



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ  
БИООТХОДОВ: ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

**Мейлиева Дилафруз**

*докторант кафедры менеджмента Самаркандский  
институт экономики и сервиса*

**Мухаммедов Мурод Мухаммедович**

*Научный руководитель: профессор кафедры «Экономическая теория»  
Самаркандский институт экономики и сервиса, доктор экономических наук, проф.*

***Аннотация:** В работе рассматриваются различные методы переработки биоотходов, включая компостирование (в буртах, закрытых емкостях и контейнерах), вермикомпостирование, анаэробное сбраживание, переработку с использованием личинок черной львинки и медленный пиролиз. Описаны основные принципы, преимущества и технологические особенности каждого метода. Особое внимание уделено их экологической и экономической эффективности, а также возможности применения в странах с разным уровнем дохода.*

***Ключевые слова:** биоотходы, переработка, компостирование, анаэробное сбраживание, вермикомпостирование, черная львинка, пиролиз, устойчивое развитие.*

**Биоотходы** естественным образом разлагаются под воздействием биологической активности. Это может происходить **аэробно** (с участием кислорода) или **анаэробно** (без кислорода). Большие объемы биоотходов, разлагающихся неконтролируемым образом, могут вызывать серьезные негативные последствия для окружающей среды и здоровья человека. Эти последствия связаны с выбросами парниковых газов и глобальным потеплением, загрязнением почвы, воды и воздуха, распространением переносчиков болезней, а также экономическими потерями.

**Потенциальные последствия неконтролируемого разложения биоотходов**

Высокая влажность и плотность биоотходов влияют не только на выбор системы сбора и транспортировки, но и на технологию обработки отходов. Хорошая новость заключается в том, что существуют относительно недорогие методы переработки биоотходов, позволяющие превратить их в природный ресурс. Эти методы позволяют получать полезные продукты, которые имеют ценность для потребителей, и предлагают более устойчивый подход по сравнению с традиционной практикой открытого складирования и несанкционированного захоронения на свалках.

**ПРИМЕРЫ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ БИООТХОДОВ**

Каждая технология переработки позволяет получать различные полезные продукты. В данном руководстве рассматриваются шесть возможных технологий:





1. Компостирование в буртах (Windrow composting)
  2. Компостирование в закрытых емкостях (In-vessel composting) и компостирование в контейнерах (Bin-composting)
  3. Вермикомпостирование (Vermicomposting)
  4. Анаэробное сбраживание (Anaerobic digestion)
  5. Медленный пиролиз (Slow pyrolysis)
  6. Переработка с использованием черной львинки (Black Soldier Fly processing)
- Компостирование в буртах (Windrow Composting)

Компостирование представляет собой **биологический процесс**, в ходе которого органические отходы превращаются в **стабильный, темно-коричневый компост**, по структуре напоминающий почву. Этот процесс осуществляется под воздействием микроорганизмов в **аэробных условиях**, то есть при наличии кислорода.

**Биоразлагаемые материалы укладывают в длинные кучи (бурты)**. В процессе их разложения температура внутри буртов может повышаться до **70°C**, что способствует **обеззараживанию** — уничтожению вредоносных микроорганизмов и семян сорных растений.

Чтобы процесс протекал эффективно, необходимо контролировать **ключевые параметры**, такие как **соотношение углерода и азота** в сырье, **размер фрагментов отходов, уровень аэрации и наличие свободного воздушного пространства, температурный режим, влажность и кислотно-щелочной баланс (pH)**.

Правильная регулировка этих факторов позволяет **ускорить разложение** и получить **качественный компост**. Если условия неблагоприятны, процесс может **замедлиться или вовсе остановиться**.

Компостирование в закрытых емкостях (и контейнерное компостирование)

Данный метод основан на тех же принципах, что и обычное компостирование, но вместо буртов используются **закрытые вращающиеся емкости**, которые могут приводиться в движение вручную или автоматически. Благодаря **улучшенной аэрации** этот способ позволяет значительно **ускорить процесс разложения органических отходов**.

Вермикомпостирование

Вермикомпостирование — это процесс **аэробного разложения и стабилизации органических отходов**, который осуществляется под воздействием **микроорганизмов и дождевых червей** в контролируемых условиях. Вначале микробные сообщества запускают **аэробное разложение** органического материала, после чего многочисленные дождевые черви **перерабатывают отходы**, выделяя так называемый **вермикомпост** (отходы жизнедеятельности червей).

Черви не только ускоряют процесс, но и **улучшают качество компоста**, делая его **богатым питательными веществами и биологически активным**. Наиболее часто в



вермикомпостировании используется вид **Eisenia fetida** (красный калифорнийский червь).

Полный жизненный цикл **E. fetida** составляет около **70 дней**. Масса популяции удваивается каждые **60–90 дней**, а половозрелыми черви становятся примерно через **50 дней**. Уже спустя **4–5 дней** после спаривания они начинают **откладывать коконы**, инкубационный период которых длится около **23 дней**.

Анаэробное сбраживание

Анаэробное сбраживание — это **микробиологический процесс**, в ходе которого органические отходы разлагаются **без доступа кислорода**, образуя **биотопливо (биогаз)** и **питательный остаток (дегистат)**. Этот процесс обусловлен деятельностью микроорганизмов и встречается в природе, например, в **болотах** или в **желудках жвачных животных**.

Существует несколько типов **анаэробных реакторов (метантенков)**, из которых в данном руководстве рассматриваются три основных:

1. **Реактор с фиксированным куполом**
2. **Реактор с плавающим газосборником**
3. **Трубчатый реактор**

Переработка отходов с помощью черной львинки (BSF-технология)

Переработка органических отходов с использованием личинок **черной львинки (Hermetia illucens)** — это **современная технология** утилизации биологических отходов. В процессе переработки личинки превращают биомассу отходов в **богатую белками и жирами биомассу насекомых**, а также в переработанный органический остаток. Личинки содержат около **35% белка** и **30% жира**, что делает их ценным кормом для **птицеводства и рыбоводства**.

Личинки питаются отходами и развиваются до стадии **окукливания**, однако собирают их **до этого этапа**. При оптимальных условиях (температура **28°C**, влажность **75%**) полный цикл развития от яйца до взрослой мухи занимает **20–35 дней**. Взрослые мухи живут около **недели**, не питаются и не переносят болезни, так как не контактируют с пищей.

Эффективность метода позволяет **сокращать объем отходов до 80%** (по влажному весу), а полученный остаток по составу напоминает **компост** и содержит полезные **питательные вещества**. Кроме того, коэффициент **превращения отходов в биомассу** может достигать **25%**. Технология не требует сложного оборудования, поэтому **подходит для стран с низким и средним уровнем дохода**.

Медленный пиролиз (карбонизация)

Медленный пиролиз, также называемый **карбонизацией**, представляет собой **термохимический процесс**, при котором **органический материал разлагается при высокой температуре (300–600°C)** в **отсутствии кислорода**. Длительность процесса может варьироваться от **нескольких часов до нескольких дней** и приводит к образованию **твердых (уголь), жидких (биомасля) и газообразных** продуктов.





Ключевыми параметрами, влияющими на распределение конечных продуктов, являются:

- температура,
- скорость нагрева,
- время пребывания материала в реакторе,
- давление в реакторе.

Также важную роль играют: **размер и форма частиц, зольность, плотность, влажность и химический состав биомассы, состоящей из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина** (Lohri et al., 2016).

В небольших реакторах процесс **эндотермический** и требует **внешнего источника тепла**. Энергия может поступать за счет **сжигания части материала внутри реактора** (автотермические системы) или подаваться **извне** (косвенный нагрев).

В зависимости от конструкции, реакторы делятся на:

- **ретортные печи** – сжигают и рециркулируют пиролизные газы,
- **неретортные печи** – не используют рециркуляцию газов.

#### **БИБЛИОГРАФИЯ:**

1. Адамс, Р., Беннет, Ф., Диксон, Дж., Лоу, Р., Маклин, Ф., Мартин, Г. Использование органических отходов в Новой Зеландии // *Новая Зеландская инженерия*. 1951. Т. 6, № 11.

2. Али, У., Саджид, Н., Халид, А., Риаз, Л., Раббани, М. М., Сайед, Дж. Х., Малик, Р. Н. Обзор вермикомпостирования органических отходов // *Экологический прогресс и устойчивая энергетика*. 2015. Т. 34, № 4. С. 1050-1062. DOI: 10.1002/ep.12100.

3. Дортманс, Б. М. А., Динер, С., Верстаппен, Б. М., Цурбрюгг, К. Переработка биологических отходов мухой-чёрным солдатом – пошаговое руководство. *Швейцарский федеральный институт водных наук и технологий (Eawag), Департамент санитарии, водоснабжения и твёрдых отходов для развития (Sandec)*. 2017.

4. Фёгели, Й., Лоури, К., Гальярдо, А., Динер, С., Цурбрюгг, К. Анаэробное сбраживание биологических отходов в развивающихся странах — практическая информация и примеры. *Швейцарский федеральный институт водных наук и технологий (Eawag), Дюбендорф*. 2014.

5. Купербанд, Л. Искусство и наука компостирования – ресурс для фермеров и производителей компоста. 2002.

6. Робинзон, Р., Киммел, Э., Авнимелех, Й. Энергетические и материальные балансы системы компостирования в буртах // *Труды Американского общества сельскохозяйственных инженеров*. 2000. Т. 43, № 5. С. 1253-1259.

