

Сидоренко О. Д.
**БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ
ОТХОДОВ
ЖИВОТНОВОДСТВА**

Обобщены перспективные биологические технологии переработки отходов животноводства. Основной упор делается на биоконверсию отходов и продукты их переработки. Предлагаемые технологии обладают несравненным преимуществом — они экологичны. Отходы из опасного источника загрязнения превращаются в ценное сырье для получения удобрений, кормов и горючих материалов.

Оптимизм вполне оправдан, так как теоретические познания существа процессов трансформации отходов и критический анализ научных исследований уже находят практическое решение на биофабриках по переработке отходов.

Книга предназначена для специалистов, которым необходимо знать преимущества и недостатки альтернативных систем переработки отходов: работников сельского хозяйства, министерств и ведомств, научно-исследовательских организаций, фермеров и предпринимателей.

© Сидоренко О. Д. 2003 ©

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1. ОСНОВЫ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СУБСТРАТОВ

- 1.1. Сущность микробной деструкции органических субстратов
 - 1.2. Состав микроорганизмов и их трансформирующая активность при переработке навоза и отходов
 - 1.3. Возможные биохимические механизмы микробиологической трансформации органических субстратов в регулируемом режиме
 - 1.4. Органические субстраты в пищеварительном тракте животных
- ### 2. ОТХОДЫ ЖИВОТНОВОДСТВА

2.1. Запахи

2.2. Твердые отходы

2.3. Сточные воды

3. БИОКОНВЕРСИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ, ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

3.1. Микроорганизмы, участвующие в биоконверсии отходов

3.2. Утилизация навоза

3.3. Переработка птичьего помета

3.4. Утилизация навоза свинооткормочных комплексов

3.5. Традиционное компостирование природного органического сырья

3.6. Вермикомпостирование

3.7. Выращивание личинок синантропных мух (опарышей)

4. Микробиологические способы утилизации отходов

4.1. Переработка твердых и жидких отходов микроорганизмами

4.2. Особенности выращивания дрожжей на отходах животноводства

4.3. Очистка сточных вод микроскопическими водорослями

4.4. Конверсия отходов метанобразующими микроорганизмами

4.5. Получение органического удобрения

5. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

5.1. Утилизация отходов свиноферм

5.2. Переработка птичьего помета

5.3. Получение кормов и продуктов питания повышенной усвояемости

6. БИОТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА

6.1. Использование продуктов биоконверсии отходов животноводства

Список литературы

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема утилизации отходов сельского хозяйства, их эффективного использования — трансконтинентальная проблема. Повторная переработка навоза, птичьего помета, коммунальных отходов — это циклический процесс, вполне сравнимый с системой кровообращения организма: сердце гонит по

артериям кровь, доставляющую в ткани питательные вещества и кислород, а потом через вены забирает истощенную кровь, пополняет ее запасы и отправляет в обратный путь.

Навоз и птичий помет — это не отходы, это энергонесущие субстанции, которые можно повторно и целенаправленно использовать в земледелии, животноводстве, цветоводстве, озеленении и других отраслях. Авторы книги показали, что благодаря биотехнологиям отходы сельского хозяйства могут ускоренно перерабатываться для вторичного использования, не причиняя вреда природе. Рассматриваются технологии утилизации отходов с помощью микроорганизмов, калифорнийских червей, личинок синантропных мух и другие способы переработки навоза и птичьего помета.

Критически обсуждаются микроорганизмы, участвующие в аэробно-анаэробной трансформации органических отходов, и продукты их метаболизма, экономичность микробных технологий утилизации отходов животноводства и их перспектива. Одним из основных факторов, определяющих путь и эффективность переработки отходов животноводства, является природа микроорганизмов, которые выполняют в каждой технологии специфические функции и, соответственно, различаются по видовому составу.

Предлагаются пути уменьшения негативного влияния токсических веществ на агроэкосистемы и активного использования энергии, заложенной в органических отходах животноводства. Показано, что вторичные продукты являются энергоемкими носителями. Например, отходы животноводства (навоз, помет и др.) становятся санированным, высокоактивным органическим удобрением, улучшают почву и уменьшают необходимость в пестицидах и химических удобрениях. Переработка термофильными бактериями только 30% производимого навоза в сельском хозяйстве РФ позволит дополнительно использовать в земледелии более 5 млн. т азота, фосфора и калия (д. в.).

Технологии XXI века — это микробная переработка отходов в целом, водорослевые системы для очистки и осветления сточных вод, производство дрожжей на отходах, получение кормового белка и т. д. Авторы обращаются к самой природе, ее компонентам, которые были создателями и накопителями органической материи, т. е. к биоконверсии. Это простейшие биотехнологии, наиболее экономичные, практически не требующие специальных перерабатывающих сооружений.

Книга содержит современную информацию о биоконверсии отходов животноводства и некоторых методах по переработке органического природного сырья, раскрывает микробиологическую основу деградации органического материала, его трансформацию и синтез органических субстанций, вторично использующихся в промышленности и сельском хозяйстве.

Проблема биоутилизации отходов сложна и многогранна, слабо научно обоснована, крайне мало законченных научных и практических рекомендаций. Некоторые утверждения авторов спорны, но нельзя не признать, что по широте и смелости постановки проблем книга является

одной из самых современных и оригинальных по вопросам переработки отходов животноводства. Оптимизм авторов оправдан, так как дальнейшие исследования перечисленных биоконверсных технологий и их практическое внедрение очевидны.

Книга будет прочитана с большим интересом предпринимателями и работниками сельского хозяйства, занимающимися переработкой отходов и получением целевых продуктов — органических удобрений, кормовых добавок и т. д.

Профессор В. И. САВИЧ

ВВЕДЕНИЕ

Проблема переработки и утилизации отходов животноводства исключительно актуальна во многих странах мира. На 1 января 1999 года общее содержание органических отходов в животноводстве России составляет: крупный рогатый скот накапливает 344,1 млн. т навоза, свиноводство — 30,5 млн. т и птицеводство 14,5 млн. т/год (Архипченко, 2000).

Решение проблемы загрязнения окружающей среды отходами животноводства должно быть направлено на выполнение двух основных задач: предотвращение и исключение загрязнения окружающей среды; эффективное использование вторично переработанных отходов в сельском хозяйстве (земледелии, животноводстве).

В то время как окружающая среда страдает от животноводческих комплексов и создаются крупные очаги загрязнения, пахотные земли не получают традиционно ценного для России органического удобрения — навоза. По данным Госкомзема РФ, потери органического вещества пахотных земель в Нечерноземной зоне составляют 0,5 ... 0,7 т/га, Центральной черноземной зоне — 1,0 ... 1,5, Западной и Восточной Сибири — 0,3 ... 0,7, на Дальнем Востоке — 0,6 ... 1,0 т/га. Для воспроизводства гумуса в пахотных почвах необходимо ежегодно вносить 840 млн. т органических удобрений, или свыше 6 т/га (Пузанков, Мхитарян, 1999).

Подробно изучены отходы промышленности многих видов, разработаны способы и технологии их утилизации путем переработки в полезные продукты. Отходы же сельского хозяйства не нашли достаточного внимания технологов. К тому же попытки использовать отходы сельского хозяйства, накопленные в различного рода хранилищах, наталкиваются на большие сложности, связанные с целым рядом технологических, технических и экономических причин. Кроме исторически сложившегося способа переработки отходов животноводства — компостирования (буртование на бетонированных площадках), робко внедряются технологии биокомпостирования, высушивания и высокотемпературной ферментации. К сожалению, они высокзатратны, энергоемки, неэкологичны и часто не отвечают требованиям земледелия и животноводства.

Почти не внедряется современная технология- микробная конверсия отходов животноводства в аэробных и анаэробных режимах, которая предусматривает не только санитарное состояние территории вокруг животноводческих помещений и птицефабрик, но и получение санированного, гумифицированного органического продукта высокой биологической активности, без специфического запаха.

Микробная биотехнология способна вовлечь в производство кормовых препаратов и добавок, огромные массы жидких и плотных отходов АПК растительного и животного происхождения. Существует широкий круг микроорганизмов, способных жидкие и твердые отходы трансформировать в кормовые препараты с образованием микробной биомассы. Самыми перспективными продуцентами являются быстрорастущие микроорганизмы.

Цель автора, показать научные основы для развития комплексных

технологий биотрансформации вторичного сельскохозяйственного сырья, включая навоз и помет, с помощью микроскопических грибов, бактерий и дрожжей. Предусматривается обогащение сырья микробным белком, уменьшение загрязнения окружающей среды и нейтрализация контаминантов химической и биологической природы. Многие отходы сельского хозяйства могут стать сырьем для культивирования дрожжеподобных грибов и бактерий, повышающих уровень белка в получаемых препаратах до 4% и выше.

Читателю предлагается ознакомиться с технологиями микробиологической переработки отходов и получения компостов высокого нагрева. Термофильная микробиологическая трансформация отходов животноводства в органические удобрения принципиально новых видов сочетает защитные и стимулирующие свойства и точность дозировки элементов питания.

Микробиологическая трансформация отходов привлекает пристальное внимание зарубежных специалистов. Известно, что методы микробиологической химии осуществляют превращения в одну технологическую стадию, а для их проведения химическим путем требуется несколько стадий, особенно из-за сложности, громоздкости молекул субстрата. Микробиологические же превращения не знают преград, практически все основные классы органических соединений подвергаются трансформации и деградации.

Автор кратко изложил результаты большого экспериментального материала отечественных и иностранных исследователей по использованию макро- и микроорганизмов утилизации отходов и деградации различных органических веществ; представил основы некоторых технологий переработки отходов животных и птицы. Автор рассматривает микроорганизмы в качестве химических реагентов-деструкторов, осуществляющих ферментативное превращение природных экзогенных соединений (отходов) для получения вторичных продуктов, используемых человеком.

Надеемся, что данная работа позволит свести к минимуму многие проблемы загрязнения окружающей среды, и общество, прежде чем предпринимать какое-либо действие, станет рассматривать в первую очередь последствия своей деятельности.

1. ОСНОВЫ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СУБСТРАТОВ

1.1. Сущность микробной деструкции органических субстратов

Исключительность мира микроорганизмов состоит в том, что, несмотря на малые размеры, их клетки обладают огромной поверхностью по сравнению с объемом и весом, и это определяет теснейшую связь микроорганизмов со средой обитания. В 1 кг живой биомассы кишечной палочки содержатся бактерии, общая площадь поверхности которых составляет 5000 м². Активность дыхания у бактерий и особенно у плесневых

грибов значительно выше, чем у высших организмов. Например, трехдневная культура гриба *Аспергиллус* при 34° С выделяет за 24 часа 682 см³ CO₂, а почки сирени при 15° С — всего 35 см³.

Микробная клетка может рассматриваться как биологическая машина широкого спектра действия, пока недоступная для полного понимания всех механизмов ее функционирования, но по своим возможностям далеко превосходящая все технологические системы, сконструированные человеком в XX веке. Практическое использование этих созданных природой «биологических машин» чрезвычайно разнообразно.

Микробиологическая трансформация не идет в сравнение с другими способами биотрансформации органических соединений. Сфера возможного использования ферментативной активности микроорганизмов для превращения экзогенных веществ практически беспредельна. Микроорганизмы способны атаковать если не любое, то подавляющее большинство органических соединений.

Активное отношение микроорганизмов к химическим компонентам субстрата позволяет использовать неосвоенные элементы среды, включать их в сферу своей жизнедеятельности. Микробная клетка атакует необычные для ее метаболических систем вещества. Результатом атаки может быть дальнейшая ассимиляция вещества (если есть в наборе ферментная система) или накопление трансформированного продукта, который, в свою очередь, может быть в дальнейшем с успехом освоен. В любом случае, эта активность направлена на освоение среды и имеет преимущества перед макроорганизмами, использующимися в переработке отходов.

Широкий спектр ферментных систем, чрезвычайно высокая адаптивность дают совершенно неожиданный эффект активной жизнедеятельности микроорганизмов в любых субстратах.

Вторичные сельскохозяйственные продукты, в том числе и навоз, используемые для твердофазного выращивания микроорганизмов, условно можно разделить на малопитательные, трудноусваиваемые микроорганизмами субстраты, которые в основном играют структурную роль, и высокопитательные добавки, значительно стимулирующие рост микроорганизмов.

Особенность микробиологических трансформаций отходов заключается в том, что большая часть органических субстратов расщепляется под действием нескольких ферментов (существует более 20 микробиологических процессов превращения органических соединений). Результат — изменение молекулярной структуры трансформируемого субстрата, синтез метаболитов из предшественников, перестройка сложных молекул. Самое главное при этом — удобство и экономичность технологических процессов, для которых не требуется дорогостоящая аппаратура, так как микроорганизмы функционируют в неагрессивных средах при обычных температурах и давлениях.

1.2. Состав микроорганизмов и их трансформирующая активность при переработке навоза и отходов

Природная экосистема является основным поставщиком

растительности, органическое вещество которой по химическим характеристикам весьма разнообразно и подвержено постоянным изменениям при использовании на корм животным. В пищеварительном тракте животных, под влиянием микробной минерализации и спонтанных химических реакций, состав органических фракций постоянно изменяется. Причем корм, поедаемый жвачными животными, переваривается иначе, чем животными с однокамерным желудком. Бактерии, населяющие желудок жвачных животных (крупный рогатый скот и лошади), позволяют им усваивать корма, содержащие целлюлозу. В эти корма входит компонент лигнин, который сопутствует целлюлозе в растениях и который плохо переваривается в рубце животного.

В целом, корм, содержащий эпифитную микрофлору, в пищеварительном тракте животного дополнительно обогащается разнообразными группами микроорганизмов — аэробами и анаэробами, среди которых присутствуют патогенные бактерии. Микроорганизмы, благодаря ферментативным процессам, превращают углеводы, как правило, в кислые продукты (уксусную, лимонную и другие кислоты), спирты и газы.

В рубце желудка жвачных животных содержатся анаэробные целлюлозоразрушающие бактерии (10⁹...10¹⁰ клеток в 1 мл рубцовой жидкости), осуществляющие распад полимерных углеводов до ацетата (50...70%), пропионата (17...21%), бутирата (14...20%) молекулярного водорода и метана (всех газов до 700 л в сутки), валерианата и формиата — небольшие количества (Бергнер, Кетц, 1973). С этими продуктами в навоз попадают также микроорганизмы, способные сохранять длительное время патогенность, которая означает потенциальную способность микроорганизма вызывать заболевание.

Токсинообразующие микробы (дифтерийная палочка, возбудители столбняка, газовой гангрены и т. д.) проявляют агрессивность из-за хорошей сохранности токсических белков. Различные патогенные микроорганизмы образуют один, два или более токсинов, которые вызывают летальный исход, дермoneкроз (омертвление кожи), гемолиз (растворение крови) и др. Возбудителями заболеваний могут быть гельминты — многоклеточные организмы, во множестве встречающиеся у животных.

В последние годы в инфекционной патологии существенно возросла роль условно патогенных микроорганизмов, проявляющих выраженную устойчивость к большинству известных химиотерапевтических агентов. Особенно это проявляется у животных, поедающих корм при добавлении антибиотиков.

В навозе здоровых животных присутствует многообразие «нормальной» микрофлоры, участвующей в анаэробном гидролизе корма: миксобактерии, мезофильные и термофильные клостридии и др.

Стабильность химической активности микроорганизмов зависит от условий их пребывания в субстратах. В навозохранилищах или в биоферментерах образуются вещества, часто более токсичные для клетки микроба, чем исходный субстрат. Смешанная же микрофлора начального периода компостирования постепенно селективируется технологическими

условиями переработки органических соединений и к завершению процесса (на определенный день) остаются наиболее активные и устойчивые микроорганизмы, обладающие защитной реакцией.

Физиологический смысл микробиологической трансформации отходов может быть различным в зависимости от вида микроорганизмов и используемого субстрата. Многообразие и полифункциональность ферментных систем микроорганизмов, атакующих необычные для микробной клетки вещества среды, составляют функциональную основу микробиологических превращений разнообразных по химическому составу отходов.

Продукты биотермических превращений отходов могут вступать в дальнейший метаболизм. В результате токсические соединения, обязательно синтезированные в ферментерах, или инактивируются, или, превращаясь в более токсические соединения, служат селективным средством для определенных таксономических групп микроорганизмов.

Многолетние исследования с широким набором субстратов (навоза, помета, торфа, опилок и др.), проведенные авторами, показали, что многие микроорганизмы демонстрируют высокую адаптивность и трансформирующую активность при окислении субстратов. Это является для них естественной функцией. Однако к завершению ферментации отходов спектр микроорганизмов сужается, некоторые вновь синтезированные соединения, по-видимому, не способны использоваться широким кругом микроорганизмов в качестве питательного субстрата (Сидоренко, 1997).

Подобная селекция микроорганизмов ускользает из поля зрения исследователей лишь потому, что в большинстве случаев это проявляется в определенных условиях. Регистрация такого факта затруднена, так как связана с анализом продуктов трансформации в таких сложных микробиологических средах, какими являются биоферментированные отходы. В них часто встречаются соединения сложной химической природы, т. е. искусственно синтезированные.

Кроме того, микроорганизмы способны модифицировать субстрат и накапливать определенные продукты. Именно для микробиологической биоконверсии отходов характерно накопление в среде интермедиатов, широкая субстратная специфичность ферментов и разного рода побочные реакции.

Иными словами, *биологический смысл* микробной трансформации отходов заключается в способности микроорганизмов атаковать самые разнообразные органические вещества, выделять тепловую энергию и синтезировать большой набор своеобразных соединений. Среди них маловероятно наличие высокотоксичных веществ, так как незначительные перестройки молекул под действием микроорганизмов (деметилование, декарбоксилирование, дезаминирование, гидрокселирование) полностью снимают токсичность соединений для живых микроорганизмов. Кстати, для детоксикации возможно использование микробных препаратов.

Дальнейшее изучение микробиологических превращений ферментированных продуктов отходов, по-видимому, еще более расширит

рамки применения специализированных микробов как химических реагентов для обезвреживания стоков промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Биохимической основой трансформации естественных субстратов микроорганизмами является широкий спектр субстратной специфичности ферментов, которые не позволяют соединениям накапливаться в среде.

1.3. Возможные биохимические механизмы микробиологической трансформации органических субстратов в регулируемом режиме

Выяснение механизмов, контролирующих активность микроорганизмов в субстратах, чрезвычайно затруднено, поскольку регуляция метаболизма микробной клетки — очень сложный процесс. В превращениях субстратов одна реакция следует за другой в строжайшей последовательности, так как продукты реакции предыдущей стадии процесса, как правило, являются субстратом для последующей.

Такая четкая преемственность возможна благодаря высокой специфичности ферментов, участвующих в обмене веществ.

Химическая активность микроорганизмов зависит от условий их культивирования (состава питательных субстратов и методов их подачи, pH, температуры, аэрации, состава газов, перемешивания, окислительно-восстановительных режимов — ОВП и др.). Подобранные и стандартизированные условия выращивания микроорганизмов в субстратах при биоконверсии позволяют с достаточным постоянством получать соответствующий конечный продукт.

Оптимизировать состав субстратов для управления ходом трансформации органических отходов довольно сложно, равно как и получение целевого продукта, поскольку круг микробов-трансформаторов (или деструкторов) очень широк. Он включает представителей грибов, актиномицетов, бактерий. Поиск же наиболее продуктивного отдельного штамма, трансформирующего органические отходы, — непростая задача. С одной стороны, реакции трансформации практически универсальны в мире микроорганизмов, а с другой — состав экзогенного субстрата широко варьируется и продукты превращения весьма разнообразны. Например, органическое вещество навоза состоит на 70 ... 80% из сухой массы с высоким содержанием углерода — целлюлоза, лигнин, пентозаны (табл. 1). Способность превращать эти соединения в низкомолекулярные элементы выражена у микроорганизмов, далеко отстоящих друг от друга в таксономическом отношении. К тому же конечные продукты трансформации будут разнообразны в зависимости от режима ферментации навоза.

Безусловно, на основе знаний физиологических особенностей микроорганизма можно предсказать качественный состав целевого продукта в том случае, если контролируются технологические режимы переработки отходов. Добавление же компонентов известного химического состава будет изменять в определенных пределах компостируемый (перерабатываемый) субстрат. Вполне вероятно научное обоснование оптимального режима культивирования микроорганизмов и состав конечных продуктов ферментируемой массы навоза. Особенно при наличии контрольно-

(Табл.1.) Состав органического вещества кала животных, %

Животные	Зола	Органи- ческое вещест- во	В том числе				
			Целю- лоза	Лигнин	Пенто- заны	Раство- римые угле- воды	Геми- целлю- лоза
крупный рогатый скот (КРС)	16,2	83,8	26,1	21,3	14,5	0,44	20,4
Свины	13,6	86,4	18,4	15,2	20,7	0,38	27,0
Овцы	22,3	77,7	20,3	19,1	7,7	0,34	10,0

измерительных приборов, дополнительных биохимических анализов. Считается, что микроорганизмы способны окислять все органические вещества, за исключением тех искусственно синтезированных, которым нет аналогов в природе. Токсичными для микроорганизмов навоза или отходов животноводческих комплексов могут оказаться ионы тяжелых металлов и некоторые органические вещества в концентрациях выше предельно допустимых (метанол, формиат, пропионат и др.)

Управление микробной ферментацией отходов может интенсифицировать минерализацию исходного субстрата и активизировать биосинтез новых соединений, предназначенных для использования в качестве органического удобрения, кормовой добавки, бактериальных препаратов.

Газовый режим компостируемой массы отходов животноводства непостоянен. При регулируемом режиме микробной ферментации анализ выходящего воздушного потока выявляет высокое содержание метана, аммиака, диоксида углерода, сероводорода и др. Причем динамика их образования связана с температурой ферментируемой массы, скоростью прохождения аэробно-анаэробных фаз и ферментативной активностью. Последнее определяется степенью гидролизуемости субстрата и участием определенных групп микроорганизмов (мезофилов и термофилов, аэробов и анаэробов).

Биоценоз ферментируемой массы — высокоспециализированное сообщество гетеротрофных организмов, обладающих устойчивыми и термостабильными целлюлазами. Особенно высоким уровнем минерализационной активности обладают микроорганизмы во второй фазе — термофильной.

Следовательно, в контролируемых условиях микробной ферментации отходов биохимические процессы трансформации органических веществ тесно связаны с температурой, влажностью и ферментативной активностью исходного сырья. Микроорганизмы, вовлекаемые в процесс ферментации, весьма разнообразны в начальной фазе; спектр их во второй фазе — значительно сужается.

1.4 Органические субстраты в пищеварительном тракте животных

Вторичное сырье сельского хозяйства - солому, часто компостируют и готовят из нее искусственный навоз с добавлением навозной жижи, стоков животноводства. Для скорости разложения навоза решающим является не столько отношение углерода к азоту, сколько мобильные количества этих элементов. Это основная качественная характеристика навоза.

Солома характеризуется невысоким содержанием протеина как сырого (3...8%), так и переваримого (0,5...1,0%), часто обусловлено особо прочным строением клеток соломы. Она также бедна жиром (0,5...1,3%). Содержание минеральных элементов колеблется от 4 до 12% и в них преобладает окись кремния, в то время как основные макроэлементы (Ca, P, Na и др.) содержатся в небольших количествах. Витамины в соломе практически отсутствуют, каротин составляет только 1...7 мг/кг. Питательных веществ, растворяющихся в воде, слабой соляной кислоте, в солодовом экстракте, невелико и в среднем составляет около 10%, из которых третья часть приходится на долю минеральных элементов.

Слабая растворимость питательных веществ, сильная инкрустация целлюлозы, гемицеллюлозы лигнином обуславливают низкую перевариваемость органического вещества соломы.

Например в соломе пшеничной, озимой и яровой переваримость органического вещества колеблется от 42 до 46%, в ржаной - от 43 до 48%, в овсяной - от 48 до 55%. Следовательно кормовую ценность соломы понижает целлюлоза (клетчатка), на долю которой приходится до 50% сухого вещества. *Целлюлоза* - простейший и наиболее распространенный моносахарид. Она является главным структурным компонентом растительных клеток (клеточных стенок растений). Представляет собой линейный неразветвленный полисахарид, элементарные звенья которого являются остатками глюкозы. При полном гидролизе целлюлозы, протекаемом в концентрированных кислотах, образуется D-глюкоза.

Особенностью целлюлозы является наличие длинных и жестких прямоцепочечных молекул. Рентгеноструктурный анализ показал, что молекулы целлюлозы соединены в пучки или волокна, состоящие из параллельных цепей, имеющих поперечные водородные связи. Эти волокна совершенно не растворимы в воде и имеют правильную, почти кристаллическую упаковку. Они цементируются матриксом, состоящим из трех других полимеров: гемицеллюлозы, пектина и экстенсина (белок с высоким содержанием оксипролина, ковалентно увязанного с целлюлозными волокнами).

Клеточные стенки высших растений можно сравнить с железобетоном, где роль арматуры играют целлюлозные волокна, а роль бетона - матрикс. Кроме прочного расположения, целлюлозные волокна по мере созревания растений пропитываются сложным химическим соединением - лигнином, практически не используемом в организме животных. Лигнин соломы, действуя как физический барьер между клеточной оболочкой и ферментом, в значительной степени снижает действие ферментов, влияющих на расщепление целлюлозы.

В природных условиях расщепление целлюлозы происходит под

воздействием многочисленных сообществ микроорганизмов, одни из которых вырабатывают ферменты, расщепляющие преимущественно лигнин, другие - целлюлозу и гемицеллюлозу. При ферментом же гидролизе соломы (в контролируемых условиях) основными получаемыми продуктами являются глюкоза и ксилоза. Их образуется значительно больше при сочетании ферментного и химического гидролиза. Доступ целлюлозолитических ферментов к целлюлозе усиливается при ослаблении связи между лигнином и полисахаридами. Поэтому любая подготовка соломы к скармливанию предусматривает ослабление или разрыв связей между инкрустирующими веществами и внеклеточными полисахаридами, и способствует проникновению ферментов вглубь клетки.

Эволюционное развитие пищеварительной системы жвачных определило развитие рубца как органа, необходимого для предварительной переработки целлюлозы, гемицеллюлоз грубых волокнистых кормов за счет симбиоза с населяющими его микроорганизмами. Основными представителями рубцовой микрофлоры являются простейшие (инфузории), бактерии и дрожжи. Бактерии населяющие рубец, вырабатывают фермент целлюлазу (единственный в природе), который осуществляет превращение целлюлозы в D-глюкозу.

В 1 г. содержимого рубца установлено содержание бактерий на уровне 10^{10} , простейших – 10^6 . Клетчатка, содержащаяся в соломе, выполняет роль структурного вещества-субстрата, наличие которого способствует нормальному развитию бактерий, обладающих целлюлазной активностью.

2. ОТХОДЫ ЖИВОТНОВОДСТВА

Во многих странах объем отходов в животноводстве в 5 раз больше объема всех бытовых отходов. Животноводческие отходы характеризуются высоким содержанием органических веществ, минеральных соединений азота, фосфора, калия и т.д. Расчеты специалистов показывают, что в США в 1,72 млрд. т навоза содержится около 20% непереработанных питательных веществ. Лишь одна треть этого количества навоза содержит столько белка, сколько его дает ежегодный урожай соевых бобов (Максимов, 1987). В бесподстилочном навозе от 50 до 70% азота находится в растворимой форме, органическое вещество составляет 70-80% сухой массы. В основном соотношение углерода к азоту в кале животных довольно высокое (1:18-20), в смеси же экскрементов оно снижается за счет азота мочи до 5-9 (Му Юнг, 1979).

Термин «отходы животноводства» может означать, по выражению Р. Лёра (1979), любую из нижеприведенных разновидностей состояния органического сырья:

- свежие экскременты, включая твердую и жидкую фракции;
- твердые остатки после просачивания в почву жидкости, испарения воды или выщелачивания растворимых питательных веществ;
- жидкая фракция, выделяющаяся из общей массы отходов;
- твердые остатки, образовавшиеся после аэрационного или анаэробного хранения навоза.

Бесподстилочный навоз, состоящий из смеси кала и мочи животных с водой и посторонними примесями, подразделяется на полужидкий, жидкий навоз и навозные стоки. Полужидкий навоз содержит 8...14% сухого вещества (смесь экскрементов и посторонней примеси), жидкий навоз — от 3 до 8%, навозные стоки значительно разбавлены водой и содержат менее 3% сухого вещества.

Для решения проблемы охраны природы и человека, в частности, от специфического загрязнения поверхностных и грунтовых вод и превращения опасных источников загрязнения в ценное сырье для получения удобрений, кормовых добавок, горючих материалов и сырья для химической и микробиологической промышленности необходимы характеристики основных составляющих отходов животноводства.

2.1. Запахи

Сельское хозяйство в редких случаях загрязняет воздух веществами, вредно воздействующими на растения, животных и человека. Запахи создают помехи в обыденной жизни. Однако при содержании животных в больших количествах запахи отходов перерастают в проблему. Особенно остро подобная проблема стоит там, где практикуется разбрасывание навоза и не утилизируется большинство отходов. Значительная часть запахов исходит от навоза.

При этом в атмосферном воздухе обнаруживается аммиак и другие дурнопахнущие газы в концентрациях превышающих ПДК в 5-6 раз, микробное и общее органическое загрязнение в 8-10 раз превышающее фон, регистрируется также интенсивное бактериальное загрязнение почвы.

Большинство запахов представляет собой сложную смесь химических соединений. В некоторых запахах может преобладать один конкретный компонент, его концентрацию можно определить приборами. Например, аммиак или сероводород, тиогликолевая или масляная кислоты. Поэтому для контроля запахов необходимо знать причины их возникновения и какие конкретно соединения вызывают запахи. Условия же, при которых образуются соединения с неприятным запахом, подсказывают методы борьбы с ними. Большинство сельскохозяйственных отходов перед их использованием хранятся в кучах, буртах или, в лучшем случае, накопительных емкостях, ямах. В течение хранения отходов образуются продукты анаэробного разложения: аммиак, сульфиды, меркаптаны, амины, метан, органические кислоты и др. Многие из этих неокислившихся соединений имеют свой уникальный и неприятный запах даже при низких концентрациях.

Сбор и удаление отходов (навоза, навозной жижи) с помощью жидкостных систем сопровождаются более неприятным запахом, чем «сухие» отходы, за счет образования новых пахнущих соединений. Запахи от птичьего помета хранившегося в анаэробных условиях, включали аммиак, кислый сульфат, двух- и пятиуглеродные органические кислоты, индол, скатол, дикетоны, меркаптаны и сульфиды (Burnett W. E., Sobel A. T., 1968). Напрашивается вывод, что обладающие запахом материалы представляют

собой восстановленные органические соединения и этот факт подсказывает возможность использования окислительного процесса для борьбы с запахом. Если хранящиеся отходы подвергнуть аэрации и ввести кислород, то основным пахнущим соединением останется аммиак, а при добавлении достаточного количества кислорода, аммиак может быть окислен микробами до нитритов и нитратов.

Неприятные запахи от животноводческих отходов вызваны прежде всего анаэробными условиями их хранения и активной микробиологической жизнедеятельностью анаэробов. Для подавления бактерий и (или) для окисления органических веществ испытано большое количество химических средств. Как правило, применяют большие количества этих химикатов, что отрицательно сказывается на дальнейшей утилизации отходов. К тому же не все промышленные химикаты были одинаково эффективными в устранении запахов. Объективная оценка 44 промышленных маскирующих, нейтрализующих и дезодорирующих препаратов выявила их неравнозначную эффективность. Менее эффективными оказались порошковидные препараты пищеварительных ферментов (Burnett W. E., Dondero N. C., 1968).

Свежие отходы от животных редко обладают невыносимым запахом. Высушивание их до состояния, исключая деятельность микроорганизмов, может быть эффективным методом борьбы с запахом. В систему обезвреживания животноводческих отходов можно включить высушивание и аэрацию. Естественное движение воздуха без дополнительного подогрева, усиление движения воздуха с помощью вентиляторов и воздуходувок вполне устраняют запахи. Использовались также и промышленные сушилки для обработки отходов животных и птиц. При содержании влаги приблизительно 30% отходы пахли слабее, чем невысушенные. Интенсивность запаха в значительной степени зависит от условий хранения отходов.

Аэрацию можно использовать для предотвращения возникновения запахов при удалении отходов в жидком состоянии, которые уже частично окислены и загрязняющий потенциал полученной суспензии у них снижен. В этих системах возможно снижение содержания азота за счет нитрификации-денитрификации. Возможна механическая поверхностная аэрация с использованием поверхностных роторов, плавучих аэраторов, как в аэрируемых лагунах. Успех аэрационной системы лежит в тщательности расчетов потребности в кислороде конкретных отходов крупного рогатого скота и птицеводства.

К сожалению, о минимальном количестве кислорода на единицу животноводческих отходов, которое предотвратило бы возникновение запахов, данных нет. Традиционно подчеркивают необходимость поддержания остаточной концентрации кислорода равной 1...2 мг/л. Такие представления установились при получении жидкого стока, отвечающего санитарным нормам для сброса в поверхностные воды. Эти нормы, безусловно, неприемлемы для насыщенных или концентрированных отходов, использующихся в дальнейшем при получении целевого продукта, органических удобрений, экспресс-компостов и т. д.

Аэрация как метод борьбы с запахами весьма эффективна, если она применяется с начала хранения отходов животноводства. Достаточная аэрация предотвращает возникновение запахов.

Аэрация же отходов, хранящихся в анаэробных условиях, ведет к выделению из субстрата дурнопахнущих соединений. Поэтому необходимо предусмотреть подачу кислорода в количестве, уничтожающем запахи. Если количество подводимого кислорода меньше потребности в нем, неприятные запахи могут все же иметь место.

Соединения, обладающие запахом, существуют не только в виде газов, но и как летучие твердые вещества. Пыль в птичнике представляет собой помет, частицы корма, фрагменты перьев и эпидермиса, которые в совокупности дают запах курятника. Ее концентрация в среднем составляет 2,6 мг/м³. При достаточной вентиляции эти газы не достигают концентраций, опасных для человека или птицы. Количество образовавшейся пыли обратно пропорционально относительной влажности птичника.

Содержание запахов не может строго влиять на санитарно-гигиеническое состояние воздуха. Воздух не является средой для размножения микроорганизмов. Микрофлора воздуха в основном зависит от микрофлоры пыли, капелек влаги, волос животных и перьев птицы, которые увлекаются с потоком воздуха. Физическая система из мелких твердых или жидких частиц, взвешенных в газовой среде, или аэрозоль. перемещается в воздухе в горизонтальном и вертикальном направлениях. Чем больше в воздухе аэрозоля, тем больше он содержит микроорганизмов. Каждая частица пыли обладает способностью адсорбировать на своей поверхности множество микроорганизмов. Для санитарной характеристики загрязненного воздуха (в том числе и содержащего дурные запахи) определяют общее количество микроорганизмов в 1 м³ и наличие отдельных бактерий, которые могут служить показателем загрязненности воздуха. Для этого, как правило, используют седиментационные и аспирационные методы.

Однако среди неприятных запахов могут накапливаться ядовитые газы, особенно при слабом проветривании помещений и анаэробно хранящихся отходов.

Таким образом, субъективный характер запахов представляет трудность при оценке их воздействия. Большинство запахов представляет собой сложную смесь химических соединений, которые необходимо удалять, нейтрализовать или разрушать. Индол, скатол, меркаптаны, метиламин и другие соединения, обладающие устойчивым запахом, сорбируют, дезодорируют, уничтожают физическими, химическими и биологическими методами. После освобождения отходов от дурнопахнущих соединений навоз и помет могут быть широко использованы при получении вторичных продуктов, необходимых сельскому хозяйству для повышения продуктивности пашни (увеличения урожайности сельскохозяйственных культур), животноводства (получения кормовых добавок и для откорма молодняка животных, птицы, рыбы и др.).

2.2. Твердые отходы

Анализ навоза крупного рогатого скота свидетельствует о наличии большого количества углерода; в помете же птиц его содержание гораздо меньше. Этот показатель важен при биоконверсии для расчета обеспечения энергетическим материалом микробного ценоза, минерализующего отходы животноводства.

На разных фермах твердые отходы животноводства составляют неодинаковое количество и качество. На молочной ферме ежедневное количество навоза на одно животное 33...65 кг, в среднем 39 кг, что составляет 7...8% массы животного ежедневно. Свежий навоз содержит 80...85% органического твердого вещества при средней влажности 80...88%.

Ежедневное количество отходов от одной свиньи зависит от породы и размеров животного, корма и условий содержания. Режим кормления влияет на свойства свиного навоза. Приблизительно 30% съеденного корма превращается в ткани организма животного, а остальное испражняется в виде мочи и кала. Количество испражненного кала составляет в день 6...8% живой массы свиньи. Влажный кал содержит 5...9% общих сухих веществ, в том числе 83% органических веществ. Это нестабильная субстанция, т. е. при обычном хранении он подвергается быстрому разрушению в результате жизнедеятельности собственного микробиоценоза.

В экскрементах одних и тех же животных содержится больше питательных веществ при скармливании им большего количества концентратов только потому, что этот корм содержит больше питательных веществ. Когда уровень содержания протеина в корме превышает предел, протеин усваивается менее эффективно и в большей мере переходит в кал.

Исследования физического состава свежего птичьего помета показали, что он содержит 75...80% влаги, 15...18% органических веществ и 5...7% золы. При влажности 75% в помете содержится 765 ккал на 1 кг сырого помета (Sobel, 1966). Более подробные характеристики навоза и помета представлены в специальной справочной литературе.

Для разработки приемлемых систем переработки и использования отходов животноводства необходимо знать их характеристики. Отходы животноводства более концентрированные: твердые отходы содержат 75...85% органических и 15...25% неорганических веществ, причем экскременты свиней по содержанию основных биогенных элементов превосходят экскременты крупного рогатого скота (табл. 2).

Отношение С:N в кале свиней меньше, чем в кале КРС, а в моче содержится около 50% всего азота, выделяемого с экскрементами, и соотношение С:N у КРС 1:2, у свиней 0,8:0,9. Смесь же экскрементов имеет отношение 5:8 за счет азота мочи (Шкарда, 1985). Птичий помет превосходит по многим показателям качество навоза КРС и свиней (табл. 3). Следовательно, в земледелие из 250 млн. т отходов животноводства можно вернуть 5 млн. т азота, 2,5 млн. т фосфора и 10 млн. т калия.

(Табл.2.) Примерный химический состав кала животных

Компонент, %	(КРС)	
	Крупный рогатый скот*	Свиньи
Вода (H ₂ O)	83,6	82,0
Азот (N)	0,29	0,60
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,17	0,41
Калий (K ₂ O)	0,10	0,26
Известь (CaO)	0,35	0,09
Отношение C:N	15...16	9...10

* Данные Андреева, Новикова, 1990.

(Табл.3.) Химический состав свежего подстилочного навоза
(данные зональных агрохимических станций, 1992 г.)

Вид навоза	Содержание при естественной влажности						Влажность %	pH	C:N
	Органическое вещество	Зола	Азот общий	Азот аммиачный	P ₂ O ₅	K ₂ O			
КРС	21,0	4,0	0,54	0,07	0,28	0,60	65,0	8,1	19
Свиной	21,9	17,0	0,84	0,15	0,58	0,62	60,7	7,9	13
Конский	22,6	8,4	0,59	0,09	0,26	0,59	69,0	7,9	21

В твердых отходах, богатых углеродом растительного происхождения, содержится значительное количество трудногидролизуемых компонентов. В качестве подстилки для животных наиболее широко применяют углеродсодержащие материалы: солому, торф, опилки.

Торф обладает высокой влагоемкостью, хорошей газопоглощительной способностью, гигроскопичностью, бактерицидными свойствами и малой теплопроводностью. Его можно рассматривать также как двухкомпонентную систему из органической и минеральной частей. Причем ценность торфа определяется органической частью, в состав которой входят слабоизмененные растительные остатки и продукты их гумификации. Минеральная же часть подвержена

(Табл.4.) Минеральный состав торфа разных видов

Тип торфа	Са О	Mg О	К ₂ О	Р ₂ О ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Соотношение орг. и мин. компонентов в сухом веществе, %
Верхо	0,3	0,12	0, 8	0, 16	0,8	0,15	0,3	96.1...97.1 2,9...3,9
Перех од- ный	0,8	0,20	0, 10	0, 09	1,2	0,70	1,7	88,0...94,0 6,0...12,0
Низин ный	2,5	0,30	0, 12	0, 10	1,2	1,30	1,7	92.0...96.0 4,0...8,0

в большей степени изменению качественного состава (табл. 4).

Приведенные данные показывают высокое содержание минеральной части в низинном торфе, который и наиболее приемлем при производстве органических удобрений. Низинный торф характеризуется повышенной зольностью и высокой степенью разложения органического вещества, большой объемной массой и насыщенностью основаниями.

Важной характеристикой твердых отходов животноводства является соотношение С:N. Используемые углеродсодержащие компоненты при содержании скота влияют на качество навоза. В опилках это соотношение находится на уровне 35...40, а при использовании соломы злаковых культур достигает еще больших значений. Более низкое содержание углерода в торфе. При этом решающей оценкой навоза является не общее количество углерода и азота, а наличие легкоразлагающихся углерод- и азотсодержащих веществ, используемых микроорганизмами.

**Содержание питательных веществ в экскрементах
сельскохозяйственных животных (% от сухой массы)
(Барта, 1981)**

№ п/п	Вид животных	Сырой протеин	Сырой жир	Клетчатка	БЭВ	Зола
1	Поросята 5-15 кг	30,0	15,0	8,0	35,0	12,0
2	Поросята 13-35 кг	25,0	8,0	17,0	36,0	14,0
3	Откармливаемые свиньи	20,0	5,0	25,0	34,0	16,0
4	Свиноматки	19,0	5,0	30,0	26,0	20,0
5	Откармливаемые бычки, 80 кг	23,0	2,0	21,0	43,0	11,0
6	Откармливаемые бычки, 200 кг	20,5	2,1	21,0	42,0	14,0
7	Коровы	19,0	2,0	24,5	41,0	13,6
8	Овцы	16,7	5,0	21,0	37,9	21,0
9	Куры-несушки	30,5	2,5	14,0	26,5	26,0

Преобладающими группами микроорганизмов в навозе КРС и помете птиц являются аммонифицирующие и автохтонные микроорганизмы (табл. 5). Количество их значительно снижается с увеличением влажности субстрата.

(Табл.5.) Содержание микроорганизмов в органическом сырье и навозе (Рабинович, 1999)

Вид органического сырья, навоза	Аммонификаторы, млн./г	Денитрификаторы, млн./г	Автохтонные, млн./г	Грибы, тыс./г	Аэробные целлюлозоразрушающие, тыс./г
Навоз КРС жидкий	491,5	122,2	1897,4	324,4	22,8
Навоз КРС полужидкий	192,5	29,2	463,8	110,8	57,3
Навоз КРС бесподстилочный	241,5	5,5	453,5	77,5	52,0
Помет жидкий	26,5	0,009	2,6	9,6	19,8
Помет сухой	932,1	0,4	406,3	4,8	149,2
Торф низинный	11,8	0,7	13,0	25,4	16,4
Торф переходный	4,9	0,003	7,1	15,3	4,2
Опилки	10,5	0,0003	0,1	0	0

2.3. Сточные воды

Физико-химическое состояние сточных вод зависит от качества твердых отходов животноводства. Специфика жидких отходов заключается в высокой концентрации в сточных водах механических включений и органо-минеральных ингредиентов, разнообразия их состава и вида животного.

Жидкий свиной навоз, которого ежегодно образуется в РФ около 300 млн. т, — настоящая экологическая проблема. Использовать его в качестве удобрения или сбрасывать в водоемы невозможно из-за загрязнения болезнетворными микроорганизмами, гельминтами, биогенными элементами и отсутствия эффективных систем по очистке и переработке. К примеру, на свиноводческом комплексе в 108 тыс. голов суточный выход жидкого навоза составляет около 3500 т (Шрамков, Савин, 1999).

Сточные воды птицефабрик имеют определенные физические характеристики, свидетельствующие о наличии растворенных и взвешенных примесей (в том числе и гумусовых). По химическому составу сточная вода содержит органические и минеральные соединения во взвешенном, коллоидном и растворенном состоянии. Около 60% общего количества загрязнений приходится на долю органических веществ. В целом же биохимический состав сточных вод птицефабрик однообразен, что связано с выполнением технологических операций содержания птицы и обусловлено более или менее постоянным средним количеством загрязнений на одну голову птицы, поступающих в сточные воды в течение суток.

Содержание органических веществ в сточных водах оценивается в

основном двумя показателями: биохимической потребностью в кислороде (БПК) и окисляемостью, или химической потребностью в кислороде (ХПК). Основные показатели сточной воды: органолептические свойства, взвешенные вещества, окисляемость и биохимическая потребность в кислороде — отражают содержание органических веществ. Содержание азота (аммонийного, нитратного и нитритного) позволяет судить о ходе превращения веществ белкового происхождения. Особое значение имеет опасность сточных вод в распространении заразных болезней.

Использование отходов для поливов кормовых культур (например, кукурузы), повышает в силосе концентрацию опасных загрязняющих веществ в 150 раз. Так, 500 т силоса с содержанием сухого вещества 20% содержит 4500 л раствора, обладающего летальным влиянием на водную фауну при разовом сбросе в водоемы (Могг, 1979).

Однако, по данным Фишера (1968), БПК отходов свиньи была 0,32, курицы 0.03, а ХПК в 1,3 ... 1,5 раза больше. Автор получил результат в лаборатории на животных при стойловом (клеточном) содержании.

Такие параметры, как отношение БПК:ХПК и отношение БПК :все или взвешенные твердые вещества, используются для определения возможности применения процессов биохимической очистки для конкретных отходов. Малые значения этих отношений указывают на наличие значительной фракции, не поддающейся биохимическому разложению.

(Табл.6.) Характеристика отходов животных (по Weibel, 1966), кг

Животные	Масса животного	БПХ	ХПК	Органический углерод	
Корова	490	0,5	7,93	1,87	0,22
Теленок	245	0,34	2,99	0,63	0,11
Свинья	68	0,14	—	—	0,02
Овца	52	0,01	0,56	0,13	0,022
Курица	2	0,009	—	—	0,002

Отходы животноводства, как правило, содержат большое количество твердых веществ, которые не поддаются дальнейшему биохимическому разложению.

В сточных водах свиноводческих ферм фракция, не поддающаяся биохимическому разложению или в которой это разложение протекает медленно, может составлять примерно 60 ... 70% всех твердых веществ. Удаление этих твердых веществ перед процессом биохимической очистки улучшит кинетику очистки и будет благотворно воздействовать на процесс трансформации органических соединений. В зависимости от применяемых технологий отходы животноводства в жидком виде подвергаются специфическим системам переработки, хранения и удаления. Широкий выбор возможных методов их переработки зависит от условий производства, наличия механического оборудования, транспортных средств и т. д.

3. БИОКОНВЕРСИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ,

ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Старые технологии утилизации отходов стали убыточными. Возросла стоимость энергоносителей, а для хранения навоза или помета приходится выводить из оборота тысячи гектаров сельскохозяйственных угодий. Кроме того, размещение вблизи больших городов крупных животноводческих комплексов и птицефабрик приводит к загрязнению водных бассейнов и в целом окружающей среды.

Использование навоза в качестве только удобрения (традиционный способ) уже не может считаться универсальным и эффективным. Необходимы современные энергосберегающие эффективные технологии.

Технологии переработки помета, навоза путем обезвоживания и дальнейшей стерилизации весьма энергоемки. Термические обработки жидкой или твердой фракций высокими температурами приводят не только к потерям элементов питания для растений, но и образованию канцерогенов. К тому же основными требованиями к технологиям переработки отходов животноводства и получения из них органических удобрений является сохранение их биологической активности и максимальное содержание соединений азота, фосфора и других элементов.

Одним из возможных способов утилизации отходов животноводства является биологическая переработка с использованием микро- и макроорганизмов, позволяющая быстро и эффективно перерабатывать значительное количество навоза и помета.

Перспективным способом биологической утилизации отходов животноводства является культивирование на них микроорганизмов. Для ферментации навоза используют главным образом мицелиальные грибы (твердофазное культивирование), а на навозных стоках осуществляют глубинное культивирование бактерий, дрожжей и грибов. Выращивание бактериальных культур на отходах животноводческих комплексов не получило широкого распространения из-за ограниченного применения бактерий на кормовые нужды. Выращивание же дрожжей позволяет произвести «облагораживание» стоков (свиноферм и ферм крупного рогатого скота) и получить дешевые кормовые добавки и бактериальные препараты.

Микробная биотехнология способна вовлечь в производство кормовых и препаратов и добавок огромные массы жидких и плотных отходов агропромышленного комплекса растительного и животного происхождения.

Существует широкий круг микроорганизмов, способных потреблять вторичные продукты сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности с образованием микробной биомассы. Самыми перспективными являются быстрорастущие микроорганизмы, способные усваивать негидролизированные сельскохозяйственные отходы. В наибольшей степени этим требованиям соответствуют мицелиальные грибы и дрожжи. Жидкие и плотные отходы могут быть трансформированы в кормовые препараты обогащенные микробным белком. Известно, что концентрированные стоки являются по существу готовой питательной средой

для этих микроорганизмов, так как содержат все необходимые компоненты, включая витамины и микроэлементы.

Компостирование органических отходов с добавлением микроорганизмов, биоферментация помета и навоза при 70...85°C позволяет получать ценное органическое удобрение, необходимое для повышения плодородия почвы и получения экологически чистой сельскохозяйственной продукции.

Кроме того, рациональное использование животноводческих стоков позволяет получить дополнительный урожай, в денежном выражении оценивающийся эквивалентно использованию 650 тыс. т азотных, 300 тыс. т фосфорных и 600 тыс. т калийных удобрений на всей пашне РФ.

С помощью простейших, личинок мух и других организмов переработка птичьего помета и навоза обеспечит их быструю утилизацию. За счет конверсии отходов системой метаногенеза может быть получено условное топливо, измеряемое миллиардами тонн. Оставшуюся в результате метановой ферментации биомассу можно использовать как удобрение. Переработка отходов метановым брожением — наиболее экономичный и эффективный метод очистки территорий, прилегающих к животноводческому комплексу. Конверсия биомассы животноводческих комплексов в газообразное топливо служит дополнительным энергоносителем в сельском хозяйстве.

В целом же наилучшим способом удаления отходов по экономическим и экологическим соображениям является их использование в качестве вторичного сырья. Вышеуказанные способы биоконверсии отходов могут дать, иногда неожиданно, весьма существенный результат с благоприятными последствиями для развития биотехнологии и энергетики. К сожалению, большинство из них реализуется очень плохо.

По мере развития животноводства количество и качество отходов будет существенно увеличиваться и изменяться, и острота проблемы их утилизации усугубится. Усилия специалистов должны быть направлены на сохранение отходов, переработку и использование для увеличения продуктивности земель, повышения урожайности сельскохозяйственных культур и получение дешевого топливно-энергетического ресурса (жидкого или газового биотоплива).

Энергоемкие технологии по переработке навоза и помета не могут быть использованы в настоящее время, несмотря на их достоинство (технологическое). Ставится вопрос о разработке особой дешевой системы обработки и удаления отходов, их эффективного использования. Прежде всего это касается биотехнологических методов переработки отходов и превращения их в ценное сырье для получения кормов, горючих материалов, удобрений и сырья для химической промышленности.

Разработаны технологии утилизации отходов сельского хозяйства в специальных установках — биореакторах, биоферментерах (биоферментаторах), модулях, метантенках и т.д. В них, как правило, микробиологическая трансформация отходов осуществляется за счет аэробно-анаэробных процессов. Биотехнологии имеют существенные

преимущества перед компостированием за счет снижения потерь питательных веществ в перерабатываемом исходном сырье, значительного повышения экологической чистоты конечных (вторичных) продуктов и срока переработки сырья.

Управление процессом биоферментации отходов позволяет интенсифицировать минерализацию исходного субстрата, активизировать биосинтез новых соединений и улучшить питательные свойства конечных целевых продуктов. «Сгорание» органической массы можно регулировать физическими, химическими и биологическими воздействиями. В последнем случае активизируются микроорганизмы исходного субстрата или внесенные смешанные микробоценозы, а их ферментные системы преобразуют субстрат в необходимом направлении, ускоряя процессы распада органического материала и микробного синтеза. Получаются продукты заданного качества, будь то органические удобрения или кормовые добавки, субстраты для микробиологической промышленности или почвогрунты для теплиц.

3.1. Микроорганизмы, участвующие в биоконверсии отходов

В природе существует огромное количество микроорганизмов, активно разлагающих целлюлозу до более низкомолекулярных соединений. Представители целлюлолитических видов встречаются среди бактерий, актиномицетов и микромицетов. Более изучены представители грибов **Aspergillus** и **Trichoderma**, - продуценты наиболее активных целлюлаз, используемых в промышленных производствах ферментных препаратов.

Среди бактерий наиболее активно разлагают целлюлозу представители рода **Clostridium**. Особенно термофильные этанологенные анаэробные бактерии **C. thermocellus**, **C. thermohydrosulfuricum**. Последний представитель является экстремально термофильным; **C. thermocellum** - активный целлюлолитик. Они широко распространены в природе и могут быть выделены из почвы, термальных источников, ила, навоза и гниющего органического субстрата.

C. thermocellum - облигатный анаэроб, термофил, развивается в диапазоне (opt.) температур 60-65°C, использует целлюлозу, гемицеллюлозу и целлюбиозу с выделением в процессе метаболизма этиловый спирт, уксусную и молочную кислоты, водород и углекислый газ, причем этанол - агрегатное отношение близко к 1:1. Он является самым быстрорастущим целлюлолитическим микроорганизмом, известным на сегодняшний день - время генерации составляет 6-7 ч. В природе **C. thermocellum** образует обычно устойчивые синантрофные ассоциации с другими бактериями. Они активно расщепляют целлюлозу и сложные субстраты: делигнифицированную целлюлозную пульпу и обработанную паром древесину.

Характерным является, что при культивировании на целлюлозе различных штаммов **C. thermocellum**, они образуют целлюлазный комплекс, 95% которого является экстрацеллюлярным и состоящим из ферментов, разрушающих целлюлозную и гемицеллюлозную фракции растительных субстратов: эндо- β -глюканазы, экзо- β -глюканазы и экзо- β -глюкозиды

(Saraswathu et al. 1993). Однако целлюлазная система **C. thermocellum** отличается как от грибной (**Trichoderma viride** или **T. reesei**), так и от аэробной бонитермальной системы (**Cellulomans**). Целлюлаза **Clostridium** разрушает микрокристаллическую целлюлозу вдвое медленнее, чем фермент, например, гриба **Seesei** (Zeikus, 1982).

Для улучшения продуктивности прямой биоконверсии лигноцеллюлозных субстратов вводят в состав смешанной пульпы целлюлолитических бактерий микроорганизмы с делигнифицирующей способностью. Среди них выделяют: базидиальные грибы бурой и мягкой гнили, вызывающие гниение древесины, грибы белой гнили, способные полностью разрушать лигнин, используя его в качестве единственного источника углерода (**Pleurotus**, **Pycnosporus** и др.), представители аскомицетов и несовершенных грибов, а также актиномицеты. Среди бактерий особое внимание привлекают роды **Corynebacterium**, **Pseudomonas**, **Clebsiella**, **Fleromonas**; последний - разлагал 98% промышленного лигнина за 5 суток (Лобанок и др., 1988).

На сегодняшний день сведения о практике совместного культивирования лигнолитических микроорганизмов с целлюлозоразлагающими отсутствуют. Поэтому отходами биоконверсии целлюлозосодержащего сырья являются лигнин, побочным продуктом - диоксид углерода, который образуется в достаточно большом количестве и может использоваться как товарная форма в сжиженном состоянии. Лигнин, составляющий 10-40% исходного сырья, может быть использован в качестве твердого топлива, структуратора почв, субстрата для культивирования некоторых базидиальных грибов, а также в качестве сырья для производства экологически чистого (незакисленного) фармацевтического адсорбента.

Решающее значение для процесса биоконверсии имеет стадия ферментации. Оптимизируя ее, можно интенсифицировать процесс биоконверсии целлюлозосодержащего сырья, повышая тем самым экономическую эффективность технологии в целом.

Потенциальная сырьевая база для процесса биоконверсии как способа утилизации промышленных целлюлозосодержащих отходов весьма разнообразна. Промышленные целлюлозосодержащие отходы представляют собой комплексные субстраты, в составе которых, наряду с целлюлозой и прочими углеводами, присутствуют вещества ароматического ряда и даже различные токсичные компоненты. Безусловно, это не может не отразиться на ходе утилизации этих субстратов микроорганизмами, не исключено ингибирование развития бактерий некоторыми компонентами сырья. Поэтому при использовании различных целлюлозосодержащих субстратов степень конверсии сырья будет отличаться.

3.2. Утилизация навоза

Хранение навоза — самый ответственный момент в цепочке утилизации отходов животноводства. Во время хранения навозная жижа может просачиваться и загрязнять поверхностные воды. Часть органических

веществ навоза при хранении стабилизируется деятельностью бактерий, а часть азота, содержащегося в навозе и моче, может улетучиться в атмосферу. Примерно 50% органических веществ разлагается на CO_2 и H_2O . Потери углерода и азота в результате деятельности бактерий увеличивают содержание в навозе минеральных солей и уменьшают содержание органических веществ. Остаточный материал слабо подвержен обработке биологическими методами. Чем дольше навоз остается влажным, тем больше возможность воздействия на него бактерий и растворения твердых веществ. Влагоудерживающая способность навоза животных зависит от рациона их питания.

Степень разложения навоза зависит от температуры и влажности. Чем значительнее деятельность бактерий и чем выше содержание влаги в навозе, тем больше степень растворения и тем выше содержание растворимых компонентов в стоке хранилища навоза. Возникают предпосылки развития условно патогенных и патогенных микроорганизмов.

Описанные процессы при хранении навоза создают проблему утилизации отходов животноводства, которая приобрела исключительную остроту.

Список микроорганизмов, вызывающих инфекционные заболевания, общие для человека и животных, весьма обширен и включает многих представителей, которые могут переноситься водой. Когда дренаж или сток с животноводческих предприятий достигнет водотока, этим дается начало потенциальной цепочке распространения болезни. Наиболее опасные для человека микроорганизмы:

Сальмонеллы (*S. dublin*, *S. typhimurium*) чаще всего выделяются из фекалий животных, стока с откормочных площадок, трупов животных и из небольших водоемов, из которых пьют животные. Сальмонеллы вызывают заболевание скота, а также менингит у человека. Практически они могут заражать животных и птиц всех видов, обладают высокой адаптивностью. В почвах с высоким содержанием органических веществ сальмонеллы выживают более 40 дней.

Стафилококки (*S. aureus*) могут быть патогенными для человека. Для них не очень благоприятна почва и почвенная среда в целом. В результате запахивания навоза распространение заболеваний не является критическим, однако выживание микроорганизмов в почве определяется их жизнеспособностью, взаимодействием с почвой и активностью аборигенной микрофлоры.

Колиподобные бактерии и энтерококки составляют высокую концентрацию клеток в навозе. Выход колиподобных бактерий у крупного рогатого скота, свиней, овец и уток в 2,9...9,3 раза больше, чем у человека. Фекальные колиподобные микроорганизмы служат более характерным показателем загрязнения вод человеком и животным. Фекальные стрептококки также предложены в качестве надежного и определенного показателя загрязнения. Отношение фекальных колиподобных микроорганизмов к фекальным стрептококкам используется для определения различия между загрязнениями человеком и животными. Показано, что

подобное отношение в отходах человека и бытовых сточных водах более 4, тогда как в фекалиях животных это отношение меньше 0,6.

Навоз обеззараживают на специальном участке биотермическим способом. Погибают возбудители сальмонеллез, эшерихиоз, рожи свиней, бруцеллез, ящура и других инфекций. Навоз от животных, больных или подозреваемых в заболевании сибирской язвой, сапом, инфекционной анемией, туберкулезом, чумой, предварительно увлажняют дезинфицирующим раствором, а затем сжигают.

Кроме патогенов, в навозе содержится большое количество *полезных микроорганизмов*. Их численность велика — в 1 т навоза может содержаться до 10 кг микробной массы, а в 1 г — до 90 млрд. живых микробных клеток. Микробы не только используют питательные вещества навоза, но и формируют его качество. Благодаря жизнедеятельности микробов навоз приобретает свойство высококачественного органического удобрения. Аммонификаторы, нитрификаторы, денитрификаторы, возбудители брожений, плесневые грибы и актиномицеты — далеко не полный перечень микроорганизмов, участвующих в трансформации навоза.

Натуральный навоз образуется в результате совокупности сложных процессов брожения, происходящих в подстилке животных. Искусственный навоз получается из растительных остатков и других углеродсодержащих компонентов, к которым добавляются азотсодержащие ингредиенты.

В обоих случаях за счет сложных субстратов и их биологической трансформации образуются новые соединения, которым навоз в значительной степени и обязан своими ценными качествами.

На состав натурального навоза влияют добавки неорганических веществ, которые включают в корм с целью увеличения привеса животных: антибиотики, ферменты, микроэлементы и т. д. Некоторые из этих добавок угнетают развитие микроорганизмов желудочно-кишечного тракта и тем самым изменяют химический состав навоза и эффективность биохимической переработки отходов животноводства. В то же время органические вещества могут образовывать комплексные соединения с некоторыми микроэлементами, металлами, в результате чего также будет изменяться биохимическая активность микроорганизмов в навозе. В связи с этим методы биоконверсии отходов одного вида животных не всегда могут быть применимы к отходам других видов животных. Кроме того, отходы животноводства находятся в разном физическом состоянии: твердом, полутвердом или жидком, и, соответственно, должна быть подобрана определенная технология их переработки.

Следовательно, состав натурального навоза непостоянен, он зависит от соотношения в нем плотных и жидких выделений, количества и качества корма, подстилки, вида животных и других факторов.

Характеристики навоза животных зависят от усвояемости и состава кормового рациона. Навоз состоит из непереваренного корма, который не подвергся бактериальному воздействию в желудочно-кишечном тракте, это, главным образом, волокна целлюлозы. Непереваренные протеины выделяются с калом, а обменный азот — с мочой в виде мочевой кислоты у

птиц и в виде мочевины — у скота. В навозе содержатся также остатки пищеварительных соков, минеральных веществ, кальция, магния, железа; фосфора.

При приготовлении искусственного навоза существуют две основные особенности: уменьшение клетчатки и гемицеллюлоз; увеличение количества лигнинов и белков. Во время хранения подстилок различные составные части их используются микроорганизмами в обмене веществ, что приводит одновременно к минерализации и; синтезу органических соединений типа гумуса. Гумификация компонентов навоза определяется влажностью, аэрацией, температурой и т. д. Предупредить потери ценных веществ в навозе, синтез нежелательных соединений можно путем правильного его хранения.

Интенсивность экзотермических реакций, протекающих в аэробных условиях (*рыхлое хранение навоза*), приводит к повышению температуры в куче навоза и резкой активности термофильных бактерий.

При этом мезофильная микрофлора погибает и ее воздействие на сахара и гемицеллюлозы подстилки прекращается, тогда как термофильная флора обильно размножается и активно участвует в процессе гумификации. Затем температура постепенно снижается, и в этот момент мезофилы вновь начинают проявлять большую активность.

Свежий навоз весьма беден термофильными микроорганизмами; наибольшее количество термотолерантных и термофильных бактерий находится в навозе в период его разогревания. После снижения температуры содержание бактерий, склонных к термогенезу, резко уменьшается. Поэтому титр термофилов может служить показателем готовности и созревания разогревающейся массы навоза или компоста.

В процессе созревания навоза отдельные виды микроорганизмов распределяются по-разному:

— при 25...28°C наблюдается развитие неоднородной популяции мезофилов, в которой преобладают бактерии (*Cytophaga*, *Cellvibrio*), мезофильные грибы (*Alternaria*, *Tri-chothecium*); численность актиномицетов невелика;

(Табл.7.) Содержание микроорганизмов

Образец	Мезофилы	Термофилы	Термофилы, %
	тыс. на 1 г		
Созревший навоз	300000	7300	2,4
Компост высокого нагрева	30000	8000	23,6
Компостные кучи	85000	20000	23,8
Компост среднего нагрева	16000	1500	9,4

— при 50°C численность бактерий уменьшается; наблюдается размножение термофильных грибов и актиномицетов;

— при 55...65° С наблюдается интенсивное развитие термофильных споровых целлюлозоразрушающих бактерий. Численность грибов уменьшается, актиномицеты, по-прежнему остаются активными;

— при 75°C грибы и актиномицеты отсутствуют. Сохраняют свою активность лишь термофильные бактерии, расщепляющие клетчатку.

Таким образом, большое значение в процессе созревания навоза имеет температура, от которой зависит состав навоза и его удобрительные качества. Поддержание температуры на уровне 50...60°C обеспечивает наиболее быстрое созревание навоза.

При плотном (анаэробном) хранении создаются анаэробные условия, медленно развиваются микробиологические процессы и незначительно повышается температура (до 25...35°C). Основную роль в трансформации органических соединений играют неспорообразующие микробы: кокки, псевдомонады, протеи, эшерихии. Бацилл и актиномицетов в таком навозе немного (табл. 8).

Аэробно-анаэробное хранение навоза в штабеле характеризуется повышенной температурой (до 50...60°C) и гибелью неспорообразующих форм бактерий. Такое хранение навоза представляет собой послойную укладку навоза без уплотнения, затем через 4...5 дней разогревшийся навоз уплотняют и т. д. — до образования штабеля размером 5x2 м. Чем интенсивнее протекают микробиологические

(Табл.8.) Содержание микроорганизмов при созревании плотного навоза (по В. Н. Былинкиной), млн. в 1 г массе

Группы микроорганизмов	Исходный материал	Срок, прошедший со времени закладки навоза			
		15 дней	1 мес.	2 мес.	4 мес.
Бактерии	960	2600	1800	140	130
Бациллы	6	15	20	7	6
Актиномицеты	1	1,6	1,8	0,9	1,5

процессы, тем больше теряется ценных и важных для растений веществ — азота и фосфора.

Различают четыре стадии разложения навоза, приготовленного на соломенной подстилке: свежий, полуперепревший, перепревший и перегной. Полуперепревший навоз теряет 10...30% первоначальной массы и такое же количество органического вещества; перепревший навоз теряет около 50% массы и сухого органического вещества; перегной теряет 75% массы, сухого органического вещества и значительное количество азота.

Прежде чем выбирать и разрабатывать методы переработки и удаления отходов животноводства, целесообразно отобрать пробы

отходов, средних образцов и проанализировать их. Отбор проб отходов производить трудно вследствие высокой их концентрации и неоднородности. Поэтому, как правило, пользуются сравнительными данными справочников. Для характеристики жидких и твердых компонентов навоза используют традиционные аналитические методы определения БПК, ХПК, взвешенные твердые вещества и др. Их соотношения (БПК:ХПК) используются для определения возможности применения процессов биохимической очистки конкретных отходов. Малые значения этих отношений указывают на наличие значительной фракции, не поддающейся биохимическому разложению. Например, в сточных водах свиноводческих ферм фракция, не поддающаяся биохимическому разложению или в которой это разложение протекает медленно, может составлять примерно 60 ... 70% всех твердых веществ.

(Табл.9.) Средние потери органического вещества и азота при разных способах хранения навоза в течение 4 мес., %
(данные ВИУА)

Навоз	Навоз на соломенной подстилке		Навоз на торфяной подстилке	
	Орган. вещество	Азот	Орган. вещество	Азот
Рыхлый (горячий)	32,6	31,4	48,8	25,2
Горячепрессованный	24,6	21,6	32,9	17,1
Плотный (холодный)	12,2	10,7	7,0	1,0

3.3. Переработка птичьего помета

История эксплуатации гуано похожа на историю использования человеком многих других земных богатств. Когда-то инки пользовались им благоразумно и торговля гуано поддерживала государственный бюджет, составляя половину всех доходов государства. Гуано имело твердо установленную цену, добыча его велась планомерно, запасы перуанского гуано оценивались более чем в 23 млн. т. Однако уже в первые годы XIX века многое изменилось: залежи начали иссякать из-за активной торговли. И только в последнее время благодаря охране птиц и упорядочению вывоза гуано, толщина слоя удобрений увеличилась в несколько раз.

У нас птичий помет накапливается вблизи птицефабрик, теряет свои ценные качества и представляет постоянную угрозу окружающей среде. Объем отходов, приходящихся на одну птицу в сутки, находится в диапазоне 0,19...0,23 л. Общее энергетическое значение куриного помета составляет от 3,2 до 4,5 кал на 1 г сухого вещества, а содержание азота составляет от 0,03 до 0,07 г азота на 1 г сухого вещества, в зависимости от скармливаемого рациона. По другим данным, энергетическое значение птичьего помета

составляет 1,37 кал/сут. на одну птицу.

Смесь подстилки и помета бройлеров содержит в среднем 25% влаги, 1,7% азота, 0,81 % фосфора и 1,25% калия. В среднем птичий помет содержит 40% влаги, 1,3% азота, 1,2% фосфора и 1,1% калия (табл. 10). Объемы птичьего помета и его состав зависят от вида птицы и технологии ее содержания.

При внедрении на птицефабриках клеточных батарей для содержания птицы стали возникать серьезные проблемы

(Табл.10.) Химический состав птичьего помета, % на сырое вещество

Птица	H ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃
Куры	56	1,6	1,5	0,8	2,4	0,7	0,4
Утки	70	0,7	0,9	0,6	1,1	0,2	0,3
Гуси	76	0,5	0,5	0,9	0,8	0,2	1,1

с удалением и переработкой помета, очисткой и обеззараживанием сточных вод. В целом системы уборки помета несовершенные. В табл. 11 приведены отдельные величины поступления вторичного сырья от птицефабрик, яичного и мясного направления, которые зависят от вида, возраста и поголовья птицы.

Для общей качественной оценки птичьего помета используют в основном такие показатели, как относительная влажность, насыпная масса. Их значения определяют

Табл.11.) Основные показатели качества птичьего помета
(по В. П.Лысенко, 1998)

Показатель	Норма по видам помета		
	с под-стилкой	от молод-няка	от взрослого поголовья
Массовая доля влаги, % не более:	45	65	75
Массовая доля общих форм, % на нормативную влажность, не менее:			
азот	1,8	1,4	1,2
фосфор	0,7	0,4	0,3
калий	0,6	0,5	0,3
Содержание посторонних включений на нормативную влажность, не более:			
с высокой удельной массой (камни, щебень и др.) размером более 50 мм	1,5	1,5	1,5
Содержание тяжелых металлов, мг/кг сухого вещества, не более:			
свинец	30	30	30
марганец	1000	1000	1000
медь	40	40	40

Показатель	Норма по видам помета		
	с под-стилкой	от молод-няка	от взрослого поголовья
кобальт	15	15	15
никель	50	50	50
цинк	80	80	80
Содержание пестицидов (остаточное количество), мг/кг	Ниже или на уровне ПДК почвы		
Титр кишечной палочки	0,1	0,1	0,1
Патогенные микроорганизмы	Отсутствуют		
Яйца и личинки гельминтов	Отсутствуют		

определяют фазовые состояния помета (жидкое, вязкое, сыпучее). Содержание химических элементов характеризует качество помета как сырья для получения концентрированных органических удобрений или кормовых добавок.

Количественный и качественный состав микрофлоры помета весьма специфичен и зависит от вида птицы. В пометной массе в зависимости от условий ее хранения число микроорганизмов исчисляется миллиардами клеток в 1 г и представлены они разнообразными группами: грибами, актиномицетами, дрожжами, бактериями и др. Кроме того, присутствуют бактериофаги, черви, личинки насекомых.

При хранении в помете происходят сложные биохимические процессы: органическое вещество помета разрушается, особенно при рыхлом (аэробном) хранении, накапливаются органические кислоты (при плотной укладке), газообразные продукты (диоксид углерода, аммиак, метан, водород, молекулярный азот, сероводород и т. д.) и другие химические соединения. В этих процессах основную роль играет комплекс микроорганизмов, способных трансформировать органические и минеральные отходы птиц.

Микроорганизмы в известных пределах могут адаптироваться к разным концентрациям органического вещества, температурам, pH и редокс-потенциалам. Экстремальные температуры, высокие концентрации ионов металлов или токсичных химикатов могут снизить или прекратить деятельность микроорганизмов. Однако микроорганизм — сложно организованная биологическая система. Состав бактерий непостоянен и колеблется в зависимости от конкретно используемого ими субстрата.

В фазе роста возможно депонирование питательных веществ, в результате чего химический состав бактериальной протоплазмы изменяется. Микроорганизмы с наибольшей скоростью роста, способные использовать большую часть имеющегося органического вещества будут преобладающими.

Состав микроорганизмов в птичьем помете регулируется, при

необходимости управляется, особенно при его переработке. Преобладание тех или иных форм микроорганизмов в биологических системах может иногда служить показателем эффективности процесса биоконверсии помета или сточных вод и условий среды в системах. Большое межвидовое разнообразие в помете бактерий или интродукция в него специальных штаммов позволяет технологам перерабатывать помет с получением новой продукции заданного физико-химического состава и биохимических характеристик.

Необходимо только всегда помнить о бактериальных загрязнениях помета и сточных вод патогенными микроорганизмами, вызывающими инфекционные заболевания: брюшной тиф, паратиф А и Б, дизентерию, инфекционный гепатит и др.

3.4. Утилизация навоза свинооткормочных комплексов

Как известно, отходы свиноводческих комплексов удаляются гидросмывом и представляют собой сточные воды, содержащие 1...2% взвешенных веществ. На одном комплексе в 100 тыс. голов ежегодно получается до 1 млн. м³ стоков или 4 тыс. т сухой биомассы. Влажный кал содержит 5...9% общих сухих веществ, в том числе 83% органических веществ. Основная масса твердой фракции представлена целлюлозой, а азот, фосфор и калий удаляются с жидкой фракцией. Влажность твердой фракции высока — 70%, углерода — 48...50%, азота — 0,9...1,1%, фосфора — 2,5...3,8%.

Микробиологическая характеристика отходов свиноводческих комплексов весьма сложная. Особое внимание следует обратить на гельминтологическую характеристику: на свиноводческих комплексах циркулируют до 50 разновидностей гельминтов. Максимальное накопление макро- и микропаразитов и их разнообразие отмечается в осенний период. Присутствуют также патогенные бактерии, вирусы, грибы, простейшие и др. Поэтому обеззараживание отходов свиноводческих комплексов имеет очень важное значение.

Утилизация сточных вод свиноводческих комплексов до сих пор организована плохо, и прежде чем разрабатывать способы утилизации, необходимо подобрать методы обеззараживания и дезодорации. Существуют биотехнологические подходы, способствующие уничтожению нежелательной биоты (макро- и микрофлоры), но требуется дезодорация твердой фракции отходов путем дополнительной ферментации с термофильными целлюлозоразрушающими бактериями. Технология должна превращать стоки в те или иные полезные продукты (биокомпосты, органические удобрения, кормовые добавки и др.) с одновременным удалением поллютантов.

Активный ил очистных сооружений при аэробной переработке свиноводческих стоков представлен в основном бактериальной флорой. В биоценозе преобладают (до 70%) коринеподобные бактерии (*Phodococcus*, *Arthrobacter*, *Mycobacterium* и др.), т. е. микроорганизмы, способные осуществлять биологические трансформации широкого круга веществ, в том числе трудноокисляемые органические субстраты.

Отходы свиноводства, которые хранятся в анаэробных условиях, по

прошествии длительного времени сохраняют весьма неприятный запах, особенно при удалении из свинарника или запаховании в почву. Это связано с химическим составом свиного навоза (табл. 12).

(Табл.12.) Химический состав не разбавленного водой бесподстилочного навоза свиней

Химический состав	Экскременты, % (комплекс на 108 тыс. голов)
Сухое вещество	9,8
Азот общий	0,72
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,47
Калий (K ₂ O)	0,21
Отношение P:K при N=1	0,7:0,3

В бесподстилочном навозе от 50 до 70% азота находится в растворенной форме, органическое вещество составляет 70 ... 80% сухой массы. Органическое вещество кала представлено в основном структурными веществами с высоким содержанием углерода — целлюлозы, лигнина, пентозанов (табл. 13). Состав навоза существенно меняется в процессе хранения и зависит от системы их удаления

(Табл.13.) Состав органического вещества экскрементов свиней (%)

Компоненты органического вещества	Содержание компонентов, %
Зола	13,6
Общее органическое вещество	86,4
в том числе:	
целлюлоза	18,4
лигнин	15,2
пентозаны	20,7
Растворимые углеводы	0,38
Гемичеселлюлоза	27,0

и способов хранения. Свиной навоз помимо целлюлозных компонентов содержит в большом количестве пентозаны, крахмал, большое количество азота, фосфора, калия и других минеральных элементов и микроэлементов.

3.5. Традиционное компостирование природного органического сырья

Компостирование — это экзотермический процесс биологического окисления органических субстратов смешанной популяцией микроорганизмов. В результате биодеградации исходных компонентов образуется стабильный гумифицированный конечный продукт — ценное органическое удобрение. В процессе компостирования органические вещества переходят в более стабильную форму, выделяется диоксид углерода, вода и повышается температура. Стабилизируется также отношение углерода к азоту C:N в значениях 25...30:1. Компостирование общепринято считать наиболее экологичной и экономичной технологией получения органического удобрения.

Природное органическое вещество (сырье) — торф, сапрпель, экскременты животных и человека, бытовые и промышленные отходы — для более полного и эффективного использования в земледелии требуют компостирования. Компостирование биологическим, биотермическим или химическим способами, а иногда и просто смешиванием отдельных видов и форм удобрений перспективно по многим причинам, так как позволяет:

- включить в промышленно-биологический круговорот дополнительные ресурсы органического сырья;
- увеличить выход органических удобрений;
- повысить агроэкономическую эффективность навоза;
- улучшить качество основного органического удобрения — навоза, получая наиболее стабильные органические соединения, продукты распада, биомассу микроорганизмов и продукты химического взаимодействия этих компонентов;
- предотвратить загрязнение окружающей среды (полей, водоемов, прилегающих к животноводческим объектам территорий) от возбудителей болезней животных, человека и растений.

Наиболее широкое распространение получили компосты на торфяной основе с использованием навоза, птичьего помета, а также твердых бытовых и промышленных отходов. Для мобилизации азота торфа необходимо приготовление биологических компостов с добавлением не менее 10% навоза, птичьего помета или фекальных масс.

Виды компостов: торфонавозный, торфожижевой, торфофекальный, торфопометный и сборные. Основной принцип процесса компостирования — взаимодействие между органическими отходами, микроорганизмами, влагой и кислородом. Микробиологическая активность возрастает, когда содержание влаги и концентрация кислорода достигают необходимого уровня. Потребляя органические отходы как источник питания, микроорганизмы активно размножаются, выделяя определенные метаболиты и энергию. Часть энергии, образующейся при биологическом окислении углерода, расходуется в метаболических процессах, остальная выделяется в виде тепла.

Компостирование осуществляют сообщества микроорганизмов различных групп: микрофлора — бактерии, актиномицеты, грибы, дрожжи (наибольшее значение имеют термофилы), водоросли, вирусы (живут на организмах-хозяевах: бактериях или актиномицетах); микрофауна — простейшие; макрофлора — высшие грибы (растут на кучах компоста, образуя плодовые тела); макрофауна — двупароногие, многоножки (растительоядные, хищники), клещи, ногохвостики (среди них есть хищные и растительоядные), черви (дождевой червь *Eisenia foetida* — весьма важен для переработки и компостирования навоза), а также муравьи, термиты, пауки, жуки.

В процессе компостирования принимают участие множество видов бактерий, (более 2000) и не менее 50 видов грибов. Эти виды можно подразделить на группы по температурным интервалам: психрофилы — температура развития ниже 20°C, мезофилы — от 20 до 40°C. Количество бактерий в компосте может достигать до 10⁸...10⁹ клеток на грамм влажного

компоста, численность актиномицетов — 105...107. Компосты также богаты термофильными и термотолерантными микроорганизмами (бактерии, бациллы, актиномицеты).

Содержание микроорганизмов в компостах зависит от химического состава исходных компонентов, их физического состояния и свойства навоза. Лучший навоз, как известно, получается при кормлении животных грубыми кормами, травой на пастбище, сеном, отрубями, соломой от бобовых культур и др.

Правильное компостирование растительных остатков и навоза предусматривает *ферментацию* исходных компонентов в кучах, буртах, траншеях и т.д. Компост может быть с почвой и без нее — это смесь разного вида органических отходов, способных перегнивать, трансформироваться и превращаться в доступные растениям элементы питания. Иногда для ускорения процесса ферментации добавляют «закваску» из готового компоста, обильно насыщенного макро- и микроорганизмами.

Традиционно используемая технология получения компостов неинтенсивная; она занимает много времени и дает продукт невысокого качества. Такое компостирование — естественный биологический процесс, требующий обязательных условий аэрации и влажности, определенного содержания в компостируемой массе азота и углерода и сохранения в ней определенного температурного режима. При 60°C компостирование протекает эффективнее.

В промышленных масштабах закладываются бурты длиной до нескольких десятков метров, шириной в несколько метров, высотой в 1,5...2м. Если происходит закладка отходов в контейнер и траншею, то высота может быть от 1 до 1,2 м. За температурой необходимо следить и регулировать. За сутки температура в куче поднимается до 50° и выше. Компостируемый материал разогревается быстро — это зависит от его состава, консистенции и погодных условий.

Для хорошей аэрации компостной кучи снизу укладывают аэраторы: ветки, толстые стебли подсолнечника или кукурузы и др. Оптимальная влажность поддерживается в пределах 60...70%.

Таким образом, традиционные способы переработки навоза и помета — использование их в качестве только удобрения — нерациональны: теряется много энергии, потребляемой в животноводстве. Кроме того, внесение высоких (более 50 т/га) доз навоза снижает физические свойства почвы и ее плодородие и, самое главное, ухудшает условия окружающей среды в целом. Поэтому необходимо применение биотехнологий для ускоренного компостирования и утилизации отходов животноводства, сохранения питательных веществ в них и биологической активности.

3.6. Вермикомпостирование

Утилизация отходов животноводства осуществляется с помощью червей. Перерабатывают сточные воды, ил сточных вод, пищевые отходы и получают органические удобрения, или биогумус.

При утилизации жидкого навоза добавляют солому, древесные опилки,

кору и другие твердые растительные отходы. Черви «перерабатывают» углеродсодержащие продукты, превращая их в высокоценное удобрение. Предварительно отходы подвергаются механической сепарации и из твердой фракции формируют невысокие бурты; навоз же используют только после брожения, в процессе которого выделяется аммиак и метан. После такой подготовки субстрат заселяют червями. Органические отходы, проходя через кишечник червя, подвергаются биохимическим изменениям, обогащаются макро- и микроэлементами, микрофлорой и ферментами.

Вермикомпостирование — переработка различных органических субстратов красными дождевыми червями (Еисения фозетида, Ломбрикус рубеллус, Красный гибридный). Отходы животноводства предварительно ферментируют, а для ускорения процессов ферментации и освобождения от аммиака бурты с исходным субстратом обильно поливают водой и периодически аэрируют. По истечении 1...1,5 мес. на поверхность бурта вносится маточная культура червей из расчета 10...12 тыс. на 1 м² поверхности. Из всех видов дождевых червей, существующих в мире, лишь немногие поддаются разведению в искусственных условиях. Наиболее универсальными по своим характеристикам, экономически выгодными являются навозные черви. Они нетребовательны к пище, практически всеядны.

Красный дождевой червь имеет длину 6...100 мм, цвет темно-красный, еженедельно дает 1...2 кокона, из которых приблизительно через 3 недели выводится от 2 до 20 червячков (из них в живых остается примерно 4). В оптимальных условиях при выращивании на отходах червь может еженедельно откладывать по 3 ... 4 кокона. Через 3 мес. появляются из кокона червячки, становятся половозрелыми и могут сами производить потомство. В среднем один червь дает потомство 200 ... 400 особей в год.

Наиболее активен калифорнийский червь, он обладает большой плодовитостью. Половой зрелости они достигают в возрасте 3-х мес. При оптимальных условиях они дают потомство около 1500 особей в год. В каждом коконе насчитывается 2 ... 20 яиц. Продолжительность жизни червя 16 лет.

Черви чрезвычайно чувствительны к аммиаку, который выделяется в разлагающихся отходах. Поэтому для использования в качестве источника питания пригодны только частично разложившиеся отходы. Допустимый уровень содержания в них аммиака 0,5 мг/кг субстрата. При более высоком содержании аммиака черви погибают, вот почему не применяют в качестве питательного субстрата свежий навоз или навоз с мочой животных. В кишечнике червей происходит массовое размножение некоторых групп микроорганизмов, состав которых зависит от состава субстрата.

Вследствие этого в копролитах червей стимулируется развитие грибов и бактерий. В вермикомпосте по сравнению с исходным органическим субстратом увеличивается численность агрономически полезных микроорганизмов: аммонифицирующих, нитрифицирующих и целлюлозоразрушающих.

Субстрат для содержания червей может быть самый разнообразный.

Можно использовать различные органические отходы сельского хозяйства и промышленности. Основой любого рациона червей должен быть навоз, к которому добавляются в той или иной пропорции другие органические компоненты. Однако каждый компонент корма необходимо подвергать дроблению, помолу, размачиванию и в конечном итоге процессам гниения и ферментации.

Конский навоз содержит значительное количество целлюлозы и потому удобен для стратификации и питания червей. Продолжительность процесса ферментации его 5...6 мес. Навоз крупного рогатого скота отличается высокой щелочностью и в смеси с 20...25% дробленной соломы после 6...8 мес. ферментации представляет ценный субстрат для стратификации и питания червей. Навоз бычков по физико-химическим и питательным характеристикам аналогичен навозу коров. Однако при откорме бычков часто используют белковую пищу, а при содержании в навозе 40% протеина черви погибают. Навоз овец также используют как субстрат для содержания червей, несмотря на то, что он имеет высокую щелочность.

Свиной навоз широко используют для вермикультивирования, но он имеет высокий уровень кислотности и содержит большое количество протеина. Поэтому к нему добавляют 30...40% соломы или картона, увеличивая продолжительность ферментации до 9...10 мес., и постоянно контролируют рН.

Куриный помет относится к высококислотным субстратам, поэтому к нему необходимо добавлять солому или картон в отношении 1:1, ферментацию осуществляют 15...16 мес. Закладывать в ложе не рекомендуется навоз, не прошедший до конца процесс ферментации, а также — смешанный с мочой животных и хранившийся в навозохранилище более 2 лет после ферментации. Кроме того в буртах необходимо поддерживать влажность 75...80 % и следить за колебаниями температуры. Стабильная температура (температура окружающей среды) является показателем окончания ферментации и пригодности субстрата для кормления червей.

Во избежание излишнего перегревания компостируемой массы и выделения токсичных газов навоз рекомендуется укладывать слоями и с интервалом в две недели. Плотность заселения червями - 40...50 экземпляров и при оптимальной влажности. В целях поддержания благоприятной для жизнедеятельности червей температуры (20...25°C) компост укрывают соломой; а в некоторых случаях – пленкой.

При проектировании вермикомпостного хозяйства рассчитывается количество лож, на которых черви будут размножаться; необходимый объем пищи для червей, наличие источников водоснабжения. Вода для увлажнения субстрата должна отвечать определенным требованиям. Участки для буртования и ферментации субстрата должны находиться на территории хозяйства или вблизи него. Желательно также предусмотреть пути транспортировки субстрата к ломам (рис.1).

Ложа лучше всего устанавливать на участках с определенным уклоном для обеспечения хорошего стока воды во время дождей и исключения образования луж. Подстилаящая почва должна быть песчаной или

каменистой, не должно быть следов крота. Следует выбирать места, защищенные от ветра.

Ложа изготовляются из металлической оцинкованной сетки с очками-ячейками 15x15 мм (рис.2)

Площадь ложа 2x2 (2x1) , высота 15...30см. В таком ложе могут находиться 50...100 тыс. особей различного возраста и коконы с яйцами. Ложа размещаются секциями длиной до 50 м с расстоянием между ними 0,4...0,8 м .Две Секции образуют сектор. Расстояние между секторами 2,5...3м. Не исключается применение оригинальных конструкций, разработанных для конкретных условий.

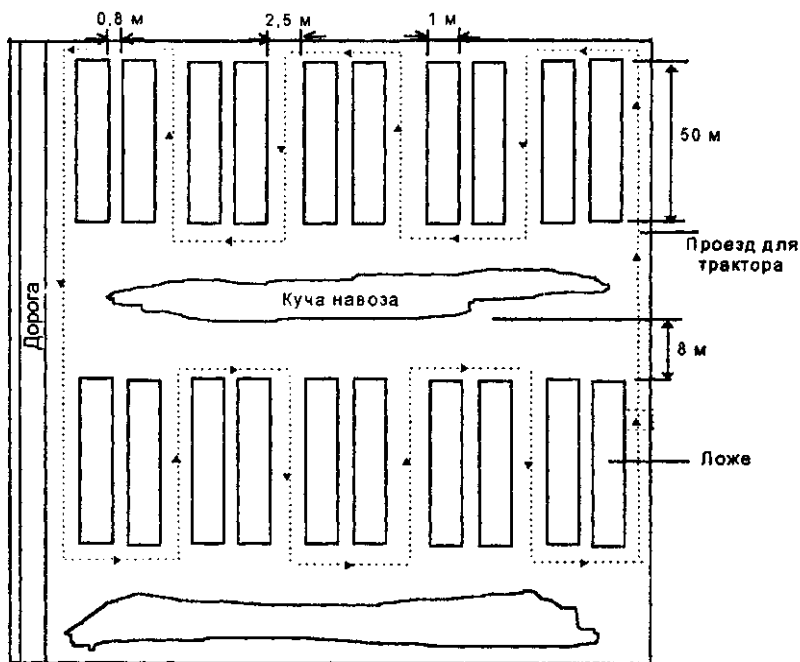


Рис. 1. Схема участка для вермикомпостирования

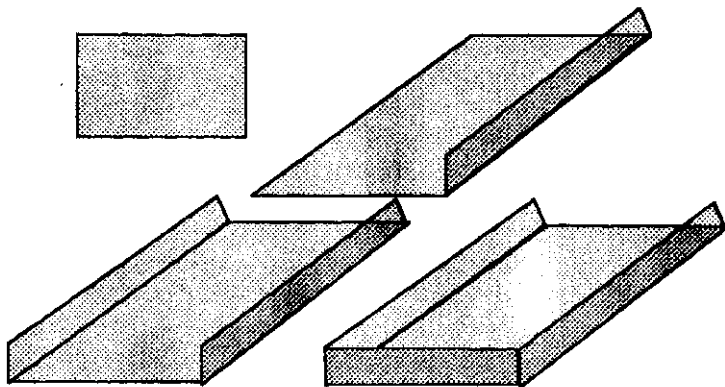


Рис. 2. Схема каркаса сетки для ложа

В закрытых помещениях червей можно культивировать на бетонном полу (с устройством лож) и на стеллажах деревянных, металлических или пластиковых ящиках, располагая их этажами. В закрытых помещениях 1...2м площади дает в два раза больше товарной биомассы, чем на открытом воздухе. Значительно выше также выход органического удобрения.

3.7. Выращивание личинок синантропных мух (опарышей)

Переработка отходов с использованием личинок некоторых видов синантропных мух позволяет предотвратить загрязнение среды и трансформировать навоз, птичий помет в полезные для человека продукты в 20 раз быстрее, чем это происходит в природе. Мухи высокоплодовиты, обладают быстрым темпом роста, развиваются в органических отходах влажностью от 20 до 95% и при pH от 4,5 до 9,0. В нашей стране создана специальная популяция мух для утилизации органических отходов человека и животных. С каждой тонны отходов можно получать не менее 500 кг биоперегноя и до 200 кг биомассы личинок.

В результате жизнедеятельности личинок значительно снижается бактериальная обсемененность утилизируемых отходов. В процессе питания личинок мух исходный субстрат превращается в сыпучую дезодорированную массу — «биоперегноя». Это эффективное удобрение с высоким содержанием гумифицированного органического вещества, сбалансированного по содержанию азота, фосфора и калия. Внесение его в почву увеличивает урожай сельскохозяйственных культур в открытом и защищенном грунте, повышает иммунитет растений, ускоряет их рост и развитие, снижает инфекционный фон почвы и почвогрунтов. Используется также как основной компонент в компосте для выращивания шампиньонов.

За 5 дней из 1 т органических отходов животноводства, имеющих pH от 4,5 до 9,0 и влажность от 20 до 90%, получают до 50% «биоперегноя» и до 20% биомассы насекомых. Биомасса личинок используется как кормовая добавка в виде пасты, муки или гранулята взамен мясокостной и

рыбной муки. Содержит до 60% белка с полным набором аминокислот, в том числе и незаменимых аминокислот, до 30% легкоусваиваемого жира, до 20% углеводов, биологически активных соединений, витаминов группы В, стимуляторов роста. Включение биомассы личинок в рацион цыплят в количестве 11,5% позволяет заменить до 40% пищевых продуктов (пшеница, ячмень). Биомасса используется также при откорме свиней, пушных зверей.

Помимо перечисленных продуктов, технология переработки навоза и птичьего помета личинками мух позволяет получать хитозан — биополимер из хитиновых оболочек личинок мух. Он может быть использован как сырье для фармацевтической промышленности, так как обладает способностью выведения радионуклидов из организма человека и животных, из воды и почвы. В медицине может использоваться как средство лечения некоторых видов лейкемии, как материал для саморассасывающихся нитей хирургических швов, контактных линз, а также медицинских препаратов заживления ран, в том числе язвы желудка. Хитозан применяется при изготовлении особо ценных сортов бумаги на Гознаке и в картографии.

Технология утилизации отходов животноводства с помощью личинок синантропных мух была известна более полувека назад (с 1937г.). Технология утилизации нативного бесподстилочного навоза свиней с помощью комнатной мухи разработана под руководством академика Л. К. Эрнста. Однако, несмотря на ее высокую эффективность и ценность, широкого применения она не нашла ни в России, ни за рубежом.

На рис. 3 представлена схема конструкции модуля по переработке отходов с помощью личинок мух. Конструкция довольно проста, состоит из транспортной системы для перемешивания поддонов с навозом или пометом, совмещенной с системой термостатирования. Лотки располагаются в несколько этажей с максимальным использованием объема помещения; перемещение поддонов в лотке обеспечивает рациональное использование тепла для подогрева навоза или помета на первых этапах переработки. Установка снабжается блоком экологического контроля, что гарантирует экологичность производства.

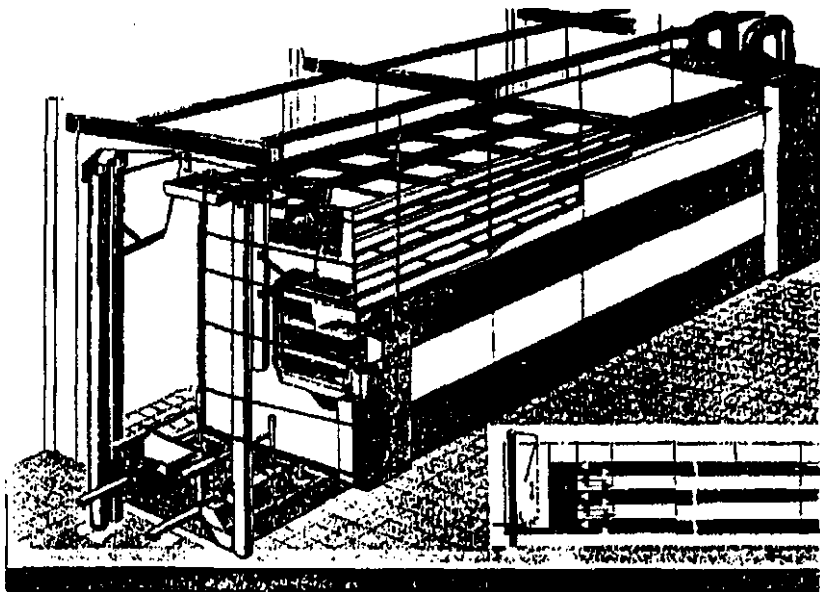


Рис. 3. Комплексная установка биоконверсии отходов животноводства личинками синантропных мух.

Строительная площадка цехов для утилизации по данной технологии, даже на экспериментальных установках, не будет превышать 10...15% от площади животноводческой фермы.

Кроме вышеперечисленных биотрансформаций отходов существуют технологии переработки органических отходов животноводческих комплексов *беспозвоночными животными, простейшими* и другими организмами.

Простейшие — это одноклеточные организмы, способные усваивать растворимые и нерастворимые питательные вещества в системах аэробной обработки сточных вод. Среди них встречаются жгутиковые, реснитчатые и стебельковые реснитчатые.

Сооружения с активным илом, свободные от простейших, дают крайне мутный сток. Эта мутность создается присутствием большого числа диспергированных бактерий. В результате БПК и содержание неосажденных твердых веществ в стоке очень высоки. При добавлении в эти установки реснитчатых простейших повышается качество стока и снижается численность бактерий.

Простейшие (жгутиконосцы и инфузории) являются активными участниками процесса разложения органических соединений сточных вод. Жгутиконосцы, подобно бактериям, всасывают и перерабатывают органические соединения. Кроме того, они питаются бактериями, заглатывая их через ротовое отверстие. Инфузории — активные фильтра-торы, также поглощающие бактерии. Этим они разреживают плотность бактериальной массы, стимулируют непрерывный процесс размножения бактерий и,

омолаживая бактериальную флору активного ила очистных сооружений свинооткормочных комплексов, активизируют ее деятельность.

Дальнейшая дезодорация и обезвреживание твердого отхода путем ферментации с применением термофильных микроорганизмов при температуре 60...80°C в течение 3...4 сут позволяет получать высокоактивное органическое удобрение. Утилизация твердой фракции отходов свиноводческих комплексов может иметь следующие решения:

- грунт для выращивания овощей в теплицах;
- компосты или биоорганические удобрения;
- субстрат для получения микробного кормового белка;
- субстрат для выращивания пищевых грибов *Pleurotus florida* (биомасса плодовых тел вешенки или белковая добавка для скота).

4. Микробиологические способы утилизации отходов

4.1. Переработка твердых и жидких отходов микроорганизмами

Особую опасность представляют отходы промышленного производства. Навозные стоки при соответствующей переработке не потеряли свою значимость как ценное органическое удобрение. К тому же, микробная биотехнология способна вовлечь в производство кормовых препаратов и добавок огромные массы жидких и плотных отходов АПК растительного и животного происхождения, которые в настоящее время не используются. Самыми перспективными являются быстрорастущие микроорганизмы, способные усваивать негидролизированные сельскохозяйственные отходы в относительно стерильных или полностью нестабильных условиях, в глубинных и поверхностных структурах.

Ведущая роль в процессе переработки органических отходов принадлежит микроорганизмам. В зависимости от вида и качества отходов в них присутствуют определенные доминирующие группы бактерий, которые и определяют выбор технологии утилизации. Одним из возможных способов утилизации жидких навозных стоков является их биологическая переработка, включающая получение технических и кормовых микробных препаратов. Это позволяет быстро и эффективно перерабатывать значительные количества отходов. Биологическая утилизация может осуществляться по следующим направлениям:

- культивирование микроорганизмов на предварительно обработанном навозе (обработка кислотами, щелочами, термообработка и т. д.);
- культивирование на жидкой фракции навоза после разделения в отстойниках, цистернах и т. д.;
- выращивание мицелиальных грибов на плотной фракции навоза;
- культивирование микроорганизмов на сточных водах без предварительной обработки.

Для ферментации навоза используют, как правило, мицелиальные грибы родов *Aspergillus*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Rhizopus*, *Geotrichum*, *Micromyces*. На жидких фракциях выращивают бактерии термофильные (*Lactobacillus*, *Strepto-bacterium*) и мезофильные (*Streptococcus*,

Azotobacterium, Pseudomonas). Ферментацию проводят при 30...38°C в течение 7...14 сут. Подобные способы получения кормовых препаратов из навоза разработаны в Японии, Великобритании, США и других странах. На сточных водах животноводческих комплексов выращивают также дрожжи (родов *Pichia*, *Hansenula*, *Saccharomyces*, *Candida*) для получения кормового белка.

Например, из 20 т свиного навоза влажностью 80% можно получить 1 т кормовых дрожжей и значительное количество удобрений.

Применяют твердофазное культивирование грибов на твердом навозе, с добавлением к свежим свиным фекалиям отрубей пшеницы, риса и др. Известен способ получения кормового белка на целлюлозном субстрате с добавлением навоза в качестве источника минеральных элементов. Питательная ценность этого препарата сравнима со стандартами ФАО. Однако твердофазное культивирование непригодно для навозных стоков.

Целлюлозная, и в особенности целлюлозно-лигнинная, активность микроскопических грибов обеспечивает возможность их использования для прямой биоконверсии лигноцеллюлозных отходов агропромышленного комплекса. Грибы могут культивироваться и на жидких средах, содержащих лигко-целлюлозный компонент. Твердофазная ферментация отходов с использованием грибов широко распространена в Европе и США. Грибы выращивают на гидролизованном твердом осадке навоза, смешанном с резанной соломой, любой твердой целлюлозосодержащей среде с добавлением навоза или минеральных удобрений, а быстрорастущие штаммы фузариев - на разных целлюлозо-лигнинсодержащих отходах.

При прямой биоконверсии плотных отходов АПК большее преимущество отдается термофильным миксомицетам. Они отличаются множественностью форм ферментов по сравнению с мезофилами, что делает их более адаптивными к внешним термическим условиям. Наиболее перспективными продуцентами биомассы и белка могут оказаться термофильные миксомицеты, обладающие к тому же способностью расти в необычных условиях кислотности среды, например, в сильно щелочной среде. При этом создаются избирательные условия для роста грибка, ингибируются бактерии и другая микрофлора, позволяющая рост грибных культур.

Биотрансформация растительного сырья дрожжеподобными грибами, имеющими короткую лаг-фазу, обладающими комплексом гидролитических ферментов и более стабильным ростом в условиях микробных сообществ, перспективна в относительно стерильных или даже нестерильных условиях (Минеладзе, 1987). Известна возможность выращивания дрожжей рода *Candida* и на негидролизованном навозе. В результате процесса ферментации образуется продукт, который можно использовать в качестве добавки к корму. Повышенная эффективность в биосинтезе белка отличается у ассоциаций дрожжей с мицелиальными грибами и бактериями, в которых, как правило, грибы и бактерии играют главную роль в подготовке субстрата, а дрожжи являются основными продуктами микробной биомассы. Сократить себестоимость производства белковых препаратов из отходов можно

исключив дорогостоящий кислотный гидролиз.

Для глубинного культивирования бактерий основной питательной среды служат фекалии животных. Они проходят предварительную обработку (разбавление, дезодорацию, тепловое воздействие). Далее к навозу добавляют органические питательные вещества (глюкозу, мелассу, метанол), соли и витамины и получают среды, на которых выращивают термофильные и мезофильные бактерии в течение 7...14 сут.

На отходах свиноферм выращивают дрожжи, которые способны снижать органические загрязнения в среднем по БПК на 90%. Рекомендуется также культивировать бактерии и микроводоросли, способные к быстрой минерализации субстрата. Для обработки сточных вод, содержащих свиной навоз, предлагается использовать фототрофные бактерии рода *Rhodospseudomonas capsulata*, пропионово-кислые бактерии и др. При этом существенно сокращается углерод в субстрате, уменьшается неприятный запах и снижаются серосодержащие вещества.

Практически все группы микроорганизмов (бактерии, грибы, актиномицеты, дрожжи) могут быть использованы в большей или меньшей эффективности в биотрансформации так называемого вторичного сельскохозяйственного сырья. Установлена высокая эффективность использования целлюлозолитических бактерий (*Cellulomonas*) при введении в состав растительных силосов совместно с соломой. Перспективна биотрансформация коричневого сока зеленых растений молочнокислыми бактериями (*Lactobacillus*) с целью стабилизации белковых веществ сока, обогащения его органическими кислотами и пробиотическими свойствами (Рамище и др., 1987). Ацидофильные бактерии выращиваются на навозной жиже с добавлением некоторых легкоусваиваемых источников углерода (меласса, метанол, глюкоза). Получаемая при этом биомасса содержит до 71,1% сырого белка. Культивирование пропионовокислых бактерий на разбавленном свином навозе позволяет получить белковый препарат с содержанием сырого протеина 29,6-36,5%. При добавлении к разбавленному свиному навозу молочной сыворотки после ферментации пропионовокислых бактерий при температуре 20-30 С в течение 42-48 часов можно получить препарат, обогащенный белком и содержащий в тоже время значительное количество витамина В₁₂.

Следует отметить, что наиболее интенсивно процесс протеинизации вторичного сельскохозяйственного сырья идет при активном перемешивании, аэрации, повышенной температуре и использовании термофильных бактерий в качестве продуктов и обогатителей конечного продукта. Однако такая интенсификация процесса биотрансформации сырья сопровождается активной аэрацией, перемешиванием, которые неизбежно требуют значительных затрат на его реализацию.

Существует еще один способ утилизации сельскохозяйственных отходов путем выращивания бактерий в анаэробных условиях с получением биогаза и плотного остатка как ценного органического удобрения.

Обработка разжиженных отходов (1-4% сухого остатка) анаэробной ферментацией с производством биогаза становится реальной только при

сгущении жидких экскрементов седиментацией. Высокая степень сгущения исходного навоза позволяет повысить энергетический коэффициент анаэробной переработки.

Микробиологические трансформации предпочтительнее химических или физических процессов в силу осуществления одновременно совокупности реакций в естественных условиях. Кроме того, микроорганизмы способны модифицировать субстрат и использовать неосвоенные элементы среды. В результате широкого спектра субстратной специфичности их ферментов микроорганизмы имеют преимущества перед макроорганизмами и техническими способами переработки органических субстратов. Нельзя забывать также, что микробиологическая трансформация перерабатываемых субстратов решает важнейшую задачу преобразования энергии микроорганизмов и «отходов» в необходимые человеку продукты.

4.2. Особенности выращивания дрожжей на отходах Животноводства

Биоконверсия комплексных отходов сельского хозяйства представляет реальную возможность получения значительных количеств белковых продуктов кормового назначения. Дрожжи являются наиболее перспективными в такой биоконверсии. Они растут значительно интенсивнее на средах, содержащих плотные включения. На отходах свиноферм выращивают дрожжи способные снижать органические загрязнения в среднем по БПК на 90%. Жидкие навозные стоки свинокомплексов содержат 0,5-2,0% сухих веществ, возможно - 4,0-4,5% и около 1% растворенных и 3,0-3,5% взвешенных веществ. Для плотности добавляют отходы других производств, что повышает удельную скорость роста дрожжей и увеличивает их продуктивность. Получение дрожжевой биомассы на жидких сельскохозяйственных отходах сопровождается изъятием из этих субстратов основной массы органических веществ, способных загрязнять окружающую среду, и является эффективным этапом подготовки таких трудноперерабатываемых отходов как жидкий навоз, к переработке в сооружениях биологической очистки.

В ходе переработки низких отходов путем глубокого культивирования дрожжей происходит значительное снижение числа сбрасываемых в окружающую среду живых микроорганизмов, среди которых возможно присутствие и условно-патогенных микроорганизмов, играющих значительную роль в инфекционной патологии животных и человека.

Возможно выращивание дрожжей и без соблюдения условий строгой асептики. На навозных стоках лучше всего растить дрожжи рода **Candida sp.** Собственная бактериальная флора навозных стоков не подавляет роста дрожжей.

В дрожжевых культурах на нестерильных стоках отмечается более высокий выход сырого протеина в получаемых дрожжевых препаратах (Борисенко, 1990; международный патент № 475824, Австрия, 1976). При

этом отмечается возможность формирования метаболитов микроорганизмов навоза, которые могут, в свою очередь оказывать благоприятное воздействие на рост дрожжей. Не исключена возможность изменения химического состава навозных стоков в процессе их стерилизации. Выращивание дрожжей на нестерильных стоках почти полностью снимает специфический запах навозных стоков, в то время как при стерильном культивировании этот запах сохраняется.

Максимальный синтез белка дрожжами рода **Candida** отмечается на жидких навозных стоках при подборе оптимальных условий их питания. Условия программы оптимизации, синтеза дрожжевого белка и результаты ее реализации представлены в таблице 15.

(Табл.15.) Оптимизация питательной среды для дрожжей из жидких навозных стоков.
(Борисенко, 1990)

концентрация сухих веществ %	содержание		выход	
	азота	фосфора	комплексного препарата	сырого протеина
	г/л			
3,5	0,095	0,340	16,5	5,60
4,0	0,100	0,400	23,6	7,20
4,5	0,106	0,460	23,8	6,90
5,0	0,111	0,530	29,7	6,50
5,5	0,116	0,600	33,1	6,00

В практике переработки отходов нередко создаются условия усложняющие ход процесса, особенно нестандартность исходного сырья. Жидкие навозные стоки, в зависимости от метода уборки экскрементов животных (гидросмыв, самосплав, комбинированные методы), по химическому составу могут чрезвычайно варьировать. Содержание сухих веществ обуславливает различную активность и продуктивность дрожжей, что связано с качеством кормов, системой уборки и хранения животноводческих отходов, применением различных химических антисептиков при кормлении и дезодорации животноводческих помещений.

Кроме того, навозные стоки могут передерживаться в коммуникациях и резервных емкостях животноводческих комплексов от нескольких часов до многих суток, что сопровождается развитием в таком материале специфической микрофлоры, способной изменить биохимические характеристики исходного сырья. Эти изменения могут оказывать отрицательное и положительное влияние на рост дрожжей, культивируемых на жидких навозных стоках. Должен быть процесс "созревания" отходов и pH 4,5-5,5.

Таким образом, доказана возможность комплексной переработки с помощью дрожжей, твердых отходов животноводства и жидких навозных стоков.

Наряду с получением препаратов, обогащенных микробным белком, достигаются сопутствующие положительные эффекты:

- Нейтрализуются неблагоприятные примеси в исходном сырье;
- Предотвращается загрязнение окружающей среды;
- Обеспечивается большая стабильность экологического

равновесия.

Из стоков извлекается до 90% органических загрязнений и содержащихся в них микроорганизмов. Предварительная обработка дрожжами способствует доведению животноводческих стоков до санитарных норм при последующей их переработке в сооружениях биологической очистки.

4.3. Очистка сточных вод микроскопическими водорослями

Образование огромных масс малоконцентрированных жидких отходов в значительной степени обусловило интерес к микроводорослям, как к возможному фактору биотрансформации подобных отходов. Биомассу водорослей предполагается использовать не только как компонент кормов, но и как исходное сырье для производства пищевых продуктов, витаминов и других ценных веществ (Миллер, 1988).

Недостатком микроводорослей и большинства фотобактерий является их неспособность или весьма низкая способность потреблять такие полимеры как целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин, которые составляют основную массу сухого остатка сельскохозяйственных отходов. В этом плане особо выделяются микроскопические грибы, среди которых достаточно широко распространена способность гидролизовать и потреблять эти высокомолекулярные вещества. Они обладают мощными комплексами целлюлолитических и лигнолитических ферментов, синтезируют как полный набор целлюлаз, так и отдельные ферменты, например ксиланазы, разрушающие более доступную аморфную целлюлозу или гемицеллюлозу.

Производство микроводорослей — безотказный, экологически чистый, энерго- и ресурсосберегающий процесс. В качестве основного источника сырья используются минеральные формы углерода (CO_2 , карбонатов), запасы которых практически не ограничены. Наиболее перспективными являются зеленая водоросль хлорелла, сине-зеленая водоросль спирулина, а также микроводоросль дуналиелла. Биологическая и питательная ценность белков их составляет 48...62%. В 1 кг биомассы водорослей содержится до 30 г р-каротина, 400 г глицерина и белок. По сравнению с традиционным растениеводством удельные затраты энергии на получение биомассы микроводорослей ниже в 3...4 раза. При производстве микроводорослей исключается загрязнение окружающей среды минеральными удобрениями и пестицидами.

Выращивают водоросли в автотрофных и гетеротрофных условиях

открытых водоемов, отстойников, на сточных водах или на установках непрерывного действия. В разных странах мира культивирование сине-зеленых и зеленых микроводорослей находится на разных уровнях: в Европе (Чехия, Германия) — на стадии теоретических разработок и небольших экспериментов, в Японии, Индии и на Тайване оно приобрело промышленный характер.

Водоросли имеют значение там, где в водоемы проникает достаточно солнечного света. Водоросли почти не растут в очень мутной воде, например в установках с активным илом и в аэрируемых лагунах, куда солнечный свет не проникает или где жидкость имеет темную окраску. Конструкция окислительных прудов и их эксплуатация рассчитываются на равновесие между водорослями и бактериями. Первые используют двуокись углерода, соли аммония или нитраты и фосфаты и при фотосинтезе освобождают молекулярный кислород, который используется бактериями в процессе обменного преобразования имеющихся органических веществ. При отсутствии солнечного света фотосинтез прекращается, а эндогенное дыхание водорослей продолжается таким же образом, как и у бактерий. Следовательно, водорослям требуется дополнительное количество кислорода в тех сооружениях, где они имеются.

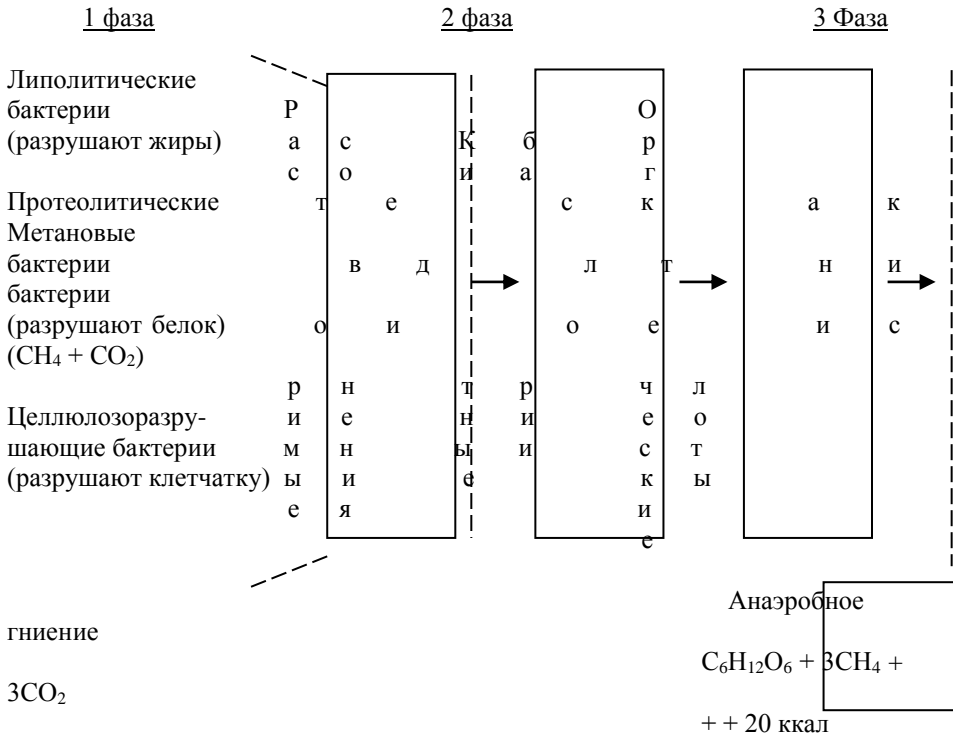
Водный гиацинт (эйхорния) способен расти в сильнозагрязненных водоемах, поглощая разнообразные водорастворимые органические и минеральные отходы, в больших концентрациях. Это полная противоположность водорослям, карантинный сорняк тропической зоны. Мощная корневая система растения совместно с большим разнообразием микроорганизмов ризосферы и ризопланы, сорбированных в слизи корней, принимают активное участие в трансформации и утилизации загрязнений водных стоков. С помощью водного гиацинта можно создать энергосберегающий эстетичный биологический фильтр для сбросных систем.

4.4. Конверсия отходов метанобразующими микроорганизмами

Превращение органического вещества в биогаз — спонтанный природный процесс, протекающий в плохो аэрируемых болотах, илистых грунтах, хранилищах навоза и мусора, а также в пищеварительном тракте животных. Производство биогаза — многоступенчатый процесс, осуществляемый микроорганизмами (схема).

В первой фазе соединения органического сырья (целлюлоза, белки, жиры) в результате гидролиза составляющие компоненты становятся растворимыми, т. е. образуются олигосахариды, пептиды и жирные кислоты. Во второй фазе (кислотной) эти соединения разрушаются до органических кислот (уксусной, муравьиной, молочной, масляной, пропионовой и др.), спиртов

Упрощенная схема получения метана с помощью микроорганизмов



(этилового, пропилового и др.), газов (диоксида углерода, водорода, сероводорода, аммиака), аминокислот, глицерина и др. Процесс осуществляют обычные сапротрофные анаэробные микроорганизмы (масляно-кислые, молочно-кислые, пропионовокислые бактерии и дрожжи) при pH среды 4,5...7.

На третьей фазе (щелочной) происходит дальнейшее разложение веществ, образовавшихся во второй фазе, с получением газа, состоящего из метана, углекислоты, азота и водорода. Процесс осуществляется метанобразующими бактериями — строгими анаэробами.

Метанобразующие бактерии относятся к семейству Methanobacteriaceae (Роды Methanosarcina, Methanobacterium и др.). Оптимальной температурой для них является 35...40° или 65...70°С при pH 6...8. В природе существуют ассоциации между водородовыделяющими и метанобразующими микроорганизмами. Это естественная ассоциация микроорганизмов в рубце жвачных животных.

Ниже дана характеристика микроорганизмов, осуществляющих анаэробное сбраживание органических остатков (метаногенов) по Берджи (1977).

Строгие анаэробы, хемоавтотрофы или хемогетеротрофы всегда образуют метан как продукт катаболизма. Источником углерода и энергии

служат $H_2 + CO_2$, формиат, ацетат, соединения, содержащие метильную группу, — метанол, метиламины, метилсульфиды, метанол + H_2 , либо спирты + CO_2 . Многие штаммы — облигатные или факультативные автотрофы. Источником азота служит аммиак, хотя некоторые штаммы могут также использовать аминокислоты или фиксировать молекулярный азот.

Свободноживущие организмы используют как основной акцептор электронов CO_2 и восстанавливают при этом CO_2 до метана, расщепляя ацетат на CH_4 и CO_2 .

Метаногены делят на три таксономические подгруппы:

Подгруппа 1. *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanothermus* и др., использующие $H_2 + CO_2$, формиат или $H_2 +$ метанол.

Подгруппа 2. *Methanococcus*, *Methanogenium*, *Methanocorpusculum* и др., использующие $H_2 + CO_2$, формиат или спирты + CO_2 .

Подгруппа 3. *Methanococcoides*, *Methanolobus*, *Methanosarcina* и др., использующие триметиламин или ацетат.

Однако австралийские ученые Барнес и Фитцджеральд (1990) предложили эти бактерии разделить на три обширные группы: **первая** включает гидролитические бактерии, обычно называемые ацидогенными, — они обеспечивают начальный гидролиз субстрата до низкомолекулярных кислот; **вторая** — гетероацетогенные бактерии, которые продуцируют уксусную кислоту и водород, **третья** — это метаногенные бактерии, которые продуцируют метан. Последняя группа подразделяется на потребителей водорода (литотрофы) и уксусной кислоты (ацетотрофы).

Метанобразующие микроорганизмы — высокоспециализированная группа бактерий, получающих энергию для своей жизнедеятельности в процессе образования метана. В реакции образования метана участвуют АТФ и витамин В12 (для переноса водорода). В процессе метанового брожения 90% сброженных органических веществ превращается в метан и углекислый газ. Качественный состав газов брожения в значительной степени зависит от состава сбраживаемого материала. При сбраживании жиров и белков больше образуется метана, а распад углеводов дает газ с высоким содержанием углекислоты — диоксида углерода (табл. 14).

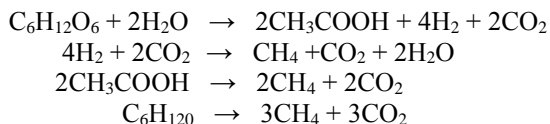
(Табл.14.) Продукты распада органических субстратов при метановом брожении (по И. М. Грачевой и др., 1992)

Уравнение распада	Удельный Выход газа, л/г	Состав газа, %		Плотность газа (кг/м ³) при температуре, °С		Степень распада веществ, %
		CH ₄	CO ₂	0	20	
Углеводы + H ₂ O → 3CO ₂ + 3CH ₄	0,790	50	50	1,38	1,25	64
Жиры + H ₂ O → 2CH ₄ + CO ₂	1,250	68	32	1,13	1,05	70
Белки + H ₂ O → 2CH ₄ + H ₂ + NH ₃ + CO ₂	0,704	71	29	1,08	1,01	47

При анаэробной переработке отходов из 1 кг субстрата образуется до 0,6 м³ биогаза (0,4 л жидкого топлива) и 0,1 кг ила.

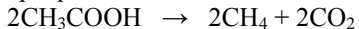
Процесс брожения начинается с гидролиза клетчатки и дальнейшего сбраживания продуктов ее гидролиза.

Микроорганизмы осуществляют метановое брожение по схеме:



Существуют две фазы: *кислотогенная*, при которой выделяется водород, и *метаногенная*. В первую фазу микроорганизмы потребляют кислород и другие окислители (NaNO₃) и создают строго анаэробные условия, затем начинается гидролиз и разложение целлюлозы.

Получение биогаза основано на анаэробном разложении навоза. Во время сбраживания органической массы накапливается водород и органические кислоты: молочная, пропионовая, уксусная — спирты, альдегиды и др. Далее водород трансформируется в метан и воду водородными бактериями; полученную в большом количестве уксусную кислоту метанобактерии превращают в метан по схеме:



Лучшим источником азота для метановых бактерий является минеральный азот (углекислый и хлористый аммоний). Оптимальное соотношение в среде азота и углерода должно быть от 1:12 до 1:20. Брожение в метантенках наиболее активно проходит при pH 6,4...7,2 до 7,8. Оптимальная температура для мезофильных бактерий 32...33°C, для термофильных — 52...53°C. Изменение температуры на 3...4°C может тормозить брожение.

Продолжительность сбраживания органических веществ в термофильных условиях меньше, чем в мезофильных, что позволяет сократить полезный объем метантенков. Кроме того, при термофильном

процессе происходит более глубокое сбраживание органических веществ и производительность метантенков вдвое выше работающих в мезофильном режиме. Недостатком термофильного процесса сбраживания является большой расход теплоты на подогрев среды, большая чувствительность термофильной микрофлоры к колебаниям температуры, а осадок сброженной массы с трудом поддается обезвоживанию.

Перемешивание сбраживаемой массы обеспечивает хороший контакт микрофлоры с питательной средой, равномерное распределение микроорганизмов в объеме, устранение токсических и ингибирующих продуктов метаболизма. Кроме того, перемешивание предотвращает образование осадка на дне метантенка и корки на поверхности, улучшает газообразование, интенсифицирует процесс сбраживания органических веществ.

Тяжелые металлы допустимы в следующих предельных концентрациях, мг/л: хром — 690, медь — 150—500, свинец — 900, цинк — 690, никель — 73. Поверхностно-активные вещества отрицательно влияют на метановое брожение, что проявляется в уменьшении газовыделения, снижении и разложении органических веществ; они ингибируют действие гидролитических ферментов и обменные процессы бактерий.

Положительно влияет на количество микрофлоры наличие в метантенке твердой фазы.

При образовании метана из целлюлозы субстрат претерпевает ряд изменений: целлюлоза под действием гидролитических ферментов расщепляется до глюкозы, которая сбраживается до органических кислот и газообразных продуктов — H_2 и CO_2 . Образование метана из водорода и диоксида углерода протекает с большей скоростью, чем из органических кислот. Таким образом, органические кислоты являются фактором, лимитирующим скорость метаногенеза. Устранение их из культуральной среды повышает скорость метаногенеза и увеличивает выход CH_4 . Увеличение CO_2 приводит к уменьшению скорости образования метана и, наоборот, его резкое уменьшение увеличивает образование метана.

Сокращение образования метана сопровождается накоплением в среде до 4 г/л уксусной кислоты, тогда как концентрация пропионовой и масляной кислот мало изменяется и составляет соответственно 0,6 и 0,2 г/л. Причем независимо от состава газовой атмосферы бактерии полностью используют глюкозу. Высокое парциальное давление метана не подавляет метаногенез.

Эффективность скорости выхода CH_4 при ускоренном разложении зависит или от циркуляции CO_2 , или от эффективного механического перемешивания среды в метантенке. С целью повышения содержания в биогазе метана разработаны методы очистки его от примесей моноэтаноламином (США) и концентрация метана повышается до 95%.

В качестве ко субстрата при анаэробной ферментации свиного навоза в биогаз целесообразно вносить целлюлозосодержащие материалы (солому). Оптимальная концентрация целлюлозы в составе субстрата (навоз с содержанием сухих веществ 2,8...3%) 40 г/л, выход биогаза 0,6 л на 1 г целлюлозы. Общий выход биогаза — 34,6 л на 1 л реакционной смеси: 25 л/л

за счет ферментации целлюлозы и 9,6 л/л за счет навоза.

Используют также бытовые отходы и торф. Например, при анаэробном сбраживании смеси, состоящей из 5 частей жидких отходов животноводства с содержанием 4,38% органического вещества, 2 частей городских отходов с 5% органического вещества, 1 части бытовых отходов с содержанием 21% органического вещества, получают 412 л газа из 1 кг органического вещества.

В нашей стране метановое брожение навоза для получения биогаза и удобрений в небольших масштабах применяли уже в 60-е годы путем метанового сбраживания отходов животноводства и растениеводства.

4.5. Получение органического удобрения

Общеизвестно доминирование природоемких отраслей промышленности, ресурсоемких и энергоемких технологий.

Мировая практика показывает, что экономически эффективным и даже прибыльным может быть такое управление отходами, при котором обеспечивается их селективность. Бумажные и хлопковые отходы являются наиболее "чистыми" отходами. Однако их химический состав не позволяет обоснованно определить круг процессов (термических, физико-химических, механических, биологических, биотехнологических и др.) переработки, методы и средства хранения и транспортирования. Для правильного выбора методов управления отходами необходимы знания их физико-химических свойств, список токсичных соединений (в Российском временном классификаторе их более 130) и индекс токсичности.

Широко обсуждается ряд схем ферментативного гидролиза целлюлозы и превращение хлопкового линта и бумажного скопа в полезное сырье. Интерес к подобным исследованиям обусловлен сугубо научными и прикладными задачами. Специалистов прикладной биохимии и биотехнологии интересуют возможности новых технологий и разработок в получении пищевых продуктов из нетрадиционного сырья, биоконверсии энергии, органических удобрений, бактериальных препаратов и т.д. Одним из первых этапов подобных технологий является изучение закономерностей ферментативной деградации полимерных субстратов с различной реализационной способностью. Известно, что целлюлоза представляет собой биополимер, который может существовать в нескольких полимерных модификациях. Как природная, так и регенерированная целлюлоза является структурно неоднородной, что может направленно изменяться в широких пределах, определяя реакционную способность целлюлозы. В зависимости от физического состояния исходного субстрата, продукты гидролиза целлюлозы, могут представлять собой частично деструктурированную нерастворимую целлюлозу с относительно низкой степенью полимеризации (СП) по сравнению с исходным нерастворимым субстратом. По мере уменьшения СП субстрата скорость ферментативного превращения полимера прогрессивно уменьшается, что часто приводит к фактическому прекращению реакции. При этом глубокая деградация биополимеров происходит, как правило, под действием не отдельных ферментов, а полиферментных систем. По-

видимому, не существует такого “универсального” фермента, который способен был бы достаточно быстро деградировать полимер до соответствующего мономера, действуя эффективно на всех этапах реакции. Совместное же действие ферментов, образующих полиферментную систему, приведет к более эффективной реакции - деградации исходного субстрата, или образованию конечного продукта - по сравнению с действием отдельных ферментов на исходный субстрат. Подобное действие полиферментных ансамблей, заключенных в микробных ассоциациях, представляет собой самую характерную особенность предлагаемой нами биотехнологии (Сидоренко, 2003).

Бумажный скоп подвергается воздействию целлюлаз микроорганизмов компоста высокого нагрева (КВН), целлюлозного комплекса бактериального препарата, созданного на основе микроорганизмов выделенных из почв тропиков (Сидоренко, 2003). Ферментативная деградация скопа изменяет его качество и придает определенные особенности удобрительной смеси. Целлюлазный комплекс микроорганизмов проводит глубокие биохимические изменения скопа. Исходное сырье целлюлозно-бумажного комбината характеризовалось повышенной кислотностью ($pH=5,5$), низкой реакционной способностью и биологической активностью, а также бедным видовым составом микроорганизмов.

За 6 дней эксперимента сформировался новый состав микробного ценоза, существенно изменилась скорость гидролиза скопа, глубина реакций и, соответственно, продукты метаболизма микроорганизмов. Гомогенизированный продукт переработки скопа приобрел 60-65%-ную влажность, темный цвет, многообразие и высокий титр микроорганизмов и запах земли. Биотермокатализ скопа позволяет получать высокоактивное органическое удобрение, и может быть рекомендовано для биоремедиации загрязненных почв и повышения их плодородия.

Подобраны также режимы биоконверсии бумажного скопа при внесении целлюлолитических микробных ассоциаций компоста высокого нагрева, полученного методом термической переработки птичьего помета и навоза крупного рогатого скота (Сидоренко, 2001).

5. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

Для разработки систем утилизации отходов необходимо знать их характеристики. Для более концентрированных животноводческих отходов пригодна биохимическая очистка (жидкие отходы), промышленная переработка, компостирование, внесение в почву, высушивание и т. д. (твердые отходы).

5.1. Утилизация отходов свиноферм

Запах кала свиней обусловлен в основном конечными продуктами бактериального гниения белков. Из органических компонентов в состав кала входят аминокислоты, липоиды, высшие и низшие жирные кислоты, скатол, индол, фенолы, меркаптаны, ферменты и др. При этом содержится: вода 55—

75%, газы (CO₂, H₂S, CH₄), макро- и микроэлементы.

В России около 3600 крупных свинокормочных комплексов. На одном комплексе (108 тыс. голов) ежегодно получают 1 млн. м³ стоков, а всего в России ежегодно образуется до 1,5 млрд. т, причем большая часть отходов из-за отсутствия рациональных технологий не перерабатывается.

Во ВНИИСХМ (С-Петербург) профессором И. А. Архипченко разработана технология переработки отходов свинокормочных комплексов в биоудобрения Бамил (биомасса микроорганизмов ила). Бамил получают, выращивая аэробные микроорганизмы на стоках. Это удобрение обладает стимулирующим действием на растения и не содержит вредных примесей (сероводорода, меркаптана, жирных кислот). Оно не имеет аналогов и более эффективно, чем биоудобрения, полученные на основе анаэробных микроорганизмов (сбраживания в метантенках).

Технология получения Бамила. Сточные воды из приемного резервуара направляются на виброгрохот, где разделяются на жидкую и твердую фракции. Жидкая фракция проходит через систему аэротенков; образовавшийся активный ил используется для изготовления удобрения Бамил. Твердая фракция, прошедшая санацию, вывозится на поля в качестве органических удобрений. В другом варианте твердая фракция влажностью 70 ... 80% смешивается с минеральными и биологически активными добавками и направляется в биореактор, где в течение 6 ... 8 сут при температуре 60 ... 70°C и выше происходит превращение смеси в стабилизированный продукт влажностью 45...50%.

В Голландии (Дурикс, Клайпек, 2000) получила развитие интегрированная аэробно-анаэробная обработка жидкой фракции навозных стоков, с предварительной фильтрацией и разделением жидкой и твердой фракций. Профильтрованный и затем сброженный жидкий навозный сток свиноферм, содержащий значительные количества азота (3 кг/м³) и фосфора, подвергается двустадийной системе очистки (нитрификации — денитрификации — дефосфотации). Применение двустадийной схемы позволяет практически на 100% удалить как азот, так и фосфор.

Биологическая переработка сбраживаемого свиного навоза постоянно совершенствуется и модифицируется. Для удаления NH₄⁺-N используют цеолиты, керамзит, биофильтры или создают труднорастворимый осадок струвит — MgNH₄PO₄ (Некрасова, Ножевникова, 2000). После этого свиной навоз приобретает иные агрохимические и микробиологические характеристики. Микробный состав его изобилует агрономически полезными группами микроорганизмов.

Северо-западный НИИМЭСХ предлагает использование биореактора в виде медленно вращающегося барабана для биотермической переработки отходов.

Применяется технология **активной ферментации компостной смеси на площадках** (Афанасьев, 2000). Перспективной машиной для этих целей является двухшнековый смеситель-аэратор, обеспечивающий смешивание компонентов, укладку смеси в бурт и ее периодическое перемешивание. Такая технология ускоряет ход биотермических процессов, на 30 ... 40%

снижает потери питательных веществ.

ВНИИКОМЖ (Пузанков, Мхитарян, 1999) разработал модульные установки для экспресс-компостирования отходов животноводства. Мощность комплекса может составлять до 50 м³/сут. Приготовление компостной смеси из навоза или помета с органическим сорбентом (торф, солома, опилки и др.) обуславливает активную микробиологическую ферментацию смеси уже в пусковой период разогрева. Эффективность биохимического процесса, протекающего в установке, в основном зависит от скорости роста аэробных микроорганизмов.

5.2. Переработка птичьего помета

Птичий помет — ценное, сравнительно концентрированное и быстродействующее органическое удобрение. Среднее содержание питательных веществ в помете кур (в % от веса сырой массы помета) составляет: азота — 1,5; фосфора — 1,8, калия — 0,9, кальция — 2,4, магния — 0,7. В течение года от каждой курицы накапливается 5 ... 6 кг помета, а от одной средней птицефабрики — до 40,0 тыс. т (Лысенко, 1998). Однако применение птичьего помета в качестве органического удобрения ограничено по санитарно-гигиеническим нормам, несмотря на высокое содержание химических элементов.

В практике промышленного производства все чаще обращаются к новым технологиям переработки помета и получения вторичных продуктов. При этом учитывают содержание химических элементов в помете и использование его в качестве сырья для получения концентрированных органических удобрений или кормовых добавок. В последнем случае предусматривается обязательная термическая обработка для уничтожения болезнетворной микрофлоры.

Разработаны способы обработки птичьего помета методами разделения сброженной массы, обезвоживания, высушивания и др. Как правило, птичий помет термофильно сбраживают с последующим разделением сброженной массы на твердую и жидкую фракции (Ракитин и др., 1987). Твердую фракцию высушивают и используют как удобрение, а жидкую возвращают на досбраживание. Иногда обезвоживают образующийся осадок за счет добавления гидролизного лигнина (Якушкин, 1987). Лигнин в процессе фильтрования способствует увеличению пористости осадка и более полно удаляет из него влагу. Однако эти приемы трудоемки. Необходимо удалять помет в пометохранилище, разжижать его значительным количеством воды, затем обезвоживать методом фильтрования. При этом возникает проблема утилизации большого количества отходов в виде осадка из смеси помета и вспомогательного вещества, которое не имеет удобрительной ценности и плохо разлагается в почве.

Э. А. Цеханович и др. (1989) предлагает свежий помет очищать от грубых посторонних включений и размалывать до размера частиц дисперсной фазы 20 ... 300 мкм. Затем крошку куриного помета (пульпу) влажностью 75 ... 77% насосом подают в пневматическую форсунку и диспергируют сжатым воздухом в аппарат для получения гранул. В процессе грануляции

происходит сушка. В результате повышается удобрильная ценность гранул и увеличивается их насыпная плотность. Товарную фракцию выводят в приемную емкость, мелкую фракцию возвращают по линии пневмотранспорта в аппарат, в зону факела форсунки.

Для ускорения переработки отходов птицеводческих хозяйств и улучшения качества готового продукта Р. Г. Сафин и др. (1992) предлагают анаэробное сбраживание птичьего помета, отвод биогаза и обезвоживание сброженной массы путем вакуумирования и термообработки при 200...220°C.

В. П. Лысенко (1998) дает обзор способов переработки птичьего помета и получения органического удобрения. В большинстве технологий промышленной переработки отходов птицеводства отмечается длительность процесса, большие энергозатраты и недостаточно высокое качество конечного продукта.

С 80-х годов в отечественной практике промышленного птицеводства были распространены технологии высокотемпературной сушки птичьего помета. В результате получали из 100 т жидкого помета 17,5 т сухого гранулированного органического удобрения и 82,5 т горячей (65°C) воды. Производство сухого помета при 700 ... 900°C наряду с высокой стоимостью оборудования требует большого расхода углеводородного топлива (на 1 кг испаренной влаги требуется 3745...4140 кДж). К тому же в продуктах сушки помета обнаружены канцерогены (бензоперен).

В 90-е годы было предложено низкотемпературное обезвоживание помета в вакууме. Сухой помет, получаемый на установках низкотемпературного обезвоживания в вакууме, полностью сохраняет все полезные химические вещества исходного сырья. Однако энергозатраты высоки, дорогостоящее оборудование повышает стоимость подобного предприятия.

Наиболее привлекательными являются биологические и, в частности, микробиологические способы переработки помета. Они не только экологически безопасны и экономически выгодны, но и позволяют с достаточно высокой производительностью вести переработку птичьего помета на удобрения.

О. Д. Сидоренко (1994) разработана биологическая технология термопереработки птичьего помета, позволяющая получать высококачественное органическое удобрение. При этом гарантируется гибель условно патогенных и болезнетворных микроорганизмов, семян сорняков и гельминтов. Технология может быть использована для переработки в целом отходов сельского хозяйства, пищевой промышленности и городских отходов (рис. 4).

Технология получения компоста. Процесс переработки птичьего помета происходит в биоферментере — кирпичном или железобетонном здании или ангаре. До 100 т специально приготовленной смеси из птичьего помета и наполнителей (торфа, опилок, соломы и т. д.) поступает в бункер-наполнитель и затем подается в ферментер, оборудованный аэрирующей установкой.

Процесс биоферментации продолжается 5...6 дней при постепенном

повышении температуры до 80...85°C, что является вполне достаточным для уничтожения семян сорных растений, патогенных микроорганизмов и гельминтов.

Условия ферментации позволяют контролировать скорость минерализации органических компонентов, состав газов, температуру и влажность. Готовый продукт — компост высокого нагрева (КВН) — обладает сыпучестью, без запаха, темно-коричневого или черного цвета с высоким содержанием элементов питания растений. В 1 кг содержится, г/кг: азота — 7, фосфора — 7, калия — 7, кальция — 8;

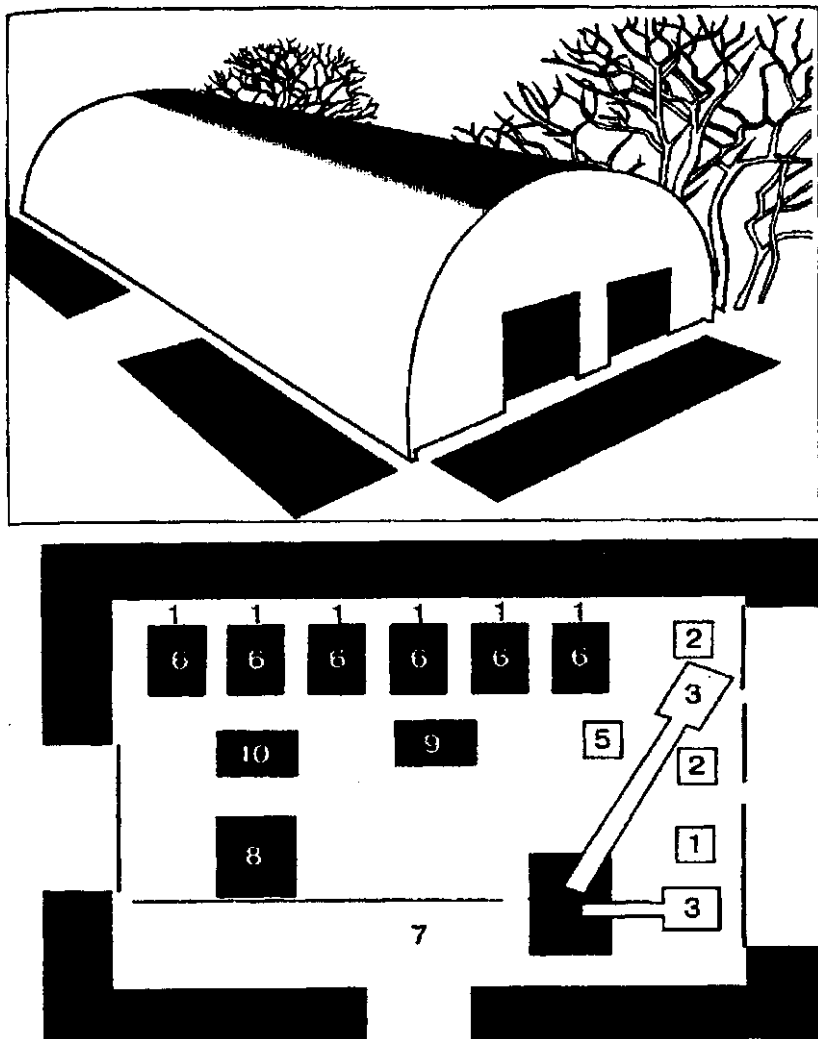


Рис. 4. Производство компоста:

1 — приемный бункер-дозатор птичьего помета; 2 — приемные

бункеры-дозаторы органических компонентов; 3 — транспортеры; 4 — смеситель; 5—транспортная тележка; 6 — ферментеры; 7 — биофильтры; 8 — фасовочная линия готовой продукции; 9 — склад готовой продукции; 10 — кран-балка

высокое содержание микроэлементов. КВН имеет разные коммерческие назначения.

В последнее время одним из основных требований при производстве органического удобрения из отходов животноводства является сохранение его биологического потенциала и исключение возможности присутствия патогенных микроорганизмов. Важным моментом технологического процесса является также конструктивное обеспечение и надежный контроль поглощения аммония, сероводорода, использования тепла и др. Реализация таких технологий позволит получать не только экологически чистое удобрение, но и сохранять природу от загрязнения отходами животноводства. Решаются также проблемы обогащения почвы органическим веществом.

Переработанные отходы, внесенные в почву, создают почвенную органику и останавливают эрозию, уменьшают потребность в химических удобрениях. Более того, рециркуляция органической части отходов дает сырье для пользующихся большим спросом почвоулучшающих веществ, удобрений и продуктов для борьбы с болезнями растений.

5.3. Получение кормов и продуктов питания повышенной усвояемости

Из подсолнечной лузги, ферментируя ее 1-2 суток, получают гранулированный продукт, содержащий биомассу клеток, целлюлозу, гемицеллюлозу, растворимые гексозаны и пентозаны, комплекс целлюлаз.

Солому измельченную, также ферментируют 1-2 суток при периодическом помешивании и получают готовый продукт аналогичный вышеописанному.

Лузгу предварительно измельчают, подают в ферментер в количестве 30% СВ от рабочего объема и добавляют питательные соли в воду. Автоклавирование позволяет одновременно запарить сырье и деаэрировать питательную среду. Затем понижают температуру до 60°C и подают биозакваску из инокулятора в количестве 15-20% от рабочего объема. Ферментацию проводят 48 часов при периодическом перемешивании и рН=7,0. По окончании ферментации разделяют культуральную жидкость и перерабатывают лузгу: жидкость отправляют в инокулятор для дальнейшего наращивания биомассы бактерий, осадок гранулируют, подсушивают и фасуют готовый продукт. Аналогично получают корм из соломы.

Получение фермента целлюлазы проводят по технологии близкой к вышеописанной. Ферментацию только продолжают не 1-2 суток, а в течение 7-10 суток при периодическом перемешивании и рН=7,0. Культуральную жидкость отделяют каждые 2-3 дня, ферментационный объем (15-20% от объема) заливают свежей средой. По окончании ферментации твердый осадок (лигнинный адсорбент) отделяют от жидкости, промывают водой и

подсушивают. Из отделенной культуральной жидкости (и промывной воды) выделяют фермент.

Из отходов растениеводства без предварительного дорогостоящего кислотного гидролиза можно получать белковые препараты - кормовые добавки, значительно снизив себестоимость производства. Сырьем для этого производства могут служить также коммунальные и промышленные стоки, содержащие целлюлозу, гидролиз которых экономически нецелесообразен.

Для лучшего усвоения микроорганизмами целлюлозосодержащего сырья рекомендуется предварительная мягкая обработка его 4%-ным раствором щелочи (NaOH) при 100°C в течение 15 минут. В этих условиях усвояемость целлюлозы повышается до 70-75%. Хороший эффект дают смешанное культивирование бактерий и дрожжей. Выход биомассы на среде с 2% целлюлозы составляет 10-12 г/л, содержащей до 45-55% протеина.

В качестве субстрата для биоконверсии представляют интерес стержни початков кукурузы. Продуцентами белка на них могут служить грибы (**Trichoderma**, **Chaetomium**, **Aspergillus** и др.). Субстраты используют непосредственно или после легкого гидролиза. После роста микроорганизмов уменьшается количество целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, увеличивается содержание белка, витаминов, органических кислот, наблюдается детоксикация исходных субстратов. Полученный вторичный продукт приобретает высокую питательную ценность.

В странах Юго-Восточной Азии и Океании традиционно и очень широко используются биотехнологии производства белковых продуктов с помощью мицелиальных грибов, дрожжей, бактерий из съедобного сырья растительного происхождения путем твердофазного культивирования. Такие продукты являются важнейшей пищевой добавкой к рациону жителей этих стран. Самая высокая в мире средняя продолжительность жизни населения в Японии (на 20-30 лет больше, чем в России) очевидно в значительной степени зависит от самого высокого в мире потребления ферментативных продуктов.

В последнее время за рубежом и в России формируется новое направление в решении проблемы питания и борьбы с желудочно-кишечными заболеваниями животных и человека. Это представляет собой использование дрожжевых культур, с одной стороны, как источника цельных компонентов пищи и корма, т.е. нутрицевтика, а с другой стороны, как пребиотика, стимулятора собственной защитной флоры макроорганизма, т.е. парафармацевтика. (Борисенко, 2003).

Известно, что во время второй мировой войны в Германии важным компонентом питания была биомасса пищевых дрожжей **Candida arborea** и **Candida utilis** (Сассон, 1987). Позднее использовалась как белковая добавка в продукты питания. Безусловно все высокопродуктивные по биомассе штаммы дрожжей и дрожжеподобных грибов, предлагаемые для производства ферментированных продуктов, должны проходить регламентированные контрольные тесты. Если не фиксируются противопоказания для их использования, никакие психологические барьеры не должны мешать выходу этих новых обогатителей пищи и корма на рынок биологически активных продуктов. С их помощью можно решать многие

вопросы, трудно или совсем не решаемые с помощью антибиотиков и бактериальных пробиотиков и балансировать рационы питания человека и животных по белку и витаминам.

В настоящее время не более 3% составляют пробиотики и продукты функционального питания среди всех известных пищевых продуктов, но прогнозируется в ближайшие 10-15 лет повышение использования их до 30% всего продуктового рынка. При этом они на 30-50% вытеснят из сферы реализации многие традиционные лекарственные препараты.

6. BIOTEХНОЛОГИИ XXI ВЕКА

Получение водорода микробиологическим путем — биотехнологическое решение XXI века. Водород является идеальным химическим носителем энергии. Сжигание его при высоких температурах дает большое количество полезной энергии с высоким КПД.

Микробиологическое получение водорода в настоящее время развивается, хотя прямое биотехнологическое получение водорода на основе процесса, аналогичного фотосинтезу, или анаэробного сбраживания, дискутируется. Уже сейчас кажется принципиально возможным путем комбинации техники фиксированных биокатализаторов и генной технологии на основе фотосинтезирующих биосистем достичь результатов, аналогичных результатам с фотоклетками. Для получения водорода из органических отходов путем анаэробной ферментации селекционируются новые виды микроорганизмов, способные производить водород вместо метана.

В Японии исследован процесс образования водорода из метана при сбраживании рисовой соломы, кухонных отходов, лошадиного навоза и метанового ила. Английские исследователи изучили процесс образования водорода с помощью использующих метан бактерий *Methylomonas albus*, *Methylosinus trichosporium* — ОВЗБ.

В Германии **получают этанол** из растительных, сельскохозяйственных и пищевых отходов с помощью катализаторов, потребляя менее 1% энергии. Микроорганизмы полностью перерабатывают исходное сырье, побочные продукты (витамины, белки, биологические удобрения) разделяют на ионообменниках. При переработке домашних отходов получают лигнин и метан, используемые в качестве энергоносителей.

Производство биогаза в процессе метанового брожения широко распространено в мире. Переработка отходов метановым брожением — наиболее экономичный и эффективный метод очистки сточных вод, твердых отходов промышленности, сельского хозяйства, коммунально-бытовых отходов. Более 30 лет работают биореакторы на получение очищенного метана. Разрабатываются в основном методы очистки биогаза от примесей.

Для получения газа во Франции городские отходы подвергают ферментации в смеси с водорослями. Производительность таких установок составляет 421 л газа на 1 кг органического вещества. Газ содержит 60% CH₄ и 40% CO₂.

В Санкт-Петербургском госуниверситете разрабатывается технология **получения молочной кислоты** из отходов. Используются нетрадиционные

источники углерода или отходы и побочные продукты пищевой и перерабатывающей промышленности и сельского хозяйства. Эффективные штаммы бактерий рубца животного ферментируют различные крахмалсодержащие субстраты с выходом молочной кислоты. Однако при использовании данной технологии требуется затратная стадия предобработки и гидролиза полисахаридов, что приводит к значительному удорожанию получаемой молочной кислоты.

Главное достоинство перспективных биотехнологий переработки отходов — экономичность и экологичность. Снижение количества загрязнений при внедрении новых технологических приемов и процессов должно достигаться за счет использования отработанных продуктов, автоматизированного управления процессами, использования быстрорастущих суперактивных штаммов микроорганизмов, адаптированных к деградации определенных субстратов, или полученных методом генной инженерии новых микроорганизмов или их сообществ.

В любом случае, по теории стабильного развития, органические отходы должны рассматриваться как источник питательных веществ, как носитель энергии. Существующие отходы должны утилизироваться, когда это технически возможно и когда стоимость этого является разумной. Только в исключительных случаях отходы отправляются на свалку или длительное хранение.

Получение спирта сырца из муниципальных отходов.

Просеянные и измельченные отходы в количестве 6-8% сухого вещества от рабочего объема вместе с питательными солями и водой стерилизуют, что позволяет одновременно запарить сырье и деаэрировать питательную среду. Подают засевной материал из инокулятора в количестве 15-20% от рабочего объема. Ферментацию продолжают семь суток при периодическом перемешивании и $pH = 5,0$. В ходе ферментации периодически создают вакуум (46,1 кПа) для отделения и конденсации паров этанола (спирта - сырца). В зависимости от степени конверсии углеводных фракций субстрата предусматривается замкнутый цикл непереработанного сырья. По окончании ферментации твердый осадок отделяют от жидкости и используют в качестве удобрения или структуратора почвы. Культуральную жидкость направляют в инокулятор для дальнейшего наращивания биомассы бактерий. Спирт-сырец отправляют на дальнейшую очистку ректификацией.

Биоконверсия теоретически позволяет получать спирт при рентабельности 65-70%. При ферментации древесных опилок с содержанием лигнина 22% с учетом 86%-ной (минимальной) степени конверсии углеводной части сырья составляет 28,7% от исходного количества сырья. Для ферментации соломы теоретический выход этанола - 32,6% от исходного сырья; для пшеничных отрубей - 15,2%. Продолжительность ферментации при этом 7-10 суток (для опилок и древесных отходов).

Главным преимуществом биоконверсии является экологическая чистота, связанная с сокращением или полным отсутствием фенола, фурфурола, формальдегида, неорганических кислот и др. токсичных веществ, накапливающихся в местах размещения целлюлозно-бумажных комбинатов и

мусорных свалок. Технология переработки является безотходной, т.к. все продукты могут реализоваться (этанол, этанол-ацетатная смесь, незакисленный лигнин для адсорбирующих препаратов, диоксид углерода). При этом используется широкий список потребляемых (перерабатываемых) субстратов и смешанные и монокультуры бактерий, способные конвертировать целлюлозосодержащие материалы.

Для обеспечения стабильности ассоциаций микроорганизмов разработаны различные комбинации (например, одна из них: **Clostridium**, **Thermoanaerobium** и **Thermoanaerobakter**) и методы их хранения, выбор рабочей смешанной культуры бактерий в зависимости от вида целлюлозосодержащего сырья и типа целевого продукта.

Кроме того, для ферментации отработаны режимы аэрации, способствующие суспендированию твердой фазы и активности процесса, а дробная подача исходного субстрата в ферментационный объем повышает степень конверсии сырья на 50%. Предлагаются возможные схемы процессов утилизации различных промышленных, сельскохозяйственных и муниципальных целлюлозосодержащих отходов.

6.1. Использование продуктов биоконверсии отходов животноводства

Продукты вермикюльтивирования. В животноводстве биомасса червей — эффективный корм для кур, уток, индюков, морской пресноводной рыбы. Она содержит 60...80% протеина, 9% липидов и 7...16% азотистых веществ. Высокое содержание сбалансированных аминокислот, в том числе и незаменимых, провитаминов D, водорастворимых витаминов свидетельствует о том, что биомасса червей является ценной кормовой добавкой. Черви пригодны для скармливания свиньям, бычкам в сыром и вареном виде. Биомассу красного червя можно использовать в виде пасты для кормления аквариумных рыб. Обезвоженная биомасса червей также представляет собой весьма ценный материал, содержащий полезные минеральные вещества. В их состав входят макро- и микроэлементы.

В фармакологии могут использоваться экстракты из биомассы червей для обработки лишаев, как противораковые препараты, как лечебное средство при заболеваниях глаз, в косметической промышленности — как биодобавки в шампуни, защитные кремы, лосьоны и др. Дождевые черви в китайской медицине используются около двух тысячелетий. В настоящее время в Китае изготовлена противовирусная и антиопухолевая сыворотка E76.

В питании человека используются черви, выращенные определенным способом. При подборе способа разведения червей для приготовления блюд важным является не только размер особей, но и субстрат, на котором их разводят так как он определяет окраску и вкус дождевых червей. Нельзя использовать для пищевых целей дождевых червей, питавшихся навозными компостами. Дождевые черви содержат 60...70% белка, дешевого и полезного. Приготовление блюд из дождевых червей требует специальных знаний по отбору, чистке, хранению и использованию исходного материала. Готовят червей с крабами, омлет с червями, паштеты и др. В зависимости от

применяемых специй рецептура блюд меняется.

В земледелии вермикультура и «биогумус» положительно влияют на плодородие почвы. В процессе переваривания органического вещества в кишечнике червей формируются гумусовые вещества, в том числе высокомолекулярные органические кислоты. Концентрация их в копролитах червей, питающихся навозом, в несколько раз выше, чем в исходном субстрате. При переработке дождевыми червями 1 т навоза в перерасчете на сухое вещество получается 600 кг сухого удобрения с содержанием органического вещества 25...40% и более. В этом удобрении содержится по 1% азота, фосфора, калия, а также многие микроэлементы. При удобрении почвы биогумусом повышается биологическая активность ее, а выращенная продукция практически не содержит нитратов и тяжелых металлов.

Из микрофлоры, выращенной на стоках свинокомплексов, получают новые виды микробных удобрений. Микробная ассоциация их на почвах всех типов проявляет фосфатмобилизующую активность. Содержание доступного фосфора увеличивается на 15...29% при внесении одной дозы. Введение в компостируемую массу муниципальных отходов микробных удобрений (БАМИЛ) положительно влияет на интенсивность процесса компостирования, главным образом за счет изменений в микробном сообществе, ответственном за биоферментацию.

Продукты утилизации отходов синантропными мухами. Наряду с биопергеном и биомассой насекомых, технология выращивания опарышей позволяет получить из органических отходов витамин В12, незаменимые аминокислоты, высокоценный жир, биостимуляторы роста и развития растений и животных, биологически активные и экологически безвредные дезинфектанты, антисептики и ряд других высокоценных веществ и соединений.

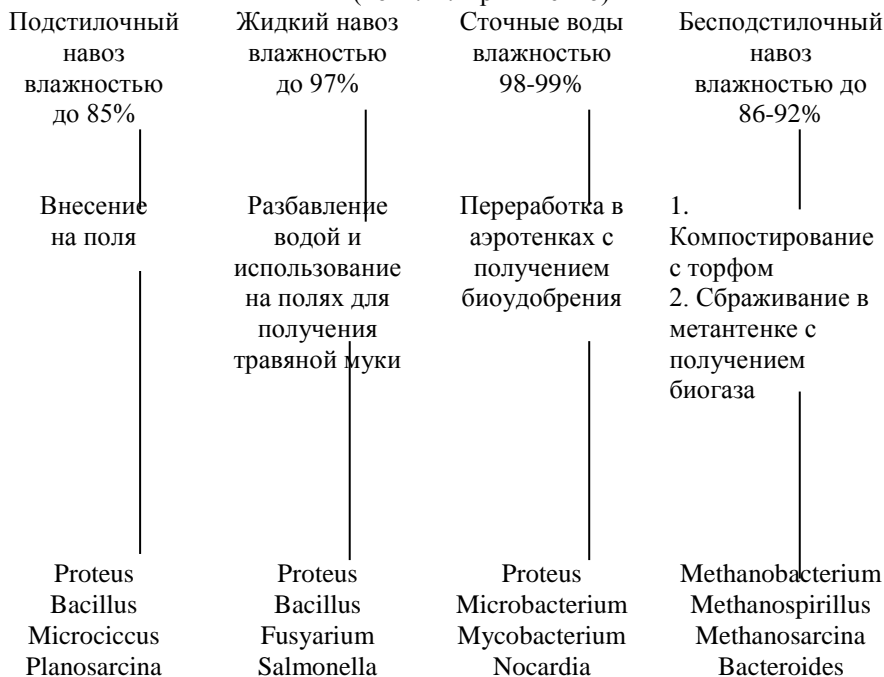
Продукты термофильной переработки отходов животноводства, кроме биокомпоста или органического удобрения, могут быть использованы как бактериальные препараты защитного действия от фитопатогенов; кормовые добавки (премиксы) для пушных зверей, птицы, рыбы и др.; структурообразователи для деградированных почв.

Выращенные дрожжи на навозных стоках, предварительно обработанных методом аэробной ферментацией, дают ценные продукты. Летучие жирные кислоты, образующиеся на первом этапе переработки стоков - служат источником питания дрожжей, а конечные продукты - дрожжевая биомасса, очищенная жидкая фракция, используемая для полива сельскохозяйственных угодий и стабилизированный лигноцеллюлозный остаток, применяются как удобрение.

Использование отходов производства кормовых дрожжей из свиного навоза в качестве удобрения способно повысить суммарный урожай кукурузы на 160-211% (Врабис, 1979). Навоз с измельченной соломой, прошедшие процесс микробной ферментации, интенсивно увеличивают прирост массы зеленого корма, содержание пигментов, витаминов и протеина в надземных частях растений. Продукты биоконверсии сельскохозяйственных отходов могут успешно заменять минеральные удобрения.

Продукты переработки свиного навоза (биоудобрение БАМИЛ), состоящие из высушенной микробной биомассы и внеклеточных метаболитов, весьма эффективны за счет прямого действия физиологически активных и питательных веществ на растения (схема). Кроме того, биоудобрения активизируют полезную микробную популяцию почвы: микробная биомасса увеличивается в 1,5 ... 4,0 раза, особенно в течение первого месяца после внесения.

Схема утилизации отходов животноводства и микроорганизмы, участвующие в этих процессах
(по И. А. Архипченко)



Продукты метанового брожения отходов животноводства могут эффективно применяться не только в качестве удобрения. Используя образовавшийся метан, в анаэробных условиях бактерии образуют водород, как энергоноситель, а биомасса прототрофных бактерий, выращенных в атмосфере биогаза, служит кормовой добавкой (белково-витаминный корм), обогащенной лизином, метионином и другими незаменимыми аминокислотами. Кроме того, на осветленных стоках производства биогаза культивируют одноклеточные фотосинтезирующие бактерии, белок которых отличается высоким содержанием незаменимых и серосодержащих аминокислот, а также витаминов группы В. Выход биомассы составляет 4,59 г/л (по сырой массе), содержание белка — 61,25% сухого вещества клеток.

Таким образом, актуальность проблемы биоконверсии отходов сельского хозяйства, а также результаты научных исследований, по нашему мнению, дают основание полагать, что в недалеком будущем

проблема охраны природы будет решена. Отходы сельского хозяйства, и особенно животноводства, с помощью новых биотехнологий превратятся в ценное сырье для кормов, горючих материалов, удобрений и сырья для химической промышленности.

Однако необходимо подчеркнуть, что потенциальные возможности получения эффективных биологических удобрений еще не реализованы из-за недостаточной технологической и микробиологической обоснованности процессов. Необходимо обеспечить строгую научную основу, системный подход при создании биотехнологических линий, что позволит совершенствовать существующие технологии утилизации отходов животноводства. Необходимо признать также, что биоконверсия отходов животноводства является новым научным направлением в сельскохозяйственной отрасли и требует эффективного сотрудничества специалистов и совершенствования технологий.

Во всем мире биотехнологическая индустрия активно развивается, ее прибыли исчисляются миллиардами долларов. Корпорации готовы терпеть убытки в течении нескольких лет, зная, что в конечном счете они получают сверхприбыли из исследований направленных на создание штаммов и технологий, которые при внедрении дадут наилучшие результаты.

Список литературы

1. Леонов Н. Р. Микробиология. М.: Колос, 1997.
2. Биоконверсия органических отходов и охрана окружающей среды / Тез. докл. Киев, 1996. — 239 с.
3. Биоконверсия органических отходов. — Тез. докл. М., 1994. -106с.
4. Биоудобрения из отходов животноводства / Сб. тр. I Международного совещания. СПб., 1995. — С. 70.
5. Биологическая утилизация отходов животноводства и пути использования продуктов переработки / Сб. науч. тр., Новосибирск, 1982.— 117с.
6. Вермикультура: Производство и использование / Под ред. И. А. Мельника. Киев, 1994.
7. Грачева И. М., Иванова Л. А., Кантерс В. М. Технология микробных белковых препаратов, аминокислот и биоэнергия: М.: Колос, 1992.— 375.
8. Лер Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов. М.: Колос. 1979. — 411 с.
9. Лысенко В. П. Переработка отходов птицеводства. Сергиев Посад, 1998. — 149с.
10. Манаков М. Н., Победимский Д. Г, Теоретические основы технологии микробиологических производств. М.: Агропромиздат. 1990.— 272с.
11. Матвеев В. Е, Научные основы микробиологической технологии. М.: Агропромиздат, 1985. — 224 с.
12. Методы общей бактериологии / Под ред. Ф. Герхарда и др. М.:

Мир, 1984.

13. Методические указания по санитарно-микробиологическому состоянию почв. Минздрав СССР, М.; 1977.

14. Мишустин Е. Н. и др. Санитарная микробиология почвы. М.: Наука, 1979.

15. Органические удобрения / Под ред. Минеева В. Г. М: Колос, 1984.

16. Пфайффер Э. Плодородие земли. Калуга. 1994. — 301 с.

17. Сб. трудов Международной конференции «Микробная экология в переработке органических и с.-х. отходов». СПб., 2000. — С. 132.

18. Сидоренко О. Д. Биоконверсия отходов животноводства. М.: Изд-во МСХА, 2000. — 50 с.

19. Сидоренко О.Д. Переработка отходов целлюлозно-бумажной промышленности в органические удобрения. Материалы 3^{-го} Международного конгресса по управлению отходами. М.2003 — 142 с.

20. Экологическая биотехнология / Под ред. К. Форстера. Л.: Химия, 1990.

Научно-популярное издание
СИДОРЕНКО Олег Дмитриевич ЧЕРДАНЦЕВ
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ
ЖИВОТНОВОДСТВА

Редактор Г. Я. Лукашина

Художественный редактор В. Н. Кулишов

Компьютерный набор и верстка В. Н. Кулишов