов, 2012 г. – 106 с. – (ЭБС IPR-books <http://www.iprbookshop.ru/>)
2. **Колесников, С.И.** Экологические основы природопользования / С.И. Колесников. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2010. – 156с.

Дополнительная

3. **Волова, Т.Г.** Экологическая биотехнология: уч. пособие для университетов / Т.Г. Волова. - Новосибирск: Хронограф, 2007. – 141с.
4. Елинов, Н.П. Основы биотехнологии / Н.П. Елинов. - СПб.: Наука, 1995. - 600с.
5. Биотехнология /Под ред. А. А. Баева. – М: Наука, 1984. – 309с.
6. Экологическая биотехнология / Под редакцией К.Ф. Форстера и Дж. Вейза Л.: Химия, 1990. – 384с.

Лекция 9

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В БИОРЕАКТОРАХ

9.1. Виды биореакторов и их применение

На смену минеральным материалам в биофильтрах с начала 80-х годов пришли пластмассы, обеспечивающие при высоких значениях удельной поверхности фильтрующего слоя большую пористость и лучшие гидродинамические свойства слоя. Это позволило строить высокие, не занимающие много места биореакторы и очищать промышленные стоки с высокой концентрацией загрязняющих веществ. Удельная поверхность пластмассовых насадок, используемых для быстрого фильтрования, выше, чем у щебеночных биофильтров.

Щебеночные биофильтры, имея более низкую объемную плотность, могут достигать высоты до 8–10 м. Этот тип биореактора при быстром режиме фильтрации стоков обеспечивает степень удаления 50–60 % БПК.

Для более высокой степени очистки применяют каскад биофильтров. В 1973 году в Великобритании был создан вращающийся биологический реактор, представляющий собой вращающиеся диски – «соты» из пластиковых полос, попеременно погружаемые в сточные воды и поднимаемые на поверхность. При этом площадь поверхности контакта с биослоем существенно возрастает и улучшается аэрация.

Более совершенным типом биореактора с неподвижной биопленкой является реактор с псевдооживленным слоем, характеризующийся наличием носителя, покрытого микробной пленкой, достаточного для создания псевдооживленного слоя восходящего потока жидкости. Реактор имеет систему подачи кислорода и устройство, обеспечивающее практически горизонтальное распределение потока жидкости в слое носителя. В качестве носителя в таких биореакторах может быть использован песок, через который пропускается кислород (система «Окситрон»). Применяют также волокнистые пористые подушечки с системой подачи кислорода в самом аппарате (установка «Кептор»).

Эксплуатация биофильтров – достаточно несложный процесс. Важное условие для эффективной работы биофильтров – тщательная предварительная очистка стоков от взвешенных частиц, способных засорить распределительное устройство. Неблагоприятными моментами в эксплуатации биофильтров является вероятность заливания, размножение мух на поверхности, дурной запах, как вследствие избыточного образования микробной биомассы.

В настоящее время около 70 % очистных сооружений Европы и Америки представляют собой капельные биофильтры. Срок службы таких биореакторов исчисляется десятками лет (до 50). Основной недостаток конструкции – избыточный рост микробной биомассы. Это приводит к засорению биофильтра и вызывает сбой в системе очистки. Предложенная недавно модификация представляет собой установку с чередующимся двойным фильтрованием. Система рециркуляции позволяет исключить негативные моменты, характерные для биофильтров.

9.2 Процессы биоочистки в аэротенке

Аэротенк относится к гомогенным биореакторам. Типовая конструкция биореактора представляет собой железобетонный герметичный сосуд прямоугольного сечения,

связанный с отстойником. Аэротенк разделяется продольными перегородками на несколько коридоров, обычно 3–4. Конструкционные различных ряда типов аэротенков связаны, в основном, с конфигурацией биореактора, методом подачи кислорода, величиной нагрузки.

Процесс биоочистки в аэротенке состоит из двух этапов. Первый этап заключается во взаимодействии отстаившихся сточных вод, содержащих около 150–200 мг/л взвешенных частиц и до 200–300 мг/л органических веществ, с воздухом и частицами активного ила в аэротенке в течение некоторого времени (от 4 до 24 ч и выше в зависимости от типа стоков, требований к глубине очистки и пр.). На втором – происходит разделение вод и частиц активного ила во вторичном отстойнике.

Биохимическое окисление органических веществ стоков в аэротенке на первом этапе реализуется в две стадии: на первой микроорганизмы активного ила адсорбируют загрязняющие вещества стоков, на второй – окисляют их и восстанавливают свою окислительную способность.

Подача воздуха в «коридоры» аэротенка осуществляется через пористые железобетонные плиты или через систему пористых керамических труб. Обычно воздухораспределительное устройство располагают не по центру, а около одной из стен коридора. В результате этого в аэротенке происходит турбулизация потока, и сточные воды не только продвигаются вдоль коридора, но и закручиваются по спирали внутри него. Это улучшает режим аэрации и условия очистки.

Процесс очистки в аэротенке представляет собой непрерывную ферментацию. Частицы активного ила, образованные бактериями и простейшими, являются флокулирующей смесью. По сравнению с биопленкой, функционирующей в биофильтрах, активный ил аэротенков представляет собой меньшее экологическое разнообразие видов.

Основные группы бактериальной компоненты активного ила флокулирующие бактерии, нитчатые бактерии и бактерии-нитрификаторы. Первая группа бактерий не только принимает участие в деградации органических компонентов стоков, но и формирует стабильные флокулы, быстро осаждающиеся в отстойнике с образованием плотного ила. Нитрификаторы (*Nitrosomonas* и *Nitrobacter*) превращают восстановленные формы азота в окисленные.

Нитчатые бактерии, с одной стороны, образуют скелет, вокруг которого образуются флокулы, с другой, – стимулируют неблагоприятные процессы (образование пены и плохое осаждение). Простейшие потребляют бактерии и снижают мутность стоков, наибольшее значение среди них имеют инфузории (*Vorticella*, *Opercularia*).

Активный ил является совокупностью микроорганизмов и простейших, обладающих набором ферментов для удаления загрязнений из стоков. Активный ил имеет также поверхность с сильной адсорбционной способностью. Концентрация активного ила в аэротенке обычно составляет 1.5–5.0 г/л. Эта величина зависит от уровня загрязнений стоков, от возраста ила и его продуктивности. Возраст ила вычисляют по уравнению

$$T = MV / (mv + G_{свых}),$$

где M – взвешенные частицы иловой смеси, кг/м³; V – объем аэротенка, м³; mv – количество удаляемого ила, кг/сут; G – расход воды, м³/сут; $свых$ – концентрация ила в выходном стоке, кг/м³.

Например, для достижения нитрификации с участием медленно растущих нитрификаторов используют ил большого возраста (12 суток), а для окисления органики возраст ила существенно ниже.

Рабочая концентрация растворенного кислорода вычисляется на основе расчетной потребности установки. Для полной нитрификации она составляет не менее 2 мг/л; для окисления углерода и денитрификации – менее 1 мг/л.

На практике в зависимости от типа аэрации применяют несколько типов режимов очистки стоков: быструю, стандартную и продленную. Быстрые процессы применяют при частичной очистке стоков. Наиболее распространенный тип очистки – это процесс, средний между стандартной и быстрой аэрацией. Степень аэрации определяет допустимую нагрузку по органическому веществу во входных стоках и качество очистки.

Следующим важным параметром для расчета процесса биоочистки в гомогенных проточных биореакторах служит режим перемешивания. Известны системы полного смешения и идеального вытеснения. Первый тип обеспечивает мгновенное разбавление входного потока в аэротенке. Это защищает микрофлору активного ила от ингибирующего воздействия загрязнителей стоков. Активный ил в такой системе, однако, имеет худшую способность к оседанию в отличие от систем идеального вытеснения. В последних активный ил поступает в первый коридор, где в ходе аэрации восстанавливает свою окислительную способность. Сточные воды поступают во второй коридор вместе с регенерированным активным илом. Концентрация загрязняющих веществ снижается постепенно, по мере прохождения стоков по системе коридоров аэротенка. В таких системах концентрация загрязняющих веществ во входном потоке не должна превышать предельно допустимую для биологических компонентов, образующих активный ил.

Опыт эксплуатации различных типов аэротенков показывает, что содержание органических веществ в стоках, подаваемых на очистку, не должно превышать 1000 мг/л. Оптимальная величина рН обычно лежит в диапазоне 6.5–8.5. Количество биогенных элементов в очищаемых стоках корректируется добавками необходимых солей. Так, при БПК около 0.5 кг O_2/m^3 содержание усвояемого азота в стоках должно быть не ниже 10, фосфатов – 3 мг/л. Лучшие результаты очистки вод в аэротенках получают при величине входного БПК до 0.2 кг O_2/m^3 . Если уровень аэрации при таком БПК составляет до 5 $m^3/m^2 \times ч$, БПК очищенной воды может упасть до 0.015 кг O_2/m^3 .

Прирост биомассы активного ила в ходе очистки приводит к его «старению» и снижению биокаталитической активности. Поэтому большая часть активного ила после вторичного отстойника выводится из системы, и только часть ила возвращается в реактор. Аэротенки технологически связаны с вторичными отстойниками, в которых происходит осветление выходящих вод и отделение активного ила. Отстойники выполняют также функцию контактных резервуаров. В них сточную воду хлорируют. Дезинфицирующая доза хлора после биологической очистки в зависимости от качества очистки составляет 10–15 мг/л при продолжительности контакта хлора с жидкостью не менее 30 минут.

Биологические (очистные) пруды используются в качестве самостоятельного очистного сооружения или конечного пункта очистки стоков, прошедших стадию биоочистки в биофильтре или аэротенке. Если очистные пруды функционируют как самостоятельные системы водоочистки, сточные воды перед поступлением в них разбавляются трех-, пятикратными объемами технической или хозяйственно-питьевой воды. Срок «созревания» прудов в зонах умеренного климата – не менее одного месяца.

9.3. Прогрессивные технологии биоочистки

Методы аэробной биологической очистки сточных вод непрерывно совершенствуются. В последние годы стали внедряться более эффективные системы биоочистки. Это процессы в шахтных реакторах, процессы с использованием для аэрирования кислорода. Такие биореакторы называют окситенками. Концентрация растворенного кислорода в окситенках достигает 10–12 мг/л. Это в несколько раз превосходит уровень аэрации в аэротенках. В результате повышенной аэрации стоков концентрация активного ила в них возрастает до 15 г/л и их окислительная мощность в 4–5 раз превосходит аэротенки.

Шахтные биореакторы позволяют реализовать процесс очистки стоков аналогично протеканию его в окислительном канале, но расположенном вертикально. Такие реакторы занимают небольшие площади и большей частью заглублены в грунт. Высота шахтных аппаратов достигает 50–150 м при диаметре 0.5–10.0 м. Внутри аппарата вмонтирован полый стержень или специальное устройство, обеспечивающее образование зон восходящего и нисходящего потоков для циркуляции потоков очищаемой воды. Направление циркуляции задается вдуванием воздуха в секцию с восходящим потоком на относительно небольшой глубине. Аппараты компактны, обеспечивают хороший массоперенос кислорода, (до 4.5 кг/м³ ч). При этом уровень нагрузки на ил может достигать 0.9 кг БПК/кг×сут.

Основной проблемой, возникающей при эксплуатации окситенков, является проблема отделения твердых частиц от иловой смеси. Микропузырьки воздуха прилипают к твердым частицам и ухудшают осаждение. Для улучшения осаждения применяют вакуумную дегазацию, флотацию, отдувку воздуха. После стадии дегазации иловая смесь направляется в аэротенк, где после удаления микропузырьков происходит доокисление оставшейся органики. Далее стоки поступают по обычной схеме в отстойник.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Какими бывают биореакторы для очистки сточных вод?
- 2) Этапы процесса биоочистки в аэротенке?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Сазонова, И.А.** Экологическая биотехнология: учебное пособие / И.А. Сазонова. Саратов, 2012 г. – 106 с. – (ЭБС IPR-books <http://www.iprbookshop.ru/>)
2. **Колесников, С.И.** Экологические основы природопользования / С.И. Колесников. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2010. – 156с.

Дополнительная

3. **Волова, Т.Г.** Экологическая биотехнология: уч. пособие для университетов / Т.Г. Волова. - Новосибирск: Хронограф, 2007. – 141с.
4. Елинов, Н.П. Основы биотехнологии / Н.П. Елинов. - СПб.: Наука, 1995. - 600с.
5. Биотехнология / Под ред. А. А. Баева. – М: Наука, 1984. – 309с.
6. Экологическая биотехнология / Под редакцией К.Ф. Форстера и Дж. Вейза Л.: Химия, 1990. – 384с.

Лекция 10

Биологическая очистка и дезодорация газовоздушных выбросов

Качество атмосферного воздуха определяется факторами различной природы: химической – содержание основных газов и продуктов химических реакций, физической – особенности микроклимата, электромагнитные излучения, механические колебания, ионизация и другие, и биологический – общее количество микроорганизмов, присутствие патогенных форм, аллергенов биологического происхождения.

Большая доля химических и биологических загрязнений поступает в атмосферу с отходящим воздухом и газовоздушными выбросами промышленных предприятий, с животноводческих ферм, птицефабрик, мусороперерабатывающих заводов, полигонов твёрдых бытовых отходов. Один из показателей, характеризующих загрязнённость газовоздушных выбросов с таких источников – неприятный запах, который зависит от природы загрязняющих (одорирующих) веществ и их концентрации.

Мерой органолептической оценки качества воздуха (по запаху) является соотношение C_E истинной концентрации C соединения с интенсивным запахом и его пороговой концентрации запаха C_s :

$$C_E = C/C_s \quad (1.1)$$

где C_s – концентрация вещества, при которой начинает ощущаться запах.

Силу запаха выражают в виде функции $G_s = f(\lg C_E)$ и выражают в баллах GS . При этом принимается, что изменение концентрации одорирующего вещества в 10 раз меняет силу запаха на 1 балл.

К неорганическим веществам, которые наиболее часто обуславливают запах отходящего воздуха, относят H_2S , SO_2 , NH_3 , NH_2-NH_2 , HCl , галогены. Из органических веществ с резким запахом наиболее часто в отходящих газах присутствуют ароматические и непредельные углеводороды, азот-, серо-, кислород- и галогенсодержащие вещества.

Для очистки воздуха и газовоздушных выбросов от загрязнений химической и биологической природы применяют различные методы: физические (разбавление, абсорбция, адсорбция, маскировка, конденсация, компримирование, мембранная сепарация), химические (хемосорбция, промывка, окисление, сжигание, нейтрализация, каталитическая, термокatalитическая и фотокatalитическая очистка, окисление в коронном электрическом разряде и др.) и биологические.

При физической абсорбции загрязнения отходящего газа извлекаются из потока растворителем – водой или органическими жидкостями – без протекания химической реакции между растворителем и загрязнением. Этот метод широко используется для удаления пыли и аэрозолей из газов. Однако он недостаточно эффективен при очистке промышленных газовоздушных выбросов от газообразных примесей из-за низкой степени очистки и образования больших объёмов жидких отходов.

При адсорбции загрязнения отходящего газа поглощаются пористыми адсорбентами: активными углями, алюмогелями, силикагелями, цеолитами, керамикой,

поропластами, ионитами и др. Данная группа методов относительно проста в исполнении, универсальна и в настоящее время наиболее распространена. Однако адсорбционные методы

эффективны лишь при удалении летучих соединений при их низком содержании в очищаемой среде (до 50 мг/м^3 газовой среды), чувствительны к присутствию пыли, водяных и масляных аэрозолей в очищаемом воздухе. При высоком содержании загрязняющих примесей требуется слишком частая замена адсорбента. Отработанные адсорбенты в дальнейшем должны быть регенерированы, утилизированы или обезврежены.

При конденсации смесь паров растворителя с воздухом охлаждается в теплообменнике, при этом пары растворителя конденсируются. При компримировании пары растворителей конденсируются под избыточным давлением. Методы конденсации энергоёмки, стоимость очистки с их использованием высока, и они применимы лишь к небольшому числу загрязнений, чаще всего в тех случаях, когда сконденсированные компоненты, например органические растворители, дорогие и могут быть возвращены в производственный процесс.

В случае хемосорбции компоненты газа химически реагируют с веществами, находящимися в растворе. Например, при удалении неприятно пахнущих веществ обычно используют несколько хемосорбционных колонн: с кислотным раствором для удаления NH_3 и других азотсодержащих летучих примесей, с щелочным раствором и окислителем – гипохлоритом натрия или перманганатом калия – для удаления H_2S и других серосодержащих соединений, и щелочным раствором и восстановителем для удаления альдегидов и кетонов. Отработанные растворы необходимо утилизировать.

Термическое окисление или прямое сжигание применяют для устранения из газовых потоков горючих компонентов, в основном органического происхождения.

Каталитическая очистка применяется для удаления из газов оксидов азота, диоксида серы, монооксида углерода, органических веществ. При термокаталитической очистке загрязнения окисляются на разогретых пламенем горелок решётках, покрытых катализатором. При фотокаталитической очистке органические соединения, присутствующие в газовой фазе, каталитически окисляются на поверхности TiO_2 при облучении ультрафиолетом ближнего диапазона ($\lambda = 320 - 400 \text{ нм}$). Адсорбционно-каталитическая очистка применяется для удаления SO_2 , H_2S , сероорганических соединений из промышленных выбросов. Катализаторы на основе модифицированного активированного угля и других углеродных сорбентов окисляют SO_2 до SO_3 , H_2S до S в присутствии водяного пара и аммиака, добавляемого к очищаемому газу. Недостаток многих процессов каталитической очистки – образование новых веществ, которые необходимо удалять из газа другими методами, что усложняет очистку и повышает затраты.

Биологические методы основаны на сорбции загрязняющих веществ из газового потока водной фазой, с последующей деструкцией сорбированных веществ микроорганизмами. Биологические методы наиболее эффективны для удаления

загрязнений в диапазоне 5-1000 мг/м³. Наибольшее распространение эти методы получили для удаления неприятно пахнущих веществ – биодезодорации газов.

В основе биологической дезодорации газов лежит способность многих микроорганизмов окислять спирты, альдегиды, кетоны, органические кислоты, эфиры, ароматические соединения (бензол, толуол, ксилол, стирол, фенол, хлорбензол и др.), азотсодержащие соединения (аммиак, метиламин, индол, скатол и др.) и особенно серосодержащие соединения, составляющие большую часть летучих соединений с наиболее неприятным запахом, такие как производные тиосерной кислоты $H_2S_2O_3$, сероводород H_2S , метилмеркаптан CH_3SH , диметилмеркаптан $(CH_3)_2S$, диметилсульфооксид $(CH_3)_2SO$.

Процесс биологического удаления неприятно пахнущих веществ (НПВ) из воздуха можно представить следующим образом (см. рисунок):

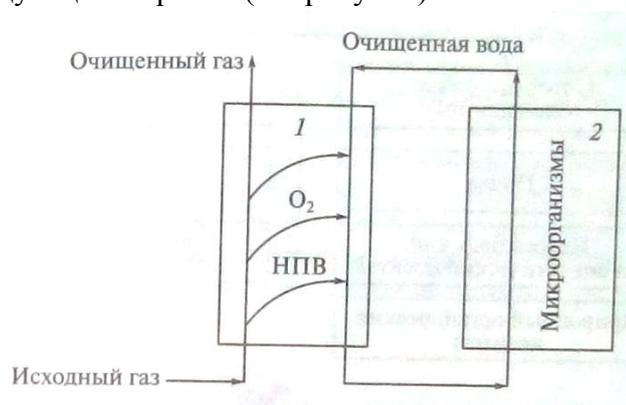


Рис.1: Схема удаления неприятно пахнущих веществ из воздуха биодезодорацией: 1 – очистка отходящего воздуха (абсорбция), 2 – микробиологическая очистка загрязнённой воды (процесс регенерации)

Неприятно пахнущие вещества переносятся из воздуха в воду (процесс абсорбции). Вместе с ними из отходящего воздуха в воду переходит также и O_2 . Загрязнения окисляются микрофлорой в жидкой фазе, при этом вода освобождается от одорирующих веществ (процесс регенерации).

Для удаления NH_3 , H_2S , SO_2 , окисляемого автотрофными микроорганизмами (нитрификаторами, сероокисляющими и тиобактериями), требуется поступление в систему углекислого газа, который используется микроорганизмами как источник углерода. Углекислый газ может быть подведён с очищаемым газом (объёмная доля CO_2 в подаваемом газе не менее 1%), с орошающей водой (в виде растворённой углекислоты или карбонатов с содержанием карбонатов >10 мг/л в жидкой фазе), с носителем, например при использовании мрамора, доломита, или образовываться при разложении гетеротрофами органических веществ, присутствующих в газовой среде.

Для поддержания активности гетеротрофов, участвующих в окислении органических загрязнений, можно использовать органические носители, на которых иммобилизованы микроорганизмы в системах биоочистки, или вводить дополнительные источники углерода. При этом содержание аммонийного азота в

жидкой фазе зоны биоочистки должно быть не ниже 1 мг/л, фосфатов – не ниже 0,01 мг/л. Эти источники минерального питания подаются с орошающей водой либо могут содержаться в используемых природных или синтетических носителях. При необходимости в орошающую воду вводят кислоты и щёлочи для поддержания в зоне биоочистки необходимого рН.

Методы микробиологической дезодорации газов подразделяются на методы с использованием твёрдой фазы – биофильтры и жидкой фазы – биосорберы (рис.2).

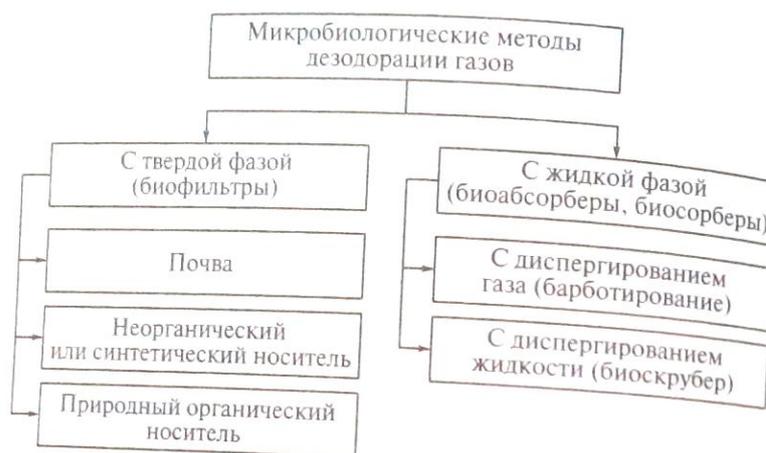


Рис.2: Классификация методов дезодорации отходящих газов с помощью микроорганизмов

Наиболее простой вариант микробиологической очистки отходящего воздуха реализуется, если процессы адсорбции и регенерации связаны друг с другом по времени и месту. По этому принципу работают биофильтры.

В биофильтре загрязнённые газы продуваются через слой биоактивной, сорбирующей, умеренно влажной насадки (носитель микроорганизмов). Материал насадки должен обеспечивать низкую потерю давления при высокой удельной поверхности контакта газ-жидкость-биоплёнка, удерживать большое число клеток живых микроорганизмов, быть устойчивым к механическим, химическим и биологическим воздействиям, не забиваться избытком биомассы в течение эксплуатационного срока работы, быть доступным и недорогим. В качестве материалов-носителей используются органические субстанции: торф, дёрн, хворост, кора деревьев, древесная щепа, компост, активированный уголь. Преимущество таких носителей в том, что они содержат много необходимых для питания микроорганизмов веществ. Эти носители более пригодны для удаления органических загрязнений с помощью гетеротрофных микроорганизмов. Природный носитель служит им источником органического углерода и необходимых для роста веществ. В качестве носителя также могут быть использованы неорганические материалы: керамика, цеолит, гравий, крупнозернистый песок и другие, а также пластмассы. Они подходят для окисления загрязнений автотрофной микрофлорой: нитрификаторами, серо- и тиобактериями. Высота слоя носителя, форма и размер частиц должны быть такими, чтобы не допускать отложения частиц пыли и лишь небольшую потерю давления. В

наиболее распространённых конструкциях биофильтров высота фильтрующего слоя не превышает 1-1,5 м. Избыток воды в биофильтре нежелателен. Материал-носитель должен быть только увлажнённым.

Биофильтры применяются в основном при невысоких концентрациях загрязняющих веществ в газовом потоке со станций очистки сточных вод, в газоздушных выбросах пищевой, фармацевтической промышленности, животноводческих комплексов и т.д. Такие установки получили наибольшее распространение в странах Западной Европы, США и Японии.

Наиболее простой пример дезодорирующей биофильтрации – продувка газов через почвенный слой (рис.3), при которой загрязнённый газ направляют в распределительные каналы под фильтрующим слоем почвы и дренажного материала (зола, шлак). Газ, проходящий через почвенный слой, очищается почвенной микрофлорой. При использовании почвенного метода дезодорации при допустимых нагрузках на фильтрующую поверхность 30-60 м³/(м²*ч) при расходе газа 1000 м³/мин требуется 1000-2000 м² земельных площадей. Применение почвенного метода ограничивает необходимость отчуждения больших количеств земельных площадей, зависимость от погодных условий и сезонов года (дожди, засуха, заморозки).

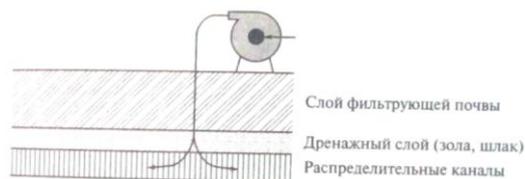


Рис.3: Почвенный метод биодезодорации газов

Другой пример – биофильтр с насыпным слоем компоста. Газ проходит через распределительный короб и пористые керамические трубы под слоем компоста. Избыток воды, поступающей в компостную кучу с очищаемым газом или атмосферными осадками, отводится через дренажную трубу. Увлажнение компоста обеспечивается распылением воды над верхней поверхностью фильтрующего слоя. Метод с насыпным слоем компоста применяется на заводах по переработке отходов в компост, на животноводческих фермах, в кормозаготовительных цехах и других сельскохозяйственных предприятиях. При его использовании необходимо обеспечивать равномерное и оптимальное увлажнение всей массы компоста. При недостаточном увлажнении материал фильтрующего слоя пересыхает, в результате чего нарушается равномерное прохождение газа через фильтрующий слой и падает активность микроорганизмов. Избыточное увлажнение приводит к образованию анаэробных зон с высоким сопротивлением набегающему потоку (т. е. линейной скорости) газа. В результате снижается эффективность очистки. В анаэробных зонах образуются летучие продукты метаболизма, которые придают выходящему из биофильтра воздуху неприятный запах. Со временем фильтрующие свойства компоста ухудшаются из-за неравномерности протекания микробиологических процессов и нарастания избытка биомассы в компостной массе. Поэтому через определённые промежутки времени

компост заменяют или обновляют, чтобы обеспечить необходимую эффективность очистки при заданной производительности биофильтра. Продолжительность эксплуатации биофильтра без замены материала фильтрующего слоя может составлять несколько лет.

В биофильтрах закрытого типа очистка более интенсивная и не зависит от погодных условий. Такие биофильтры могут работать в режиме «сухого» реактора и «мокрого» реактора с орошением водой. Может использоваться комбинация различных биофильтров.

Большое распространение получили малогабаритные закрытые биофильтры, не требующие ухода и обслуживания, с высокой пропускной способностью по отходящим газам. Такие малогабаритные установки можно монтировать на крыше предприятия (например, на скотном дворе) и собирать из отдельных блоков.

Особой разновидностью являются плавающие конструкции биофильтров, предназначенные для удаления неприятных запахов, поступающих с водных поверхностей, в частности анаэробных лагун, биопрудов. Эмиссия H_2S с их поверхности может составлять 1-30 мг/(м²*ч). Для удаления запаха в таких случаях испытаны плавающие биофильтрационные устройства с торфом в качестве рабочего материала. С помощью таких биофильтров может быть удалена большая часть H_2S , эмиттируемого с водной поверхности в атмосферу. При использовании торфа с добавками $FeCl_3$, реагирующего с H_2S с образованием FeS или FeS_2 , или с посадкой водных растений, устойчивых к загрязнению, степень удаления H_2S повышается.

Биологическая очистка отходящих газов от неприятных запахов в биоабсорбционных установках осуществляется с помощью активного ила – неприятно пахнущие вещества переносятся из газа в жидкость, а затем окисляются микрофлорой, находящейся в жидкой фазе. Для абсорбции могут использоваться методы с барботированием газовой фазы – в насадочных или тарельчатых колоннах (пенобарботажный слой), в аэротенках, а также методы распыления водной фазы – в скруббере Вентури, в полых скрубберах с форсунками или дисковыми распылителями. Регенерация абсорбента осуществляется микроорганизмами в аэротенках (биореакторах), часто со вторичными отстойниками. В этом случае, возможна одновременная очистка загрязнённого газа и сточных вод. Регенерированная промывная вода перекачивается насосами снова в абсорбер.

При использовании скрубберной системы при расходе газа 1000 м³/мин эксплуатационная площадь не превышает 25-40 м², что в 25-80 раз меньше площади, которая потребовалась бы для очистки такого же потока газов почвенным методом. Более компактная биоскрубберная система, совмещённая с аэротенком, обеспечивает дезодорацию газов при ещё меньших занимаемых площадях.

По сравнению с биофильтрами биосорберы обеспечивают большие возможности контроля процесса и массопередачу, обработку потоков с высокими концентрациями загрязнений, стабильность в работе. Однако применение биосорберов требует больших капитальных затрат, текущих расходов, а также затрат на удаление избытка биомассы. Эффективность очистки биоскрубберов с распылением жидкой фазы уступает

эффективности биофильтров. Последние отличаются конструкционной простотой, низкими капитальными и эксплуатационными затратами. Однако биофильтры традиционных конструкций обеспечивают очистку лишь при низких объёмных скоростях потока газа (при использовании торфа и других природных носителей скорость набегающего потока не должна превышать 1,5-2 м/мин), при невысоких концентрациях устранимых компонентов (в частности, содержание H_2S не более 15-20 мг/л). Контроль процесса очистки в них затруднён, возможно каналобразование в фильтрующем слое, резко снижающее эффективность очистки. Срок службы фильтрующего слоя ограничен. Этих недостатков лишены наиболее передовые конструкции биореакторов. В таких установках используются селекционированные штаммы микроорганизмов-деструкторов, иммобилизованные на синтетических материалах (капроновое волокно, нейлон и другие волокнистые полимерные носители) с регулярной и большой объёмной пористостью (до $3000-5000 \text{ м}^2/\text{м}^3$), невысоким аэродинамическим сопротивлением, что позволяет эксплуатировать биофильтры без использования специальных воздуходувок и компрессоров. Такие биофильтры имеют производительность по загрязнённому воздуху $2000-50000 \text{ м}^3/\text{ч}$, обеспечивают очистку воздуха от вредных примесей на 95-99% при содержании органических веществ на входе $2-3 \text{ г}/\text{м}^3$ и более, времени контакта 2-10 с, потребляемой мощности $0,5-2 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ воздуха. Скорость удаления загрязнений на биофильтрах может достигать $300 \text{ г}/\text{ч}$ на 1 м^3 объёма фильтра. Подбор оптимальных режимов подачи питательных веществ, орошения, удаления избытка биомассы обеспечивает высокую производительность и операционную стабильность биореактора.

С помощью биологической дезодорации можно удалять неприятные запахи легче, эффективнее и с меньшими затратами, чем традиционными физическими и химическими методами дезодорации. При биодезодорации не требуются повышенных температур и давлений, но образуются оксиды азота и серы, свободный хлор, отсутствует опасность образования диоксинов, в отличие, в частности, от термических и каталитических методов очистки. Единственными побочными продуктами являются избыточная биомасса и отработанный носитель, срок службы которого выше, чем при адсорбционной очистке, благодаря протеканию биологических процессов, регенерирующих носитель. Однако биофильтры не удаляют биостойкие загрязнения, могут быть чувствительны к пиковым выбросам загрязнений и резким изменениям в их составе. В них не должны применяться материалы и режимы очистки, способные вызывать образование вторичных запахов.

Лекция 11

МЕТАНОГЕНЕЗ

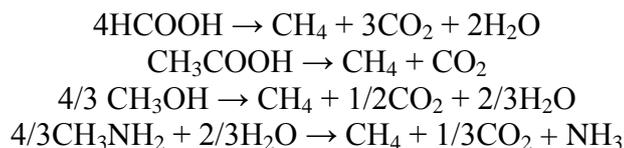
11.1. Метаногенные бактерии, характеристика, особенности

Известно, что при полной утилизации отходов сельского хозяйства образуется столько же энергии, сколько требуется всему сельскому хозяйству. Так, 47% затраченной энергии в молочном животноводстве переходит в навоз. Также, большое количество энергии содержит органическая биомасса, образующаяся в процессе сельскохозяйственного и пищевого производства. Чтобы добыть эту энергию, в настоящее время используют способность некоторых микроорганизмов образовывать метан из различных органических соединений.

Метановое «брожение», или биометаногенез – превращение биомассы в энергию. Был открыт в 1776 г. Вольтой, который установил наличие метана в болотном газе. Биогаз, получающийся в ходе этого процесса, представляет собой смесь из 65% метана, 30% углекислого газа, 1% сероводорода и незначительных количеств азота, кислорода, водорода и закиси углерода. Он дает пламя синего цвета и не имеет запаха. Энергия, заключенная в 28 м³ биогаза, эквивалентна энергии 16,8 м³ природного газа, 20,8 л нефти.

Метанообразование – сложный процесс, который происходит под действием микроорганизмов. Состав микробных клеток в метаногенезе тесно связан с фазами брожения. В процессе биометаногенеза участвуют три группы бактерий. Первые превращают сложные органические субстраты в масляную, пропионовую и молочную кислоты; вторые превращают эти органические кислоты в уксусную кислоту, водород и углекислый газ, а затем метанообразующие бактерии восстанавливают углекислый газ в метан с поглощением водорода. В 1967 г. Брайант и др. установили, что уксуснокислые и метанообразующие микроорганизмы образуют симбиоз, который ранее считался одним микробом.

Для всех метанобактерий характерна способность к росту в присутствии водорода и углекислого газа, а также высокая чувствительность к кислороду и ингибиторам производства метана. Даже минимальные количества кислорода для них губительны. Метаногены требуют более длительного времени для воспроизводства. В природных условиях метанобактерии тесно связаны с водородобразующими бактериями: эта ассоциация выгодна для обоих типов бактерий. Первые используют газообразный водород, продуцируемый последними; в результате его концентрация снижается и становится безопасной для водородобразующих бактерий. Метаногенных бактерий известно более 30 видов, они принадлежат к 14 родам и 6 семействам. Они принадлежат к древнейшему царству – архибактериям. У них маленький геном, особенная последовательность нуклеотидов, энергию они получают при восстановлении CO₂. Метаногены осуществляют следующие реакции:



11.2 Технологическая схема метаногенеза. Механизм метаногенеза

Метановое «брожение» происходит в водонепроницаемых цилиндрических цистернах (дайджестерах) с боковым отверстием, через которое вводится ферментируемый материал. Над дайджестером находится стальной цилиндрический контейнер, который используется для сбора газа. Нависая над бродящей смесью в виде купола, контейнер препятствует проникновению внутрь воздуха, так как весь процесс должен происходить в строго анаэробных условиях. Как правило, в газовом куполе имеется трубка для отвода биогаза. Дайджестеры изготавливают из глиняных кирпичей, бетона или стали. Купол для сбора газа может быть изготовлен из нейлона. Нейлоновый мешок обычно соединен с компрессором для повышения давления газа. Дайджестеры обычно загружают в землю, чтобы использовать изоляционные свойства почвы. Технологический процесс обработки навоза осуществляется следующим образом:

Из животноводческого помещения навоз поступает в накопительную емкость, далее фекальным насосом его загружают в метантенк (емкость для анаэробного сбраживания навоза). Биогаз, образующийся в процессе брожения, поступает в газгольдер и далее к потребителю. Для нагрева навоза до температуры брожения и поддержания теплового режима в метантенке установлен теплообменник, через который протекает горячая вода, нагреваемая в котле. Сброженный навоз выгружают в навозохранилище.

Механизм

В метанообразовании различают три фазы:

- в первой фазе около 76% органических соединений трансформируется в высшие жирные кислоты, 20% - в ацетат и 4% - в водород;
- во второй фазе из высших жирных кислот образуется примерно 52% уксусной кислоты и 24% водорода;
- в третьей фазе метаногенные бактерии образуют 72% метана из ацетата и 28% метана из водорода и диоксида углерода. Результаты метанового брожения зависят от состава среды, условий ферментации и качества микрофлоры (таблица 1):

Таблица 1

Оптимальные условия метанообразования

Показатель	Оптимальные значения
pH	6,8 – 7,4
Температура, °C	33 – 37
Режим	Постоянное перемешивание Анаэробноз
Содержание летучих кислот (по CH ₃ COOH)	50-500 мг/л
Общая щелочность (по CaCO ₃)	1500-500 мг/л

До сих пор нет единого мнения о наиболее экономичном температурном режиме анаэробного сбраживания. Максимальная температура процесса зависит от мезофильности или термофильности микроорганизмов (30-40 °C или 50-60 °C). Низкий pH подавляет рост метаногенных бактерий и снижает выход биогаза. Против закисления используют известь. Экономическая эффективность зависит от конкретных условий региона и хозяйства, где планируется их использование.

В результате метанового брожения образуется биогаз, состав которого следующий:

- метан 55-70%;
- углекислый газ 27-44%;
- водород 1%;
- сероводород 3%.

Биогаз успешно применяется как топливо. Его можно сжигать в горелках отопительных установок, водогрейных котлов, газовых плит, использовать в холодильных установках абсорбционного типа, в автотракторных двигателях.

При производстве электроэнергии из биогаза в электрический ток преобразуется всего 30% его энергоресурса, остальная часть – отбросная теплота. Ее можно использовать при нагревании воды для бытовых нужд и содержания скота, отопления жилых помещений и теплиц, подогрева воздуха для сушилок, а также нагрева навоза до нужной температуры брожения в биогазовых реакторах.

Помимо биогаза, получается высоко эффективное органическое удобрение. Метановое сбраживание навоза увеличивает популяцию микроорганизмов, обладающих целлюлозолитической, кислотообразующей, аммонифицирующей и азотфиксирующей активностью; увеличивается микрофлора, разрушающая гуминовые кислоты и фульвокислоты. После анаэробной обработки в навозе значительно уменьшается содержание пахнущих веществ (таблица 2):

Таблица 2

Содержание пахнущих веществ

Соединения	Нативный навоз, %	Сброженный навоз, %
Фенол	100	4
Крезол	100	10
Скатола	100	79
Масляная кислота	100	3

Кроме того, происходит усиленная минерализация азотных и фосфорных соединений, которые становятся легкоусвояемыми. Уничтожаются яйца гельминтов, патогенная микрофлора, уменьшается концентрация солей тяжелых металлов.

10.3. Биогазовые установки и использование их в мире

Главным звеном биогазовой установки является реактор для сбраживания навоза. В зависимости от типа реактора существуют различные виды биогазовых установок.

Реакторы первого поколения – традиционные **метантенки**. Иногда имеют две или более секций для разделения стадий сбраживания. Работают по двум схемам:

- при непрерывной навоз загружают через определенные промежутки времени (до 10 раз в сутки), удаляя такое же количество сброженной массы;
- при периодической схеме метантенки (их обычно два) загружают по очереди. При этом свежий навоз смешивают с остатками сброженного навоза. Сброженный навоз выгружают и снова загружают свежий.

Метантенки считаются наиболее приемлемыми для получения биогаза из жидкого или полужидкого навоза влажностью 91-96%.

Для обработки навозных стоков, избыточного активного ила, фугата и осадков очистных сооружений применяются конструкции реакторов, использующих принцип удержания биомассы – **биофильтры**. Биомасса в анаэробных биофильтрах

удерживается в виде флоккул и гранул, расположенных в пустотах загрузочного материала (пластмассовые изделия, гравий, щебень, шлак), а также в виде биопленки, прикрепленной к его поверхности. Опыт применения подобных устройств незначителен.

Контактный реактор состоит из непрерывного загружаемого резервуара с перемешивающим устройством и наружного устройства для отделения биомассы (отстойника). Бактерии, находящиеся в реакторе в виде флоккул, поддерживаются во взвешенном состоянии за счет перемешивания. Смесь разделяется в отстойнике, удержанная биомасса возвращается в реактор, где вновь смешивается с поступающим субстратом.

В реакторах с рециркуляцией жидкости жидкая фракция возвращается для поддержания нужного гидравлического режима, что обеспечивает возможность обработки высококонцентрированного навоза.

Очистные сооружения, использующие анаэробное брожение для обработки органических отходов, известны очень давно. Первый опыт относится к 1895 году, когда в английском городе Экзетер был введен в эксплуатацию септик-тенк для очистки коммунальных отходов. Помимо чисто санитарных задач, эта установка обеспечивала получение биогаза, который использовался для освещения улиц.

В настоящее время интерес к использованию биомассы в качестве источника энергии возрастает. Многие страны используют опыт биоконверсии органических удобрений, применяя более выгодные технологические линии в экономическом аспекте. В США из всего объема ежегодно образующегося на животноводческих фермах навоза перерабатывается в биогаз.

В Германии в последние годы возобновились интенсивные разработки метода анаэробного метанового сбраживания жидкого навоза.

В Великобритании доля биогаза потенциально составляет до 3,2% от общего количества потребляемого в стране природного газа.

В сельском хозяйстве Японии ежегодно перерабатывается навозная масса для получения биогаза в объеме 1,7 млрд.м³ или 1 млн.т. нефти.

Большое значение производству биогаза придают в Швейцарии, Венгрии, Франции, Финляндии и т.д.

Россия располагает значительными потенциальными возможностями производства биогаза из навоза сельскохозяйственных животных. В нашей стране используются установки «Истра», «КОБОС», «БФ-500», «БГУ».

Имеющийся опыт по внедрению процесса метаногенеза в сельскохозяйственную практику показывает, что первое место пока занимает его экологический аспект, затем следует эффект от получения высококачественных удобрений и только третье место занимает недооцениваемая энергетическая составляющая процесса.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Что такое метанообразование?
- 2) Сколько фаз в механизме метанообразования?
- 3) Из чего состоит биогаз?
- 4) Какие типы биогазовых установок существуют?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Сазонова, И.А.** Экологическая биотехнология: учебное пособие / И.А. Сазонова. Саратов, 2012 г. – 106 с. – (ЭБС IPR-books <http://www.iprbookshop.ru/>)

Дополнительная

2. **Елинов, Н.П.** Основы биотехнологии / Н.П. Елинов. - СПб.: Наука, 1995, 600с.
3. Биотехнология / Под ред. А. А. Баева. – М: Наука, 1984. – 309с.
4. Сельскохозяйственная биотехнология / под. ред. В.С. Шевелухи. – М.: Высшая школа, 2003. – 469 с.
5. **Волова, Т.Г.** Экологическая биотехнология: уч. пособие для университетов / Т.Г. Волова. - Новосибирск: Хронограф, 2007. – 141с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Баадер, В.** Биогаз – теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Брендерфельд. – М.: 1982.
2. Биотехнология: Теория и практика / Н.В. Загоскина, [и др.]. – М.: Изд-во: Оникс. - 2009. – 496 с.
3. Биотехнология / Под ред. Баева А.А. – М.: Наука, 1988 г. – 309с.
4. **Бирюков, В.В.** Основы промышленной биотехнологии / В.В. Бирюков. – М.: КолосС, 2004. – 296 с.
5. **Волова, Т.Г.** Экологическая биотехнология: уч. пособие для университетов / Т.Г. Волова. - Новосибирск: Хронограф, 2007. – 141с.
6. **Гальченко, В.Ф.** Метанотрофные бактерии / В.Ф. Гальченко. – М.: ГЕОС, 2001. – 500с.
7. **Колесников, С.И.** Экологические основы природопользования / С.И. Колесников. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2010. – 156с.
8. **Корте, Ф.** Экологическая химия / Ф. Корте, М. Бахадир, В. Клайн и др. М.: Мир, 1996. – 396с.
9. **Кретович, В.Л.** Биохимия азота воздуха растениями / В.Л. Кретович. – М.: Наука, 1994.
10. **Минеев, В.М.** Химизация земледелия и природная среда, М.: Агропромиздат, 1990. - С.5.
11. **Мягков, М.И.** Твердые бытовые отходы города / М.И. Мягков, Г.М. Алексеев, В.А. Ольшанецкий. - Л.: Стройиздат, 1978. - С.51-69.
12. **Нетрусов, А.И.** Микробиология: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Нетрусов, И.Б.Котова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 352 с.
13. **Никольский, К.С.** Биомасса из отходов производства / К.С. Никольский, В.В. Соколов //Химия в сельском хозяйстве. - № 3-4. – 1993. - С.20-21.
14. **Рыбчин, В.Н.** Основы генетической инженерии / В.Н. Рыбчин. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999.
15. **Сазонова, И.А.** Экологическая биотехнология: учебное пособие / И.А. Сазонова. Саратов, 2012 г. – 106 с. – (ЭБС IPR-books <http://www.iprbookshop.ru/>)
16. Сельскохозяйственная биотехнология / Под. ред. В.С. Шевелухи. – М.: Высшая школа2003. – 469 с.
17. **Тихонович, И.А.** Генетика симбиотической азотфиксации с основами селекции/ И.А. Тихонович, Н.А. Проворов. – СПб.: Наука, 1998.
18. **Черных, Н.А.** Негативное воздействие тяжелых металлов на почвы // Химизация сельского хозяйства. - №1. – 1991. - С.40-42.
19. Экологическая биотехнология / Под редакцией К.Ф. Форстера и Дж. Вейза Л.: Химия, 1990. – 384с.
20. Экология микроорганизмов: Учеб. для студ. вузов / А.И. Нетрусов, Е.А. Бонч-Осмоловская, В.М. Горленко и др. / Под ред. А.И. Нетрусова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с.
21. **Эмануэль, Н.М.** Курс химической кинетики / Н.М. Эмануэль, Д.Г. Кнорре. - Изд. 4-е, М.: Высшая школа, 1984. – 234с.
22. **Эрнст, Л.К.** Биотехнология сельскохозяйственных животных / Л.К. Эрнст, М.И. Прокофьев. – М.: Колос, 1995.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Лекция 1. Экологические аспекты современной биотехнологии	4
1.1. Развитие биотехнологии и ее место в современной науке.....	4
1.2. Мировая экологическая ситуация.....	5
1.3. Роль биотехнологии для сельского хозяйства.....	7
1.4. Загрязнение почв и водоемов.....	9
Вопросы для самоконтроля.....	10
Список литературы.....	10
Лекция 2. Типовые процессы экологической биотехнологии	11
2.1. Синтез биологически активных веществ	11
2.2. Биодegradация токсичных веществ, компостирование.....	11
2.3. Биоочистка и детоксикация отходов.....	14
2.4. Биоремедиация. Биовыщелачивание.....	14
Вопросы для самоконтроля.....	17
Список литературы.....	17
Лекция 3. Микробиологические процессы в задачах экологической биотехнологии I	18
3.1. Принцип минимума.....	18
3.2. Формирование экологических ниш для окислительных и восстановительных процессов.....	18
Вопросы для самоконтроля.....	20
Список литературы.....	20
Лекция 4. Микробиологические процессы в задачах экологической биотехнологии II	21
4.1. Кинетика микробиологических процессов.....	21
4.2. Моделирование роста микроорганизмов.....	23
Вопросы для самоконтроля.....	24
Список литературы.....	24
Лекция 5. Генетическая инженерия. Экологические последствия I	25
5.1. Понятие генетической инженерии, векторы.....	25
5.2. Выделение генов из ДНК.....	25
5.3. Ферментные синтезы	26
5.4. Конструирование рекомбинантных ДНК.....	26
Вопросы для самоконтроля.....	27
Список литературы.....	27
Лекция 6. Генетическая инженерия. Экологические последствия II	28
6.1. Генетическая инженерия растений.....	28
6.2. Методы генетической инженерии растений.....	29
6.3. Трансгенные организмы. Экологические проблемы.....	30
Вопросы для самоконтроля.....	31
Список литературы.....	31
Лекция 7. Сточные воды как объект очистки	32
7.1 Основные показатели загрязнённости сточных вод.....	33
Лекция 8. Теоретические основы очистки сточных вод	40
8.1. Технологическая схема очистки промышленных сточных вод.....	40
8.2. Принцип действия аэробных систем биоочистки. Микроорганизмы.....	41

Вопросы для самоконтроля	43
Список литературы	43
Лекция 9. Очистка сточных вод в биореакторах	44
9.1. Виды биореакторов и их применение.....	44
9.2. Процессы биоочистки в аэротенке	44
9.3. Прогрессивные технологии биоочистки.....	47
Вопросы для самоконтроля.....	47
Список литературы.....	47
Лекция 10. Биологическая очистка газовоздушных выбросов.....	48
Лекция 11. Метаногенез.....	55
9.1. Метаногенные бактерии, характеристика, особенности.....	55
9.2. Технологическая схема метаногенеза. Механизм метаногенеза.....	56
9.3. Биогазовые установки и использование их в мире.....	57
Вопросы для самоконтроля.....	58
Список литературы.....	59
Библиографический список.....	60
Содержание.....	61