

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет

Институт Химических и Биологических Технологий
(наименование института)

Кафедра Химической и Биохимической Инженерии
(наименование кафедры)

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

«Химическая и Биохимическая Инженерия»

_____ Рафикова Х.С.

подпись

« ____ » _____ 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Название диссертации «Разработка технологии переработки органических отходов и конструкции мобильного биореактора по переработке органических отходов».

Направление подготовки 6М070100 – Биотехнология

Выполнил Сериков Т.А.

Научный руководитель

ассоц.проф, к.с.х.н., доцент

_____ Джамалова Г.А.

(подпись)

« ____ » _____ 2020 г

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет

имени К.И. Сатпаева

Институт Химических и Биологических Технологий

(наименование института)

Кафедра Химической и Биохимической Инженерии

(наименование кафедры)

6M070100 – «Биотехнология»

Шифр и наименование специальности

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

«Химическая и Биохимическая Инженерия»

Рафикова Х.С.

подпись

«___» _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Серикову Темирлану Айдаровичу

(Ф.И.О. обучающегося)

Тема: «Разработка технологии переработки органических отходов и конструкции мобильного биореактора по переработке органических отходов».

(тема магистерской диссертации)

Утверждена приказом Ректора Университета № ___-п от "___" _____ 20__ г.

Срок сдачи законченной диссертации "___" _____ 20__ г.

Исходные данные к магистерской диссертации: первичные данные, полученные при проведении прикладных исследований по изучению трансформации ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемых модельных композитах.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- 1) изучить техногенную трансформацию ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемых модельных композитах;
- 2) рассчитать конструкцию мобильного биореактора по переработке органических отходов;
- 3) разработать блок схему биотехнологии переработки органических отходов в условиях мобильного биореактора.

Перечень графического материала:

Рисунок 2 - Изменчивость микробиоценоза во времени по стадиям развития компостируемого композита «моТБО + коксуский шунгит (таурит)» в зависимости от количества внесенного шунгита в сравнительном аспекте: 50, 100, 150 г/кг ТБО

Рекомендуемая основная литература:

- 1 Джамалова Г.А., Гарабаджиу А.В., Мусина У.Ш., Джолдыбаева С.М., Сериков Т.А. Изменчивость активности ксенобиотиков и микро-биоценоза во времени в компостируемом композите «твердые бытовые отходы + коксуский шунгит (таурит). Научный журнал «Вестник КазГАСА». № 3 (73). - 2019. – С.167-179.
2. Джамалова Г.А., Гарабаджиу А.В., Джолдыбаева С.М., Сериков Т.А. Техногенная трансформация ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемом модельном композите «Твердые бытовые отходы + зола». Вестник КазАТК. Алматы, № 1(112) 2020. – С. 317-325.

ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Обзор научной и научно-методической литературы: Процесс биоразложения Твердые бытовые отходы как источники получения энергии Продукт получаемый от биоразложения Факторы, влияющие на процесс биоразложения	30.04.2020 г.	Джамалова Г.А.
Объект, материал и методика научных исследований по изучению техногенной трансформации ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемом модельном композите: Компостируемый композит моТБО + зола Компостируемый композит моТБО + коксуский шунгит (таурит)	11.05.2020 г.	Джамалова Г.А.
Результаты исследования: Техногенная трансформация ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемом модельном композите Компостируемый модельный композит «Твердые бытовые отходы + зола» Компостируемый модельный композит «Твердые бытовые отходы + коксуский шунгит (таурит)» Расчет инженерной конструкции мобильного биореактора по переработке органических отходов Технология переработки органических отходов в условиях мобильного биореактора	11.06.2020 г.	Джамалова Г.А.
Заключение		Джамалова Г.А.

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Обзор научной и научно-методической литературы	Джамалова Г.А., к.с.-х.н., доцент	07.07.2020 г.	
Объект, материал и методика научных исследований. Результаты исследований	Джамалова Г.А., к.с.-х.н., доцент	07.07.2020 г.	
Нормоконтролер	Джамалова Г.А., к.с.-х.н., доцент	07.07.2020 г.	

Научный руководитель

_____ Джамалова Г.А.
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению обучающийся

_____ Сериков Т.А.
(подпись) (Ф.И.О.)

Дата

" _____ " _____ 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Тема. Разработка технологии переработки органических отходов и конструкции мобильного биореактора по переработке органических отходов.

Ключевые слова: органические отходы, мобильный биореактор, аэробное биоразложение, анаэробное биоразложение, метаногенез, биогаз, фильтратгенез.

Объекты исследования: Отходы органической природы – это сельскохозяйственные отходы, пищевые отходы и органические отходы в составе твердых бытовых отходов.

Предмет исследования: Процессы аэробного и анаэробного биоразложения органических отходов в условиях мобильного биореактора.

Цель исследований. Разработка технологии переработки органических отходов и конструкции мобильного биореактора по переработке органических отходов.

Полученные результаты. Изучена техногенная трансформация ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемых модельных композитах. Рассчитана конструкция мобильного биореактора по переработке органических отходов. Разработана блок-схема пятиэтапной биотехнологии переработки органических отходов в условиях мобильного биореактора.

Структура и объем. Диссертационная работа оформлена в цифровом формате на 43 страницах компьютерного текста. По содержанию магистерская диссертация содержит введение (2 стр.), обзор литературы (16 стр.), материал и методику исследования (2 стр.), результаты исследования (21 стр.) и заключение (2 стр.). Диссертация содержит 3 рисунка, 11 таблиц. В библиографическом указателе литературы содержатся ссылки на 75 научных источников.

ANNOTATION

Subject. Development of waste processing technologies and constructions of a mobile bioreactor for waste processing.

Key words: organic waste, mobile bioreactor, aerobic biodegradation, anaerobic biodegradation, methanogenesis, biogas, leachate.

Objects of research: Organic waste is agricultural waste, food waste and organic waste in household waste.

Subject of research: The processes of aerobic and anaerobic biodegradation of organic waste in a mobile bioreactor.

The purpose of research. Development of waste processing technologies and constructions of a mobile bioreactor for waste processing.

Results. The technogenic transformation of xenobiotics and microbiocenosis in time in compostable model composites was studied. The design of a mobile bioreactor for the processing of organic waste was calculated. A block diagram of a five-stage biotechnology for processing organic waste in a mobile bioreactor has been developed.

Structure and volume. The dissertation is in digital format on 43 pages of computer text. The content of the master's thesis contains an introduction (2 page), a literature review (16 page), research material and methodology (2 page), research results (21 page) and a conclusion (2 page). The dissertation contains 3 figures, 11 tables. The bibliographic index contains references to 75 scientific sources.

АНДАТПА

Тақырып. Органикалық қалдықтарды өңдеу технологиясын әзірлеу және органикалық қалдықтарды өңдеуге арналған жылжымалы биореакторды жобалау.

Түйінді сөздер: органикалық қалдықтар, жылжымалы биореактор, аэробты биодеградация, анаэробты биодеградация, метаногенез, биогаз, фильтрат генезисі.

Зерттеу нысандары: Органикалық қалдықтар - бұл ауылшаруашылық қалдықтары, тамақ қалдықтары және қатты тұрмыстық қалдықтардағы органикалық қалдықтар.

Зерттеу пәні: Жылжымалы биореактордағы органикалық қалдықтардың аэробты және анаэробты биодеградация процестері.

Зерттеу мақсаты. Органикалық қалдықтарды өңдеу технологиясын әзірлеу және органикалық қалдықтарды өңдеуге арналған жылжымалы биореакторды жобалау.

Нәтижелер. Ксенобиотиктер мен микробиоценоздардың уақыт өте келе компостталатын модельді композиттерде техногендік өзгеруі зерттелді. Органикалық қалдықтарды өңдеуге арналған жылжымалы биореактордың дизайны есептелді. Жылжымалы биореакторда органикалық қалдықтарды өңдеудің бес сатылы биотехнологиясының блок-схемасы жасалды.

Құрылымы мен көлемі. Диссертация компьютерлік мәтіннің 43 парағында сандық форматта. Магистрлік диссертацияның мазмұны кіріспеден (2 бет), әдебиетке шолу (16 бет), зерттеу материалы мен әдістемесінен (2 бет), зерттеу нәтижелерінен (21 бет) және қорытындыдан (2 бет) тұрады. Диссертацияда 3 сурет, 11 кесте бар. Библиографиялық көрсеткіште 75 ғылыми дереккөздерге сілтемелер бар.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	10
1	Обзор научной и научно-методической литературы	12
1.1	Процесс биоразложения	12
1.2	Твердые бытовые отходы как источники получения энергии	18
1.3	Продукт получаемый от биоразложения	19
1.4	Факторы влияющие на процесс биоразложения	21
2	Объект, материал и методика научных исследований	28
2.1	Объект, материал и методика научных исследований по изучению техногенной трансформации ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемом модельном композите	28
2.1.1	Компостируемый композит « _{мо} ТБО + зола»	28
2.1.2	Компостируемый композит « _{мо} ТБО + коксуский шунгит (таурит)»	28
3	Результаты исследования	30
3.1	Техногенная трансформация ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемом модельном композите	30
3.1.1	Компостируемый модельный композит «Твердые бытовые отходы + зола»	30
3.1.2	Компостируемый модельный композит «Твердые бытовые отходы + коксуский шунгит (таурит)»	35
3.2	Расчет инженерной конструкции мобильного биореактора по переработке органических отходов	44
3.3	Технология переработки органических отходов в условиях мобильного биореактора	47
	Заключение	51
	Список использованной литературы	53

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Развитие урбанизированных территорий отождествляется, наравне с улучшением качества жизни, с обогащением этой среды органическими отходами, которые производятся населением в виде твердых бытовых органических отходов, производственными объектами в виде сельскохозяйственных органических отходов или пищевых отходов, коммунальными службами в виде осадков сточных вод при их очистки и обезвреживании. Поэтому разработка и внедрение в производство современных биореконструкционных способов переработки органических отходов актуально, т.к. они позволяют управлять органическими отходами в пространстве (от начала их сбора до поступления их на промышленные технологические площадки либо для централизованного обезвреживания, либо использования его в виде вторичного сырья для переработки) и во времени (биоразложение органических отходов; фильтратгенез, метаногенез; процессы очистки и обезвреживания фильтрата и биогаза).

Объекты исследования: Отходы органической природы – это сельскохозяйственные отходы, пищевые отходы и органические отходы в составе твердых бытовых отходов.

Предмет исследования: Процессы аэробного и анаэробного биоразложения органических отходов в условиях мобильного биореактора.

Цель исследований. Разработка технологии переработки органических отходов и конструкции мобильного биореактора по переработке органических отходов.

Задачи исследований:

- 1) изучить техногенную трансформацию ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемых модельных композитах;
- 2) рассчитать конструкцию мобильного биореактора по переработке органических отходов;
- 3) разработать блок схему биотехнологии переработки органических отходов в условиях мобильного биореактора.

Научная новизна. Совершенствованы технологии аэробной переработки органических отходов на основе применения таурита и золы, изучена активность ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемых композитах «твердые бытовые отходы + коксуский шунгит (таурит)» и «твердые бытовые отходы + зола»; в математическом эксперименте использованы факторы, которые оказывают влияние как на анаэробный процесс разложения органических отходов в составе твердых бытовых отходов (ТБО) свалочного тела полигона, так и на эмиссию из свалочного тела полигона ТБО биогаза и фильтрата.

Практическая значимость. Применение мобильных биореакторов имеет практическое значение для индивидуальных предпринимателей, малых фермерских и коммунальных хозяйств, обслуживающие небольшие

населенные пункты, которые заинтересованы в переработке органических отходов.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследовательской работы в виде двух тезисов представлялись и обсуждались на Сатпаевских чтениях (Алматы, 2020), две статьи опубликованы в научных журналах, рекомендованных ККСОН МОН РК [1-4].

Структура и объем. Диссертационная работа оформлена в цифровом формате на 43 страницах компьютерного текста. По содержанию магистерская диссертация содержит введение (2 стр.), обзор литературы (16 стр.), материал и методику исследования (2 стр.), результаты исследования (21 стр.) и заключение (2 стр.). Диссертация содержит 3 рисунка, 11 таблиц. В библиографическом указателе литературы содержатся ссылки на 75 научных источников.

1 Обзор научной и научно-методической литературы

1.1 Процесс биоразложения

Процесс переработки отходов органической природы (сельскохозяйственные отходы, пищевые отходы и органические отходы в составе твердых бытовых отходов) имеет различные пути исполнения, среди которых весомый вклад принадлежит биологическим способам переработки (биоразложение).

При биоразложении под действием различных групп микроорганизмов происходит распад сложных органических веществ на более простые. Процесс биоразложения обеспечивает:

2) утилизацию отходов за счет уменьшения их в объеме и массе;

1) производство продуктов биоразложения – компоста при аэробной и биогаза при анаэробной переработке, которые, в свою очередь, могут применяться в решении ключевых антропогенных задач, таких как биоремедиация антропогенно нарушенных экосистем при производстве компоста и производство возобновляемой энергии в виде тепловой или электрической, при производстве биогаза.

Биоразложение:

- представляет собой сложный биохимический процесс, который последовательно объединяет химические, физико-химические реакции,

- включает различные виды аэробных и анаэробных микроорганизмов, которые потенциально перерабатывают органические отходы, и производят компост при аэробном биоразложении и возобновляемую энергию при анаэробном [5].

Анаэробное разложение органических отходов:

- включает в себя ряд сложных микробных реакций, включая гармоничную конкуренцию и синтрофию для их субстратов во время процессов биотрансформации гидролиза, ацидогенеза и метаногенеза [6],

- широко практикуется как надежный механизм биохимического превращения [7],

- биологическая обработка, рассматриваемая как альтернативный источник энергии из-за большого количества энергетически ценного метана в биогазе, вместо использования ископаемого топлива [7],

- является эффективной технологией улучшения использования возобновляемой энергии и в то же время сокращения выбросов парниковых газов [8],

- может использоваться как для обработки твердых, так и жидких субстратов [8],

- применяется не только для анаэробной стабилизации ила в очистных сооружениях (очистных сооружениях), но и в процессах совместного сбраживания с другими органическими субстратами, такими как органическая

фракция ТБО (органическая фракция твердых бытовых отходов) или промышленных отходов [8],

- биологический процесс, с помощью которого органическое вещество превращается в метан и углекислый газ в отсутствие кислорода [9],

- сложный процесс, где протекают взаимные обмены субстратов и продуктов между твердой, жидкой и газовой фазами [9],

- направление биотехнологии, получившая по сравнению с другими вариантами утилизации повышенное внимание как средство, стабилизирующее биоразлагаемую часть органических отходов [10],

- как биологический процесс, в котором органический углерод в результате реакций окисления-восстановления превращается как в самое окисленное состояние (CO_2), так и в наиболее восстановленную форму (CH_4) [11],

- микробиологический процесс разложения органических веществ при отсутствии воздуха [12].

- процесс относится к биологической обработке, которая позволяет разлагать и стабилизировать широкий спектр органических отходов, от сложных лигноцеллюлозных материалов до легко разлагаемых пищевых отходов, одновременно производя возобновляемую энергию, восстанавливая волокна и питательные вещества для почвенной биоты и компенсируя выбросы парниковых газов [13],

- хорошо отработанная технология, которая превращает органическую фракцию в возобновляемое топливо, такое как метан [13].

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что анаэробное разложение представляет собой сложный биохимический процесс, который протекает при отсутствии воздуха и который последовательно объединяет химические и физико-химические реакции, включая различные виды микроорганизмов, которые, в свою очередь, позволяет разлагать и стабилизировать широкий спектр органических отходов.

Анаэробное разложение органических отходов протекает технологически, согласно одним авторам [14 - 17] в четыре фазы - гидролиз, ацетогенез, ацидогенез, метаногенез, которые совместно завершаются синтрофическими взаимодействиями различных микроорганизмов, по мнению других [18] различают две фазы: в первой происходит гидролиз, подкисление и разжижение, а во второй ацетат, водород и диоксид углерода превращаются в метан, а по версии третьих групп авторов [7, 18] три фазы: бактериальное разложение, улетучивание и фаза химических реакций [7]

Гидролиз известен как этап, где сложные органические соединения, такие как лигноцеллюлозные материалы, подвержены очень медленному разложению [17], поэтому этап ограничивает не только скорость процесса, который определяет продолжительность процесса расщепления [5], но и скорость производства биогаза [10].

В ходе прохождения данного этапа происходит следующая трансформация веществ:

1 Анаэробное разложение, в основном, фокусируется на уменьшении объема:

- большое начальное количество твердой органической фракции переводится в жидкое состояние (через гидролиз),

- после этого разные микроорганизмы превращают эту жидкость в летучие жирные кислоты и спирты (через ацидогенез),

- на последнем этапе эти кислоты и спирты превращаются в газы, прежде всего в CO_2 и CH_4 (через метаногенез).

2 Ацетогенез, предшествующий фазе метаногенеза, играет решающую роль в анаэробном разложении: ферментативные бактерии в первую очередь разлагают полисахариды до моносахаридов или глюкозы путем гидролиза, которые затем благодаря ацидогенезу превращаются в жирные кислоты, спирты и H_2 , CO_2 [19].

На рисунке 1 представлены ключевые фазы процесса анаэробного разложения.



Рисунок 1 – Ключевые фазы процесса анаэробного разложения органических отходов [12]

Из рисунка 1 видим, что при гидролизе такие вещества как углеводы, белки и жирные кислоты, превращаются в более простые и растворимые молекулярные соединения, такие как сахара, аминокислоты и жирные кислоты, при ацидогенезе, например, сахара, аминокислоты и жирные кислоты превращаются в органические кислоты или летучие жирные кислоты, спирты и некоторые неорганические соединения, такие как CO_2 , H_2 , H_2S и NH_3 , в свою очередь, ацетогенные бактерии при ацетогенезе превращают продукты

ацидогенеза в ацетат, водород и диоксид углерода [17]. При метаногенезе биоразложение органических отходов достигается за счет серии биохимических преобразований, которые можно разделить на первый этап, где происходит гидролиз, подкисление и разжижение и на второй этап, где ацетат, водород и диоксид углерода превращаются в метан [18].

Для анаэробного разложения в промышленном масштабе характерны две технологии:

- влажная,
- твердотельная.

Разница в концентрации твердых веществ (ниже или выше 15% соответственно). Влажное анаэробное брожение и твердотельное анаэробное брожение считаются двумя основными типами анаэробных технологий, которые были использованы для переработки твердых органических веществ в целях производства биогаза. Классификация между этими двумя технологиями основана главным образом на конкретном содержании общей концентрации твердых веществ ниже или выше 15% соответственно [13].

В основном используются два типа процессов ферментации:

- влажная,
- сухая.

В первом случае биомасса на входе в варочный котел имеет концентрацию твердого вещества ниже 12%, в то время как на заводах по сухому методу переработки концентрация твердого вещества превышает 20%. Все процессы влажного способа переработки работают непрерывно, тогда как для сухого брожения принимаются как периодические, так и непрерывные процессы [16].

Преимущества и недостатки сухого способа переработки представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки сухого и влажного (мокрого) способа переработки [16]

Преимущества сухого способа переработки	Недостатки сухого способа переработки
Нет необходимости в смесителях внутри реактора	Отходы с низким содержанием твердого вещества
Прочность и устойчивость к тяжелым инертным материалам и пластику	Минимальная возможность разбавления
Нет гидравлического короткого обращения низкая потеря биоразлагаемого органического вещества при предварительной обработке	Ингибирующие вещества и чрезмерные органические нагрузки с пресной водой
Применяется высокий коэффициент органической загрузки. Стойкость при пиковых концентрациях субстрата или токсичных веществ	Отходы с низкой влажностью (<20% общего количества твердых веществ) перерабатывают совместно с другими влажными отходами

Преимущества сухого способа переработки	Недостатки сухого способа переработки
Минимальная и экономичная предварительная обработка. Уменьшены объемы реакторов	Высокие инвестиционные затраты из-за оборудования, используемые для переработки
Ограниченное использование пресной воды. Минимальный запрос на нагрев реактора	-

Твердотельная (сухая) технология биоразложения - Dranco DRy ANaerobic Composting (Dranco):

1 Процесс Dranco хорошо подходит для переработки различных потоков отходов, таких как биологические отходы, смешанные отходы, промышленные органические вещества, бумажные отходы, рыночные отходы, сельские отходы, навоз, осадки сточных вод и др.

2 Процесс работает при 50–58 ° C со временем удерживания (период пребывания органического вещества в реакторе) 20 дней. Органическую фракцию предварительно обрабатывают для уменьшения ее размера ($d < 40$ мм).

3 Предварительно обработанную органическую фракцию смешивают с небольшим количеством пара и большим количеством перевариваемого остатка, поступающего из варочного котла.

4 Смесь предварительно нагревают и перекачивают в верхнюю часть варочного котла.

5 В зависимости от скорости подачи смеси требуется от двух до четырех дней, чтобы достичь дна варочного котла; тем временем полученный биогаз поднимается и выходит из варочного котла через крышу и льдины в хранилище газа.

6 Переваренный остаток извлекается из нижней части варочного котла с помощью болтов под коническим выпуском и отправляется для дальнейшего компостирования или используется в качестве органического компоста [16].

Технология PADSBR (секвенирующие реакторы периодического действия) работает при низкой температуре (20° C).

Установлено, что значение содержания CH_4 в биогазе, полученные из психрофильного реактора в текущем исследовании, аналогичны или лишь незначительно выше, чем у мезофильных и термофильных анаэробных реакторов. Наиболее заметно, что низкотемпературные системы анаэробного сбраживания особенно хорошо приспособлены для обработки нескольких органических отходов благодаря более низким уровням свободного аммиачного азота, чем в мезофильном или термофильном процессе [16].

Одностадийный/двух стадийный процесс анаэробного биоразложения. В одностадийной системе все биохимические реакции происходят в одном реакторе, в то время как двухступенчатая система состоит из высоконагруженного основного ферментера и низко нагруженного

вторичного ферментера, последовательно обрабатывающего дигестат на выходе первого [16].

Сравнения с другими технологиями можно сказать, что:

Сравнение с сжиганием. В целом, использование сжигания для управления органической фракцией твердых бытовых отходов показывает более высокие экологические выгоды по сравнению с анаэробным сбраживанием и компостированием, главным образом из-за более высокого количества извлекаемой энергии. На это значительное влияние оказал экологический эффект, вызванный предотвращением выбросов для производства энергии из энергетической смеси, состоящей, в основном, из ископаемого топлива. Кроме того, сценарий компостирования и анаэробного сбраживания, указывает на генерацию биогенных выбросов с высоким уровнем потенциала на глобальное потепление.

Основные выводы были следующими:

- незначительный вклад в общее воздействие сбора, сжигание дало экологическую выгоду,
- удаление остатков на свалках внесло существенный вклад в экологическую нагрузку сценария с компостированием и анаэробным сбраживанием.

Если сжигание невозможно из-за чрезмерных затрат, компостирование в любом случае рекомендуется при условии, что с отходами обращаются иначе, чем с захоронением [20].

В таблице 2 кратко изложена информация по способам (сценариям) переработке ТБО в сравнительном аспекте.

Таблица 2 – Сценарии переработки ТБО [21]

Сценарий	Название	Краткая характеристика
1	захоронение без сбора биогаза	Производит наибольшее количество экологически токсичных твердых отходов, что вызывает более высокие воздействия токсичности
2	захоронение с биогазовым сбором	Сценарии, основанные на отходах и энергии, показали лучшие результаты по сравнению с другими сценариями. Представляет планирование утилизации ТБО в период 2016–2035 гг
3	компостирование и захоронение без сбора биогаза	Выявил высокие значения энергопотребления из-за низкой рекуперации энергии. представляет систему утилизации, которая включает в себя три метода обработки, а именно: анаэробное сбраживание, сжигание и захоронение
4	переработка и компостирование	С точки зрения эффекта парниковых газов был признан наиболее осуществимой системой. С точки зрения потенциала подкисления оказывает наибольшее влияние из-за выбросов NO _x и NH ₃ в процессе компостирования

Сценарий	Название	Краткая характеристика
5	компостирование и сжигание отходов	При сжигании отмечен высокий выброс загрязняющих веществ
6	анаэробное сбраживание, переработка, и захоронение отходов	Наибольшее фотохимическое воздействие окислителя было вызвано случаями термической обработки и анаэробным сбраживанием из-за высокого выброса загрязняющих веществ
7	анаэробное сбраживание и сжигание	был наиболее выполнимой стратегией управления из-за восстановления энергии; было достигнуто минимальное количество конечных экологически токсичных твердых отходов

Из таблицы 2 следует, что:

1) в целом сценарий 7 был признан сценарием с минимальным вкладом во все категории воздействия (за исключением категории фотохимического окислителя). Таким образом, сочетание технологии сжигания и анаэробного сбраживания является наилучшей альтернативой [21];

2) в сценарии 1 самый высокий уровень выбросов парниковых газов и самая низкая стоимость, тогда как в сценарии 3 самые низкие выбросы парниковых газов и самая высокая стоимость;

3) с учетом общественного признания сценарий 3 может быть считается оптимальной системой утилизации ТБО [22].

Результаты многокритериального анализа сценариев переработки органической фракции ТБО показали, что лучшим сценарием является анаэробное сбраживание. Средняя экономическая затрата оценивается путем определения экономических затрат и экологических затрат на тонну ТБО. По общей стоимости всей переработки ТБО, выработанной в разных городах, и с помощью подхода многокритериального анализа (метод ELECTRE) установлено, что наилучшим сценарием с оптимальными экологическими затратами и экономическими затратами являются: компостирование органических отходов, переработка отходов пластика, бумаги, стекла и других отходов, подлежащих захоронению, также установлено, что анаэробное разложение является лучшим сценарием для органических фракций ТБО с низкими затратами на экономические затраты и экологические затраты [17].

1.2 Твердые бытовые отходы как источники получения энергии

Твердые бытовые отходы (ТБО) - это твердые отходы, которые обычно называют мусором, который ежедневно образуется домашними хозяйствами, коммерческими предприятиями, промышленными или другими предприятиями [5]. Органическая фракция ТБО представляет собой органическую часть всех бытовых, коммунальных и промышленных отходов, собранные муниципалитетами [23].

Твердые бытовые отходы (ТБО) — это название, которое присваивается различным, в основном, неопасным, биоразлагаемым / неразлагаемым веществам, углеродистым / неуглеродистым и многоразовым / непригодным для использования твердым отходам, которые мы производим в ходе повседневной жизни и регулирования коммерческой деятельности [24].

Для коммерческого производства биогаза предпочтительны богатые белком отходы по сравнению с другими материалами, поскольку они имеют высокий биометановый потенциал [13].

Органическая фракция ТБО обычно очень разнообразна по своей природе. Ее анаэробная способность к разложению зависит от ее состава с точки зрения углеводов, белков, липидов и медленно разлагаемых фракций, таких как лигно-целлюлозы [25].

Сырье с высоким содержанием летучих веществ. Эти отходы (органическая фракция) представляют особый интерес для анаэробного сбраживания из-за высокого содержания летучих веществ, которые предлагает органическая фракция [25].

В этом контексте твердые бытовые отходы являются примечательным источником биомассы, т.к. содержание органических веществ обычно варьируется от 40 до 60% от общего объема твердых бытовых отходов в зависимости от таких факторов, как уровень развития страны, численность населения, существующие программы утилизации и другие [26, 27].

Как правило, биоразлагаемая фракция ТБО (то есть остатки пищи и биомассы, бумага, и картон) колеблется от 30% до 65% [12].

1.3 Продукт получаемый от биоразложения

Основными компонентами биогаза, получаемого из анаэробного сбраживания твердых отходов, являются метан (48–65%), диоксид углерода (36–41%), азот (до 17%), кислород (<1%) и следы других газов, например H_2S [5, 16, 19, 27, 28, 29].

Таким образом, биогаз является универсальным возобновляемым источником энергии, состоящим из 65% метана [16].

Потенциал образования метана часто сообщается между 170 и 310 m^3/t [27].

Биогаз, содержащий 64-69% метана, обладает общим энергетическим потенциалом 23-25 МДж / m^3 Теплотворная способность биогаза составляет около 6 кВтч / m^3 , что эквивалентно 0,5 л дизельного топлива [18].

Отход от анаэробного разложения после производства биогаза известен как дигестат, также может быть дополнительно стабилизирован и превращен в качественную почвенную подпитку - компост [7].

Наличие фермы, которая может использовать дигестат / био-суспензию в качестве кондиционера почвы или органического удобрения и в качестве воды для фертигации или жидкого удобрения, может освободить растение от значительной нагрузки [31].

При анализе различных вариантов управления отходами обнаружили, что анаэробное биоразложение приводит к большим экологическим преимуществам по сравнению с компостированием. Valerio (2010) сообщил, что биологический метод переработки органических фракций, таких как анаэробное брожение + компостирование продуктов анаэробного брожения (дигестат) + компостирование (компост), может быть уменьшено, если конечный продукт (дигестат, компост) используется в сельском хозяйстве [20].

Другим возможным решением для обращения с органической фракцией отходов является сжигание. Сжигание органической фракции приводит к рекуперации энергии и значительному снижению количества биологической реакционной способности образующихся отходов, даже если при более высоких затратах по сравнению с биостабилизацией и захоронением отходов [20].

Таким образом, большие количества ТБО, произведенные в городах, могут быть переработаны в ценные продукты, такие как дигестат, которые могут использоваться для пополнения питательных веществ в почве. Дигестат от анаэробного сбраживания ТБО богат питательными веществами, такими как азот, фосфор, калий и микроэлементы, которые подходят для применения на суше для улучшения структуры почвы. При анаэробном разложении органической фракции ТБО дигестат может содержать до 50% органического азота и 50% аммиака [17].

Помимо использования дигестата в качестве удобрения или органического удобрения в почве, он также может использоваться в качестве твердого топлива из биомассы. Теплотворная способность варьирует от 15 до 15,8 МДж / кг, что выше по сравнению с древесным топливом. Следовательно, дигестат может использоваться в качестве альтернативной энергии древесного топлива [17].

Качество дигестата зависит от нескольких факторов, таких как:

- природа перерабатываемых материалов,
- процесс биоразложения,
- рабочие температуры,
- время удерживания.

Дигестат может содержать патогенные микроорганизмы, поэтому перед его выгрузкой или повторным использованием может потребоваться предварительная обработка для получения качественного и безопасного дигестата. При моноразложении органической фракции ТБО может образовываться дигестат, который можно безопасно использовать повторно в качестве удобрения. Однако в крупномасштабном производстве биогаза могут быть использованы несколько видов отходов, включая сточные воды, следовательно, дигестат может не подходить для прямого повторного использования или сброса. Анаэробный дигестат может быть использован в качестве удобрения или органической добавки в зависимости от питательных веществ, содержащихся в них. Как правило, чем выше процентное содержание

минерального азота в дигестате по отношению к органической фракции, тем больше отходов пригодны для использования в качестве удобрений. И наоборот, чем ниже процентная доля минерального азота по сравнению с органическим, тем больше дигестат подходит для использования в качестве органической добавки [17]. Наличие моноцитогенов было обнаружено в отходах и в дигестате. Из рискованных элементов в основном Zn, Cu и Cr концентрировались в дигестате [32].

Гидрокарбонат, полученный из дигестата, не рекомендуется в качестве твердого топлива, так как его зольный химический состав и прогнозируемые характеристики шлакования и загрязнения менее чем идеальны для сжигания [33].

Таким образом, обработка дигестата при температуре выше 150° С дает мало преимуществ, и следует найти альтернативное применение полученного гидрокарбоната, например его использование для внесения в почву [33].

Хорошо известно, что анаэробный дигестат пищевых отходов содержит высокую концентрацию аммиака и растворенного углекислого газа. Аммиак может быть удален из дигестата путем удаления воздуха при повышенном рН. Тем не менее, трудно повысить рН дигестата, потому что растворенный диоксид углерода превращается в бикарбонат и карбонат-ионы. Таким образом, двуокись углерода в дигестате должен быть удален, чтобы уменьшить потребление щелочи в процессе десорбции аммиака [34]. Было проведено много исследований для повышения эффективности удаления диоксида углерода путем использования различных десорбирующих газов, путем изменения температуры дигестата и путем оптимизации рабочих условий ректификационных реакторов [34].

Диффузионный аэратор, работающий в оптимальных условиях,:

- удаляет 82,1% растворенного диоксида углерода,
- удаляет 13,7% общего неорганического углерода из анаэробного дигестата пищевых отходов,
- увеличивает рН дигестата на 0,66.

В случае насадочного башенного аэратора можно:

- удалить 69,8% растворенного углекислого газа,
- удалить 7,7% общего неорганического углерода,
- увеличить рН варочного раствора на рН 0,49 после десорбции.

Таким образом, диффузионный тип аэратора может быть лучшим вариантом по сравнению с типом насадочной башни, особенно когда эффективность удаления углекислого газа достаточно высока. Экспериментальные результаты показали, что оба типа аэраторов достигли эффективности удаления общего неорганического углерода менее 30% [34].

1.4 Факторы влияющие на процесс биоразложения

В таблице 3 перечислены и описаны факторы, влияющие на процесс биоразложения.

Таблица 3 – Факторы, влияющие на процесс биоразложения

Фактор	Характеристика	Ссылка
C/N	Анаэробный процесс развивается при благоприятных условиях, когда C / N составляет от 20:1 до 30:1.	[12]
	Поддержание синергетического эффекта микробной активности посредством улучшения баланса питательных веществ повышает стабильность процесса в целом.	[13]
	Улучшает выход биогаза: связано с лучшим соотношением C:N, если ТБО смешивается с навозом.	[24]
	Процесс нестабилен из-за низкого отношения C / N, пищевых отходов; процесс имеет тенденцию быть быстро подкисленным, что может ингибировать метаногены, когда сырье недостаточно перемешано, забуферено и дозировано.	[18]
Субстрат/ инокулят	Более высокое отношение субстрата к инокуляту 1,5–2,0 вызывает накопление летучих жирных кислот, это может привести к выходу из строя реактора.	[35]
	Увеличение органической загрузки с целью ингибирования процесса и дальнейшее восстановление процесса путем уменьшения органической загрузки и переход в нормальное кормление, приводит к увеличению выхода биогаза.	[14]
	При потреблении летучих жирных кислот высвобождается HCO_3 , который ранее был объединен с летучими жирными кислотами, что приводит к увеличению общей щелочности в биореакторе. Повышенная общая щелочность увеличивает pH в биореакторе, что приводит к уменьшению CO_2 и повышению CH_4 . Более высокая концентрация общей щелочности и pH на этой стадии подтверждают этот вывод.	[14]
Температура	Часто применяемый при анаэробном разложении отходов диапазон температур мезофильный (37°C ; $35\text{--}42^\circ\text{C}$) и термофильный (55°C ; $45\text{--}60^\circ\text{C}$). При термофильном режиме тяжелее контролировать стабильность процесса, метод более чувствителен к токсическим веществам и изменениям эксплуатационных параметров; скорость реакции и кинетика увеличиваются, что приводит к возможности более высоких скоростей загрузки, таким образом увеличивая производство биогаза. Мезофильный режим обеспечивает снижение энергозатрат на обогрев и стабильность процесса.	[16]
	Термофильный режим более чувствителен к изменениям окружающей среды, чем мезофильный процесс.	[18]
	Из-за резкого падения температуры с 50°C до 20°C , скорость метаногенеза снижается, в среднем, в 5-8 раз.	[30]
	В термофильном режиме при высокой органической загрузке более высокое накопление летучих жирных кислот приводит к дисбалансу между ацидогенезом и метаногенезом в микробном сообществе.	[15]
	Психрофильный режим применяют для обработки отходов животных, содержащих избыток аммиака, без ингибирования и не влияющих на выход метана.	[18]

Фактор	Характеристика	Ссылка
Химические соединения	Общая концентрация аммиачного азота между 1500-7000 мг/л ингибируют анаэробную реакцию. Рекомендуется, чтобы концентрация никогда не достигала диапазона 1500-3000 мг/л.	[13]
	В анаэробном процессе сульфат восстанавливается в сульфид с помощью сульфатредуцирующих бактерий. Произведенный сульфид может ингибировать процесс либо из-за токсичности, либо из-за конкуренции за общий органический субстрат, вызывая стресс для метаногенеза или вследствие токсичности сульфида на различные популяции бактерий.	[13]
	Летучие жирные кислоты в виде недиссоциированных (неионизированных) кислот токсичны для микроорганизмов из-за их способности проникать через клеточную мембрану. молекулы недиссоциированной кислоты проходят через проницаемую мембрану, чтобы повлиять на внутриклеточный рН бактериальной клетки, что приведет к ограничению микробного роста и активности.	[36]
	Соотношение общего содержания летучих жирных кислот к недиссоциированным кислот должно поддерживаться на уровне 20 г/л.	[36]
	Образование летучих жирных кислот во время биоразложения может привести к подкислению среды и замедлению полного превращения органического вещества в биогаз.	[29]
	Существует серьезная техническая проблема, которая препятствует использованию муниципальных отходов на биогазовой установке; процесс анаэробного сбраживания чувствителен к токсикантам, и существует широкий спектр соединений, которые могут быть найдены в составе муниципальных отходов, которые могут нарушить процесс.	[31]
	Гидролиз и метаногенез могут быть ограничивающими скорость этапами при анаэробном сбраживании из-за накопления нежелательных летучих жирных кислот. Тем не менее, контроль и оптимизация основных эксплуатационных параметров могут улучшить эффективность процесса и обеспечить стабильное образование метана.	[13]
	<ul style="list-style-type: none"> – концентрации летучих жирных кислоты между 5800 и 6900 мг/л ингибируют метаногенную активность при анаэробном брожении пищевых отходов; – метаногенная активность ингибируется при концентрации летучих жирных кислот 18000 мг/л в полунепрерывной анаэробного брожения пищевых отходов; – при анаэробном брожении пищевых отходов метаногенная активность ингибируется при концентрации летучих жирных кислот 30000 мг/л; – ингибирование наблюдается при скорости органического введения 4,0 г/л летучих твердых веществ при переработке анаэробным брожением пищевых отходов. 	[17]

Фактор	Характеристика	Ссылка
Химические соединения	В водных анаэробных процессах аммиак существует в двух основных формах; аммонизированный аммиак (NH_3) и ионизированный аммиак (NH_4^+), которые вместе образуют общий аммиачный азот. NH_3 и NH_4^+ существуют в равновесии и являются обратимыми в зависимости от температуры и pH.	[17]
	При pH 6,5 и температуре от 25° до 37° С неионизированный аммиак составляет почти 0%, а при температуре 55° С неионизированный аммиак составляет почти 5%, что указывает на меньшую токсичность в системе анаэробного брожения. Аналогично, при pH 8,5 и температуре от 25° до 37° С свободный аммиак составляет приблизительно 15-30%. При том же pH 8,5, но при более высоких температурах 55° С концентрация свободного аммиака составляет почти 60%, что указывает на высокую токсичность в системах анаэробного брожения. Можно сделать вывод, что с ростом pH и температуры концентрация неионизированного аммиака также увеличивается.	[17]
Давление	Чем ниже атмосферное давление, тем ниже парциальное давление CO_2 – это ведет к увеличению pH среды, а это в свою очередь улучшает процесс анаэробного разложения. Так, в высокогорных районах, где атмосферное давление относительно низкое, процесс анаэробного разложения должен был бы продолжаться при относительно низком парциальном давлении CO_2 , что приводит к увеличению pH среды. Это позволило бы системе анаэробного разложения противостоять подкислению и достичь более высокой скорости органической загрузки.	[19]
Добавки	Про добавки в виде золы. Уточняется что зола взята после сжигания именно ТБО. Здесь также различают два вида золы: летучая зола и осевшая (твердая) зола. Отмечается что время удержания твердых частиц равное 20 дням – есть оптимальное значения данного параметра. Т.к. при показателях в 5, 10, 15 и 30 скорость производства биогаза ниже. Касательное золы, добавление твердой (осевшей золы) больше увеличивают скорость, чем если добавлять летучую золу.	[19]
	Проводились опыты при 20° и 50° С. Использовались следующие добавки: почва ТБО, спрессованные осадки сточных вод и их смесь. Вывод: почва ТБО как инокулят ускоряет процесс, так же как и спрессованные или декантированные осадки сточных вод. Результат их смеси выше чем результат, когда их добавляют по отдельности. Такое наблюдалось как при 20° С, так и 50° С.	[30]
	Использование совместного разложения органической фракции ТБО и фракции овощи/фрукты увеличило совокупный выход биогаза и накопленную выработку метана по сравнению с моноразложением.	[30]

Фактор	Характеристика	Ссылка
Добавки	Использование навоза и инокулята позволило улучшить стабильность фазы метаногенеза с меньшим изменением значения pH, что способствовало повышению концентрации CH ₄ в биогазе (с 45,6% до 55,73%).	[30]
	Производство биогаза увеличилось примерно на 26% по сравнению с анаэробным брожением органической фракции ТБО с жидким инокулятом.	[30]
	Анаэробное совместное расщепление органической фракции ТБО с другими типами органических субстратов привело к стабильности процесса анаэробного брожения и улучшило состав биогаза за счет увеличения концентрации метана и образования биогаза. Среднесуточная добыча метана во время фазы метаногенеза составила 0,405 м ³ по сравнению с 0,261 м ³ в случае органической фракции ТБО (моноразложение). В конце экспериментов совокупное производство метана было выше примерно на 39%, а в случае совместного сбраживания достигло значений 8,21 м ³	[12]
	Анаэробное разложение становится более стабильным при использовании различных видов органических отходов: органической фракции ТБО со сточными водами осадка; органической фракции ТБО с сельскохозяйственными отходами; и органической фракции ТБО с навозом животных.	[12]
	Добавление гранулированного активированного угля было использовано для улучшения фаз ацидогенеза и ацетогенеза процесса анаэробного брожения. Благодаря наличию пор на поверхности гранулированного активированного угля может служить таким целям, как иммобилизация синтрофных микроорганизмов, адсорбция ингибиторов и содействие прямому межвидовому переносу электронов в процессе анаэробного брожения.	[12]
	Добавление гранулированного активированного угля к анаэробному брожению пищевых отходов привело к увеличению потребления летучих жирных кислот, увеличению производства метана, способствовало росту метаногенов и уменьшило лаг-фазу, ускоряет деградацию пропионата и бутирата при высокой органической нагрузке, которая впоследствии увеличивает производство метана. Считается, что высокая деградация летучих жирных кислот при добавлении гранулированного активированного угля была обусловлена усилением синтрофических связей между бактериями; Добавление гранулированного активированного угля к анаэробному брожению органической фракции ТБО стимулировало рост бактерий и метаногенов, улучшало деградацию летучих жирных кислот и увеличивало скорость производства метана.	[17]

Фактор	Характеристика	Ссылка
Ионы	Оптимальная концентрация ионов Са для положительного влияние на химическое удаление кислорода (ХПК) в анаэробных реакторах составляет от 100 до 300 мг/л и что ингибирующий эффект на биологическую активность имеет место, когда концентрация ионов Са превышает 2000–2500 мг/л.	[37]
	Концентрации Са 2000 и 4000 мг/л вызывают небольшое и умеренное ингибирование метана соответственно производство при анаэробном сбраживании модели фильтрата ТБО. Концентрации Са от 6000 до 8000 мг/л значительно снижают выработку метана (до 35% в этом исследовании) и увеличить время лаг фазы (до 16 дней в этом исследовании).	[37]
	SO_4^{2-} – концентрация должна тщательно контролироваться в анаэробных операциях, поскольку она преобразуется в H_2S , что создаст проблемы.	[8]
	PO_4^{3-} – фосфор, как и азот, является важным питательным веществом для биологического обмена; по этой причине сбалансированное присутствие этого элемента является хорошим фактором для каждого анаэробного процесса.	[8]
	Ингибирующее влияние ионов металлов: Mg^{2+} ингибирует метаногенез, когда он достигает 720 мг/л. Также высокие концентрации (> 100 мМ) иона магния могут вызвать дезагрегацию метаногенов; Ca^{2+} был умеренно ингибирующим для микроорганизмов в концентрациях выше 300 мг/л., а чрезмерное количество Ca^{2+} может вызвать осаждение карбонатов и фосфатов, что приводит к образованию накипи на реакторах, трубах и биомассе; таким образом, он снижает удельную метаногенную активность и приводит к потере буферной емкости. K^+ при концентрации выше 3 мг/л токсичны для микроорганизмов. Fe^{3+} ингибирует 52–82% активности метаногенеза с концентрациями 21 мг/л или выше, потому что Fe^{3+} может дезактивировать ферменты микроорганизмов, реагируя с их функциональными группами.	[13]
	Добавки Se и Co улучшают стабильность процесса и предотвращают сбой процесса. Добавление железа (Fe), Co и никеля (Ni) в анаэробное разложение ТБО снижает ингибирование летучих жирных кислот и увеличивает выработку метана и стабильность процесса в варочных котлах. Добавление микроэлементов к долгосрочному анаэробному брожению пищевых отходов приводит к стабильным операциям и предотвращению накопления летучих жирных кислот. Поэтому нехватка микроэлементов в большинстве субстратов является одним из факторов, способствующих накоплению и ингибированию летучих жирных кислот.	[17]

Фактор	Характеристика	Ссылка
рН	рН является основным рабочим параметром, который необходимо тщательно контролировать при непрерывных операциях: хорошо известно, что увеличение летучих жирных кислот концентрация обусловлена дисбалансом процесса, то есть ацидогенез быстрее, чем метаногенез.	[8]
	Снижение рН ведет к ингибированию процесса анаэробного сбраживания.	[8]
	Диапазон рН 6.8–7.3 является наиболее благоприятным для метанообразующих бактерий.	[19]
	Максимальный выход биогаза и метана были получены в процессе анаэробного периодического биоразложения, когда соотношение субстрата к инокуляту находился в диапазоне 0,5–1,0; для процесса анаэробного совместного биоразложения оптимальном соотношении субстрата к инокуляту является 0,25.	[35]
	Оптимальные показатели анаэробных микроорганизмов достигаются при нейтральном рН (6,8–7,2).	[13]
	При более высоком рН 8,5, неионизированный аммиак в высокой степени (2473 мг/л) ассоциировался с продуктами биогаза, что подтверждает токсичность аммиака, в частности для отходов кожевального производства. Напротив, при рН 4,5 аммиачный азот был минимальным (510 мг/л), но высоким летучих жирных кислот (26803 мг/л), которые ингибировали метаногенов.	[13]
	Отходы, богатые углеводами, такие как отходы фруктов и овощей, вызывает быстрое образование кислоты на начальной стадии анаэробного разложения, что снижает значение рН в биореакторе. Если это изменение остается не исправленным, продолжающееся накопление кислот будет ингибировать метаногенную активность.	[36]
Микробиоценоз	<p>Этап гидролиза: <i>Clostridium</i>, <i>Proteus Vulgaris</i>, <i>Bacillus</i>, <i>Bacteriodes</i>, <i>Micrococcus</i>, <i>Staphylococcus</i>;</p> <p>Этап ацидогенеза: факультативные и облигатные анаэробные бактерии (<i>Lactobacillus</i>, <i>Escherichia</i>, <i>Staphylococcus</i>, <i>Bacillus</i>, <i>Sarcina</i>, <i>Veillonella</i>, <i>Desulfobacter</i>, <i>Desulforomonas</i>, <i>Eubacterium limosum</i> и др.);</p> <p>Этап ацетогенеза: гомоацетогенные микроорганизмы <i>Syntrophomonas wolfei</i>, <i>Clostridium aceticum</i>, <i>Moorella thermoacetica</i>;</p> <p>Этап метаногенеза: ацетотрофные и гидрогенотрофные метаногены (<i>Methanobacterium</i>, <i>Methanobrevibacterium</i>, <i>Methanoplanus</i>, <i>Methanospirillum</i>, <i>Methanosaeta</i>, <i>Methanosarcina</i>).</p> <p>В анаэробной зоне свалки органическое вещество последовательно разлагается микроорганизмами метаногенных сообществ (гидролитических, ферментирующих, ацетогенных бактерий и метаногенных архей). Большинство были отнесены к типу <i>Bacteroidetes</i>, <i>Firmicutes</i>, <i>Chloroflexi</i>, <i>Spirochaetae</i> и <i>Synergistete</i>.</p>	[13, 14, 19, 30]

2 Объект, материал и методика научных исследований

2.1 Объект, материал и методика научных исследований по изучению техногенной трансформации ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемом модельном композите

2.1.1 Компостируемый композит «_{мо}ТБО + зола»

Объектом исследования послужили модельные образцы ТБО (_{мо}ТБО), образующиеся, в среднем, в условиях юга и юго-востока Казахстана [26]. Компостирование проводили по методике, изложенной в работах [38,39]. В связи с преобладанием на территориях России и Казахстана комплексного сбора ТБО подготовленный модельный образец, содержащий все компоненты [26], был подвергнут измельчению до грубодисперсной гетерогенной смеси (3-5 мм). Изучение физико-химической и микробиологической трансформации компостируемого композита «_{мо}ТБО+зола» проводили в трёх повторных экспериментах в зависимости от фазы компостирования и количества добавленной в композит золы: 50 (опыт 1), 100 (опыт 2) и 150 г/кг ТБО (опыт 3).

2.1.2 Компостируемый композит «_{мо}ТБО + коксуский шунгит (таурит)»

Объектом исследования послужили модельные образцы ТБО (_{мо}ТБО; таблица 4), образующиеся, в среднем, в условиях юга и юго-востока Казахстана [26].

Таблица 4 – Морфологический состав модельного образца ТБО

Протокол загрузки контейнера	Компоненты					
	Органика	Бумага	Пластик	Стекло	Металл	Другое
100 %, из них	56	11	4	8	4	17

Как видно из таблицы 4, в подготовленном для эксперимента модельном образце ТБО (100 %), содержание органических компонентов было 56 %, из которых 62 % составили отходы растительного и 31 % животного происхождения.

Компостирование проводили по методике, изложенной в работах [38, 40, 41, 42, 43, 44].

В связи с преобладанием комплексного сбора ТБО на территории Казахстана подготовленный модельный образец, содержащий все компоненты (таблица 4), был подвергнут измельчению до грубодисперсной гетерогенной смеси (3-5 мм).

В таблице 5 показаны общие принципы, использованные в эксперименте при компостировании модельных образцов твердых бытовых отходов.

Таблица 5 – Общие принципы, использованные в эксперименте при компостировании модельных образцов твердых бытовых отходов

Показатель	Фазы компостирования			
	Лаг	Мезофильная	Термофильная	Созревания
Температура, °С	18-19	25-29	60	29-30
W, %	26-28	50-55	49-52	50-55
Аэрация	Ворошение компостируемого композита (раз в 10-15 дней)			
Особенность [7-15]	Адаптация и размножение мезофильных микробов. Распад простых сахаров и углеводов.	Завершается распад простых сахаров и углеводов и начинается распад сложных молекул (белки, жиры, сложные углеводы).	Размножение термофильных микробов. Ускоренный распад белков, жиров и сложных углеводов	Органические вещества образуют устойчивые комплексы (гумус)

Как видно из таблицы 5, процесс компостирования, продолжительностью 94 дня, проходил в контролируемых физических условиях.

Изучение физико-химической и микробиологической трансформации компостируемого композита «твердые бытовые отходы + коксуский шунгит (таурит)» («_{мо}ТБО + коксуский шунгит (таурит)») проводили в трёх повторных экспериментах в зависимости от фазы компостирования и количества добавленного шунгита: 50 (опытная группа 1), 100 (опытная группа 2) и 150 г/кг ТБО (опытная группа 3).

3 Результаты исследования

3.1 Техногенная трансформация ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемом модельном композите

3.1.1 Компостируемый модельный композит «Твердые бытовые отходы + зола»

Для изучения изменчивости активности ксенобиотиков и микробиоценоза в компостируемом модельном субстрате «твердые бытовые отходы» («_{мо}ТБО») была использована в качестве сорбента зола, полученная от сжигания каменного угля марки Д (длиннопламенный) месторождения «Шубаркуль» (Шубаркольский угольный разрез), расположенный в Нуринском районе Карагандинской области [45]. Выбор пал на данный тип золы вследствие большого содержания в них диоксида кремния (57,09 %) [46]. Ведь по результатам некоторых работ установлено, что диоксид кремния в почвах увеличивает содержание подвижных фосфатов [47, 48] и повышает доступность фосфора растениям [49.]. Кроме того, зола хорошо зарекомендовала себя в качестве сорбента [50] для очистки техногенно загрязненных экосистем.

Задачи исследования: изучение техногенной трансформации ксенобиотиков и микробиоценоза в компостируемом модельном композите «_{мо}ТБО+зола» во времени по стадиям развития.

Изучение физических и органолептических свойств компостируемого субстрата «_{мо}ТБО+Зола» во времени показало, что физические свойства (W , t , аэрация) во времени управляемо контролировались, тогда как на органолептические свойства, особенно на запах, оказывало влияние количество введенной золы: чем больше количество введенной золы, тем быстрее компостируемый субстрат «терял» тухлый запах, зафиксированный для всех вариантов вначале опыта. Так, если при добавлении золы 50 г/кг ТБО запах на лаг фазе от тухло-плесневого переходит в плеснево-землянистый на термофильной фазе, то при добавлении золы 100 и 150 г/кг ТБО, на стадии мезофильного развития субстрат приобретает соответственно плесневый и плеснево-землянистый запах, а на стадии созревания – землянистый.

Химический состав компостируемого композита «_{мо}ТБО+зола» по фазам развития показало (таблица б), что при добавлении в субстрат золы в количестве 50 г/кг ТБО, активность исследуемых ксенобиотиков увеличилась на 60–200 % в зрелом компосте по сравнению с субстратом перед началом эксперимента. Так, для таких веществ, как CH_2O (60%), В (64%), Со (68%), Сг, Zn (78%), NO_3^- (88%) и Al первоначальными данными, а для Cd (103%), Pb (106%), Fe_{total} (111%), Cl⁻ (112%), Cu (130%), Ni (145%), PO_4^{3-} , SO_4^{2-} (150%), Mn (158%), Ba (167%), Se (196%), Mo (200%), Hg (320%) – более, чем на 100 %.

Таблица 6 – Химический состав компостируемого композита «_{мо}ТБО+зола» во времени по фазам развития

№	Название	_{мо} ТБО+зола, 50 г/кг					_{мо} ТБО+зола, 100 г/кг					_{мо} ТБО+зола, 150 г/кг				ПДК мг/кг	Источник	Допуст. содер. в компосте мг/кг [57, 58, 59]	
		Начало эксп	Фаза*				Начало эксп	Фаза*				Начало эксп	Фаза*						
			1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3				4
1	Cr	0,09	0,13	0,23	0,22	0,16	0,12	0,13	0,23	0,56	0,1	0,05	0,16	0,11	0,28	0,08	0,5	14	<50
2	Hg	1	1,4	3	2,8	3,2	1,2	1,8	3,3	8,4	2,4	0,8	2,4	1,4	1,7	1,3	2,1	14	<0,3
3	B	2,2	1,9	6	5,1	3,6	3,5	3,1	5,5	14,6	2,4	1,3	3,4	3,5	3,4	1,6	50	16	-
4	Cd	13	13,4	37,8	34	26,4	19,3	21	35,1	80	17,8	8,7	24,5	18,8	22,3	11,2	2	17	<0,7
5	Zn	0,18	0,41	0,43	0,4	0,32	0,25	0,25	0,43	1,08	0,18	0,1	0,3	0,2	0,86	0,17	23	14	<200
6	Co	0,19	0,16	0,47	0,42	0,32	0,27	0,26	0,44	1,06	0,2	0,11	0,28	0,24	0,34	0,14	5	14	<25
7	Mo	6	8,1	20,6	19,5	18	8,1	11,3	17,7	36,4	14,6	4,4	15,5	8,9	10,4	7,2	5	18	5
8	Pb	31	35	87	81	64	42	49	82	316	40	20	59	40	65	28	32	14	<100
9	Se	0,27	0,39	0,92	0,88	0,8	0,35	0,51	0,79	2,32	0,64	0,2	0,69	0,38	0,52	0,33	10	15	2
10	Al	0,13 7	0,13	0,43 2	0,35 3	0,27 2	0,21 8	0,21 8	0,36 4	1,04	0,18 2	0,08 5	0,24 3	0,25 8	0,19 9	0,11 2	150	19	<20
11	Ba	15	18	48	43	40	22	26	42	98	30	11	33	25	22	15	200	20	-
12	Mn	1,29	1,61	4,14	3,83	3,33	1,82	2,3	3,7	7,94	2,54	0,91	2,96	1,83	2,28	1,34	1500	14	-
13	Cu	0,20	0,24	0,64	0,59	0,46	0,29	0,36	0,59	1,25	0,33	0,14	0,44	0,29	0,38	0,19	3	14	<60
14	Ni	0,20	0,25	0,63	0,59	0,49	0,29	0,36	0,58	1,22	0,37	0,14	0,45	0,29	0,38	0,21	4	14	<20
15	NO ₃ ⁻	6,4	7,4	29	25,8	12	10,4	12,6	26,3	59	8,2	4	16,3	9,5	15,8	5,9	130	14	-
16	PO ₄ ³⁻	0,02	0,03	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,18	0,04	0,01	0,03	0,03	0,09	0,02	27,2	14	-
17	Cl ⁻	1,7	3,4	10,6	9,6	3,6	2,6	3,9	8,9	15,2	3	1,1	6	2,6	8,2	1,8	560	21	-
18	Fe _{total}	0,36	0,38	1,08	0,96	0,76	0,55	0,59	1	2,36	0,52	0,3	0,7	0,6	0,6	0,3	3800	22	-
19	SO ₄ ²⁻	8	11	26	24	20	11	14	23	68	16	6	19	11	17	9	160	23	-
20	CH ₂ O	40	47	97	88	64	53	54	93	280	38	23	62	45	109	32	7	14	-

Фазы: 1 – лаг, 2 – мезофильная, 3 – термофильная, 4 - созревания

При этом видно, что в процессе компостирования, с одной стороны, изменчивость активности ксенобиотиков имел криволинейный тип вследствие разнокачественного их поведения во времени, с другой, активность ксенобиотиков наиболее высокой была отмечена в фазу мезофильного развития, т.к. их содержание по сравнению с началом эксперимента увеличилось от 125 до 667 % и, с третьей - увеличение активности ксенобиотиков привело к повышению ПДК для таких веществ, как Hg (1,5 ПДК), Cd (1,2 ПДК), Mo (3,6 ПДК), Pb (2 ПДК), CH₂O (9,1 ПДК). Также следует отметить, что по сравнению с мезофильной фазой, в фазу созревания компост менее «ксенобиотически агрессивен», т.к. по результатам химического анализа видим, что их содержание, за исключением Hg и PO₄³⁻, снижается на 13–66 %. А для таких веществ, как Hg и PO₄³⁻, наблюдаем последовательное увеличение по фазам на 40%, 200%, 280%, 320% для Hg и на 50% на лаг фазе и на 150% на последующих трех фазах для PO₄³⁻. При добавлении в компостируемый композит золы в количестве 100 г/кг ТБО, поведение исследуемых ксенобиотиков существенно отличается от опытной группы № 1 (зола 50 г/кг ТБО). Из двадцати исследуемых веществ, для десяти содержание в зрелом компосте снизилось на 5–28 %. Тогда как в первой опытной группе, как это было рассмотрено выше, отмечено только повышение активности всех исследуемых ксенобиотиков в зрелом компосте по сравнению с данными, полученными на начальном этапе работы.

В зависимости от поведения ксенобиотиков во времени по фазам развития для второй опытной группы можно условно выделить следующие группы ксенобиотиков:

1) ксенобиотики, содержание которых снизилось по сравнению с начальными данными, но при этом: допустимые нормы полностью соблюдены, это Cr (17%), B (8%), Al (17%), Zn (28%), Co (26%), NO₃⁻ (21%), Fe_{total} (5%), CH₂O (28%); превышение ПДК не было устранено – это Cd (9,7 ПДК в начале и 8,9 ПДК в конце процесса компостирования; активность снизилась на 8 %), Pb (1,3 ПДК, 1,25 ПДК; 5% соответственно) и CH₂O (7,6 ПДК, 5,4 ПДК; 28 % соответственно);

2) ксенобиотики, содержание которых в процессе компостирования увеличилось: Cl⁻ (15 %), Cu (14 %), Ni (28 %), PO₄³⁻ (33 %), Ba (36 %), Mn (40 %), SO₄²⁻ (45 %), Se (83 %), Hg (100%). Как видно из этих данных, зола в количестве 100 г/кг ТБО позитивно влияет на процесс снижения активности ксенобиотиков вследствие, как это было отмечено в работе [51], сорбционных свойств.

При добавлении в компостируемый композит золы в количестве 150 г/кг ТБО, поведение исследуемых ксенобиотиков существенно отличается от опытных групп № 1 (зола 50 г/кг ТБО) и № 2 (зола 100 г/кг ТБО). Так, при сравнении третьей опытной группы с другими двумя опытами видим, что: содержание рассматриваемых ксенобиотиков в компостируемом композите увеличилось на 4 – 100 % (Pb (4%), B (23%), Co (27%), Cd (29%), Al (32%), Ba и Cu (36%), CH₂O (39%), Mn (47%), NO₃⁻ (48%), Ni и SO₄²⁻ (50%), Cr (60 %), Hg (63 %), Mo и Cl⁻ (64%), Se (65%), Zn (70%), PO₄³⁻ (100%)), тогда как для первой опытной группы рассматриваемые ксенобиотики увеличились на 60-200%, а для

второй лишь для девяти из двадцати рассматриваемых веществ (Cl⁻, Cu, Ni, PO₄³⁻, Ba, Mn, SO₄²⁻, Se, Hg) – на 15 – 100 %, для остальных же было зафиксировано количественное снижение; максимальное увеличение ксенобиотиков было отмечено, в основном, на термофильной (Cr, Cd, Zn, Co, Pb, PO₄³⁻, Cl⁻, CH₂O) и лаг (Hg, Mo, Se, Ba, Mn, Cu, Ni, NO₃⁻, Fe_{total}, SO₄²⁻) фазах развития компостного композита, тогда как для первой опытной группы – на мезофильной (исключение: для первой группы В, А1 на мезофильной; второй Нг на термофильной фазе), второй – на термофильной фазе. Из всего вышеизложенного можно заключить, что в целях снижения активности ксенобиотиков в компосте в компостируемый композит «ТБО» следует добавить золу, оптимальное количество которой, согласно полученным данным, должно быть 100 г/кг ТБО.

Изучение изменчивость микробиоценоза в компостируемом субстрате «_{мо}ТБО+зола» во времени по стадиям развития показало, что на общую обсемененность оказывают влияние как фаза развития компостируемого субстрата, так и количество введенной в субстрат золы:

1) ОМЧ гетеротрофных микроорганизмов (КОЕ/г) характеризуется следующей изменчивостью:

а) при внесении в субстрат 50 г золы на кг _{мо}ТБО отмечается: повышение количества на один уровень разведения (с четвертого на пятый) на стадиях мезофильного и термофильного развития по сравнению с лаг фазой развития, тогда как на стадии созревания уровень разведения восстанавливается до четвертого; планомерное снижение степени изменчивости от 108% на стадии лаг фазы до 6 % на стадии созревания вследствие, на наш взгляд, воздействия на компостируемый субстрат одинаковых физико-химических условий;

б) при внесении в субстрат 100 г золы на кг _{мо}ТБО наблюдали на всех стадиях развития компостируемого композита константную обсемененность (пятый уровень разведения), тогда как степень изменчивости относительно высоким был отмечен на стадии лаг фазы (99 %) и термофильной фазы (51 %), а наименьшим – на стадиях мезофильного (18 %) развития и созревания (17 %);

в) внесение золы в количестве 150 г/кг ТБО способствовало снижению обсемененности на один уровень разведения (с шестого на пятый) на стадии мезофильного развития субстрата, с сохранением, на последующих стадиях, пятого уровня разведения, тогда как степень изменчивости, наоборот, на стадии мезофильного развития субстрата увеличился с 22 % до 39 %, но при достижении стадии созревания происходит его существенное снижение (6 %);

2) на обсемененность колиморфными бактериями, в большей степени повлияла фаза развития компостируемого субстрата вследствие регулируемого колебания температурного режима, т.к. после прохождения фазы термофильного развития обсемененность отсутствовала в группах опыта, где было добавлено золы в количестве 100 и 150 г/кг ТБО, в группе же, где количество добавленной в субстрат золы составило 50 г/кг ТБО, обсемененность при высокой вариации резко упало с третьего уровня разведения на первый;

3) на обсемененность компостируемого субстрата актиномицетами оказало влияние как количество добавленной золы, так и стадия развития компостируемого субстрата, так, в зависимости от: первого фактора, обсемененность была зафиксирована в первой группе опыта на стадиях лаг и созревания (четвертый и второй уровень разведения соответственно), во второй – на стадиях лаг и мезофильная (четвертый и первый уровень соответственно), на третьей – только на стадии лаг фазы (четвертый уровень разведения); второго фактора, было отмечено отсутствие обсемененности на стадии термофильного развития для всех трех опытов вследствие воздействия высокой температуры (60°C) и на стадии созревания для второй и третьей опытной группы; 4) на активность микромицетов в большей степени оказало влияние количество внесенного в субстрат золы, т.к. при добавлении золы в количестве: 150г/кг ТБО, активность полностью отсутствовала на всех стадиях развития компостируемого композита; 100 г/кг ТБО, обсемененность была отмечена в трех стадиях развития компостируемого субстрата на уровне второго (лаг, мезофильная) и первого (созревание) разведения, отсутствие обсемененности на стадии термофильного развития можно объяснить, на наш взгляд, действием высокой температуры (60°C); 50 г/кг ТБО, активность была зафиксирована только на стадиях лаг (второй уровень разведения) и созревания (первый уровень разведения); если судить о степени изменчивости, то для микромицетов она была относительно высокой на всех стадиях, где был отмечен рост колоний на питательном плотном агаре.

В заключении также следует обратить внимание на скорость роста колоний на питательном плотном агаре. При изучении ОМЧ гетеротрофных бактерий, рост колоний в зависимости от стадии развития компостируемого субстрата был зафиксирован через 24 часа на таких фазах развития, как лаг, термофильная и созревание, а для мезофильной фазы рост колоний начался только через 72 часа культивирования. Рост колоний на плотном питательном агаре по колиморфным бактериям зафиксирован через 24 ч на стадиях лаг и термофильная и через 72 ч – на стадии мезофильного развития. По актиномицетам и микромицетам рост колоний на плотном питательном агаре был зафиксирован через 120ч на лаг фазе и через 72 часа для остальных фаз развития. Следовательно, можно заключить, что на начальных этапах развития компостного композита более активны медленно растущие таксоны, тогда как на более поздних стадиях развития – быстрорастущие.

Таким образом, из полученных результатов вытекают следующие выводы:

1) для снижения ксенобиотической активности в компосте из ТБО и улучшения его санитарного состояния следует использовать золу, при этом оптимальное количество вносимого в субстрат золы, подтвержденное результатами исследования, должно составить 100 г/кг ТБО;

2) при внесении золы в компостируемый субстрат 100 г/кг ТБО: было достигнуто в зрелом компосте для одних веществ снижение на 5–28 % (Cr (17%), В (8%), Al (17%), Zn (28%), Со (26%), NO₃⁻ (21%), Fe_{total} (5%), СН₂О (28%)), для других – увеличение на 15-100 % (Cl⁻ (15 %), Cu (14 %), Ni (28 %), PO₄³⁻ (33 %),

Ва (36 %), Mn (40 %), SO₄²⁻ (45 %), Se (83 %), Hg (100%)); не было устранено превышение ПДК для таких веществ, как Cd (9,7 ПДК в начале и 8,9 ПДК в конце процесса компостирования; активность снизилась на 8 %), Pb (1,3 ПДК, 1,25 ПДК; 5% соответственно) и CH₂O (7,6 ПДК, 5,4 ПДК; 28 % соответственно); активность исследуемыми таксонами была умеренной на всех стадиях развития компостируемого композита, а по санитарным показателям зрелый компост приобрел удовлетворительные качества.

3.1.2 Компостируемый модельный композит «Твердые бытовые отходы + коксуский шунгит (таурит)»

В исследованиях с шунгитовыми породами, в частности, с коксуским тауритом определено, что они:

- 1) являются углеродсодержащим (до 30 %) минерально-обогащенным наноструктурированным природным композитом [52];
- 2) по физико-химическим свойствам высокопрочны, с высокой плотностью и хорошей электропроводностью, химически стойки [53];
- 3) по экологическим способностям хорошо зарекомендовали себя в качестве, с одной стороны – природного адсорбента, фильтрата и нейтрализатора [54, 55], с другой – восстановителя кислорода в субстрате [56], с третьей – антиоксиданта и, с четвертой – бактерицидного материала [53].

Поэтому было интересно экспериментально изучить воздействие коксуского шунгита на процесс компостирования твердых бытовых отходов во времени по фазам развития в зависимости от количества, внесенного в субстрат, шунгита.

Задача исследования: изучение изменчивости ксенобиотической активности и микробиоценоза в компостируемом композите «твердые бытовые отходы + шунгит» во времени по стадиям развития.

Физические и органолептические свойства компостируемого композита «моТБО+коксуский шунгит (таурит)» во времени по фазам развития в зависимости от количества, внесенного в ТБО, коксуского шунгита представлены в таблице 7. Как видно из таблиц 6 и 7, физические свойства испытуемых групп, за исключением температуры на лаг фазе (для первой и второй опытной группы 19°С, для третьей – 18°С), имели относительно схожие показатели, а по органолептическим свойствам имели различия.

Таблица 7 – Физические и органолептические свойства компостируемого композита «моТБО+коксуский шунгит (таурит)» во времени

№	Показатель	Фаза компостирования			
		Лаг	Мезофильная	Термофильная	Созревания
Физические свойства					
1	Агрегатное состояние	Грубодисперсная гетерогенная смесь	Грубодисперсная гетерогенная смесь	Грубодисперсная гетерогенная смесь	Влажная рыхлая мелкокомкообразно однородная масса

№	Показатель	Фаза компостирования			
		Лаг	Мезофильная	Термофильная	Созревания
Органолептические свойства					
мо ТБО+коксуский шунгит (таурит), 50 г/кг ТБО					
5	Цвет	Серо-черный в смеси с темно-коричневым	Серо-черный	Серо-черный	Серо-черный
6	Запах	Слабый тухлый запах рыбы	Слабо тухлый	Землянистый специфический	Землянистый
мо ТБО+коксуский шунгит (таурит), 100 г/кг ТБО					
7	Цвет	Серо-черный в смеси с коричневым	Серо-черный	Серо-черный	Черный
8	Запах	Слабый тухлый запах рыбы	Слабо тухлый	Землянистый специфический	Землянистый
мо ТБО+коксуский шунгит (таурит), 150 г/кг ТБО					
9	Цвет	Черный	Черный	Черный	Черный
10	Запах	Слабо тухлый	Слабо тухлый	Землянистый специфический	Землянистый

Как видно из таблицы 7, на цвет компостируемой массы отходов существенно повлияло не только применение коксуского шунгита (таурит), но и добавленное в субстрат количество. Так мы видим, что применение коксуского шунгита (таурит) привело к изменению цвета компостируемой массы от серо-коричневого до черного. При этом в зависимости от применяемой дозы цвет меняется от серо-черно-темно-коричневого (лаг фаза) и серо-черного (фазы мезофильная, термофильная, созревания) при внесении коксуского шунгита (таурит) в количестве 50 г/кг ТБО до серо-черно-коричневого (вторая опытная группа, лаг фаза), серо-черного (вторая опытная группа, мезофильная и термофильная фазы) и черного (вторая опытная группа, фаза созревания; третья опытная группа, все фазы развития) при внесении коксуского шунгита (таурит) в субстрат соответственно в количестве 100 и 150 г/кг ТБО. Количество вносимого коксуского шунгита (таурит) также повлияло, но только вначале процесса компостирования, на запах субстрата. Так, если при внесении коксуского шунгита (таурит) в количестве 50 и 100 г/кг ТБО, на лаг фазе запах был тухлым с примесью рыбы с переходом на мезофильной фазе к слабо тухлому и далее к землянисто специфическому (термофильная фаза) и землянистому (фаза созревания), то при добавлении 150 г/кг ТБО запах вначале процесса не был резким, т.е. переход проходит во времени от слабо тухлого (лаг и мезофильная фазы) к землянисто специфическому (термофильная фаза) и землянистому (фаза созревания). По остальным исследуемым показателям,

влажности и агрегатного состояния, существенных различий в зависимости от используемой дозы коксуского шунгита (таурит), как это видно из таблицы 7, обнаружено не было.

Химический состав компостируемого композита «_{мо}ТБО+коксуский шунгит (таурит)» во времени в зависимости от количества, внесенного в ТБО, шунгита представлена в таблице 8.

Как видно из таблицы 8, ксенобиотическая активность компостируемого композита изменчива не только от количества, внесенного в _{мо}ТБО, коксуского шунгита (таурит), но и от стадии развития компоста.

При этом необходимо обратить внимание, что для оценки качества получаемого компоста были использованы стандарты, разработанные для оценки как товарного компоста [57, 58, 59], так и почвы [60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70]. Ведь производимый компост, прежде всего, необходим для снижения техногенной нагрузки на почву в случае применения на полигонах ТБО (компост из органических компонентов ТБО) или для повышения плодородия почвы на сельскохозяйственных угодьях (компост из природных органических отходов).

В опытной группе, где количество внесенного в _{мо}ТБО коксуского шунгита (таурит) составило 50 г/кг ТБО, для всех исследуемых ксенобиотиков наблюдалось включительно до стадии термофильного развития снижение их содержания по отношению к началу процесса компостирования. При этом для таких веществ, как Cr, Hg, B, Zn, Pb, Se, Ba, Mn, Cu, Ni, PO₄³⁻, SO₄²⁻ и CH₂O, резкое сокращение по сравнению с другими стадиями наблюдалось в лаг фазе развития компоста (52-81%), для Al на мезофильной стадии (86 %) и для Cd, Co, Mo, NO₃⁻, Cl⁻ и Fe_{total} на стадии термофильного развития (34-89 %).

Переломной стадией по ксенобиотической активности для компостируемого композита первой группы опыта, как это видно из таблицы 8, является стадия созревания, когда для одних веществ после термофильной фазы было отмечено ожидаемое снижение, а для других – резкое увеличение по сравнению с начальными показателями. Поэтому исходя из полученных конечных результатов исследуемые вещества для первого опыта можно условно разделить на две группы.

В первую группу можно включить ксенобиотики, содержание которых в зрелом компосте по сравнению с начальными показателями уменьшилось:

- до 10 % (Ba на 2%, Pb на 6% и Co на 9%);
- от 15 до 50 % (Al на 15%, Cu на 18%, Ni на 22%, Mo на 24%, Cr на 26%, Hg на 30 %, Cd и CH₂O примерно на 36%, B на 38%, Zn, Fe_{total} и PO₄³⁻ на 47, 48 и 49 % соответственно);
- более 50 % (Cl⁻ на 52 %, NO₃⁻ на 63%).

Дополнительно следует отметить, что для шести из этих веществ (Cr, Hg, Cd, Mo, Pb и CH₂O) в процессе развития компостируемого композита снижение было недостаточным, т.к. в зрелом компосте было отмечено превышение ПДК (2,1; 2,9; 47; 8,4; 11,9; 70 ПДК соответственно).

Таблица 8 – Химический состав компостируемого композита «моТБО+коксуский шунгит (таурит)» во времени в зависимости от количества, внесенного в ТБО, коксуского шунгита (таурит)

№	Название	моТБО+коксуский шунгит (таурит), 50 г/кг					моТБО+коксуский шунгит (таурит), 100 г/кг					моТБО+коксуский шунгит (таурит), 150 г/кг					ПДК мг/кг	Источ ник	Допуст. содер. в компост е мг/кг [14-16]
		Нач ало эксп	Фаза*				На- чало эксп	Фаза*				На- чало эксп	Фаза*						
			1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	Cr	1,4	0,4	0,55	0,49	1,04	0,6	0,7	0,5	0,81	1,12	1	0,92	1,1	0,84	1,55	0,5	17-19	<50
2	Hg	8,8	4,2	6,6	5,1	6,2	6	7	6	7,2	14	9	8,4	10	8	17	2,1	17-19	<0,3
3	B	44	10,2	13,2	11,6	27,2	21	20,5	13	18	19,6	52	28	25,5	21,2	39,5	50	21	-
4	Cd	145	79	81	71	93	93	109	76	102	174	184	144	144	120	230	2	22	<0,7
5	Zn	4,2	0,8	1,2	1,1	2,2	1,3	1,55	1,1	1,83	2,4	2,2	2	2,45	1,92	3,3	23	19	<200
6	Co	2,56	1,21	1,14	1	2,32	1,5	1,75	1,1	1,56	2,52	3	2,28	2,25	1,88	3,4	5	19	<25
7	Mo	55,6	27,2	41,7	36,5	42	34	44,5	37,5	47,1	90,8	62	55,6	64	53,2	112	5	23	5
8	Pb	404	140	198	171	380	200	250	180	246	408	360	324	355	292	545	32	19	<100
9	Se	2,88	1,22	1,89	1,44	3,6	1,5	1,95	1,65	2,1	4	2,5	2,44	2,9	2,4	4,9	10	20	2
10	Al	1,97	0,60	0,27	0,71	1,67	1,31	1,2	0,79	1,03	1,08	2,98	1,59	1,45	1,22	2,36	150	24-25	<20
11	Ba	188	66	93	77	184	110	120	90	111	100	260	152	150	128	255	200	26	-
12	Mn	12,9	5,78	8,55	6,57	16,8	1,58	10	7,8	10,0	18,2	14,7	12,7	13,9	11,5	23,3	1500	19	-
13	Cu	2,28	0,94	1,35	1,02	2,7	1,26	1,65	1,22	1,65	2,89	2,47	2,15	2,30	1,91	3,77	3	19	<60
14	Ni	2,16	0,92	1,34	1,02	2,64	1,25	1,60	1,22	1,60	2,83	2,3	2,03	2,23	1,84	3,66	4	19	<20
15	NO ₃ ⁻	117, 2	40,2	55,2	36,6	43	40	62	40	76,5	96	84	98	98,5	83,2	134	130	19	-
16	PO ₄ ³⁻	0,73	0,14	0,19	0,16	0,37	0,02	0,3	0,19	0,29	0,43	0,45	0,39	0,44	0,35	0,60	27,2	19	-
17	Cl ⁻	93,6	12,2	6,1	10,5	45,2	8	15	11	27,3	52,8	15	24,8	30,5	24,4	71,5	560	27	-
18	Fe _{total}	4,55	0,89	1,16	0,87	2,43	1,09	1,48	1,00	1,45	2,62	2,72	2,07	1,99	1,68	3,43	3800	28	-
19	SO ₄ ²⁻	100	36	54	47	104	50	60	50	63	112	80	76	90	72	145	160	29	-
20	CH ₂ O	752	186	258	222	488	290	350	240	348	536	530	456	525	416	735	7	19	-

Фазы: 1 – лаг, 2 – мезофильная, 3 – термофильная, 4 - созревания

Во вторую группу можно включить ксенобиотики, содержание которых после термофильной фазы возросло по сравнению с начальными показателями на 14–30% (SO_4^{2-} на 14%, Cu на 18%, Ni на 22%, Se на 25% и Mn на 30%), но при этом превышения ПДК в зрелом компосте для них обнаружено не было.

Для второй опытной группы, где количество внесенного в моТБО коксуского шунгита (таурит) составило 100 г/кг ТБО, ксенобиотики оказались, с одной стороны, более «агрессивными» вследствие их многократного увеличения, с другой – непредсказуемыми в поведении вследствие разнокачественной изменчивости во времени по стадиям развития компостируемого композита. Так, если учитывать их поведение в процессе развития компостируемого композита, то оно проявилось по отношению к показателям перед компостированием следующим образом: в одних случаях на всех стадиях развития наблюдается их снижение (B, Al), в других – повышение (Se, Mn, PO_4^{3-} , Cl⁻), тогда как для большинства исследуемых веществ – понижение сменяется повышением и наоборот. По сравнению с начальными данными в данной опытной группе содержание исследуемых веществ повысилось от 68-87 % (Co на 68%, Zn и CH_2O на 85%, Cr и Cd на 87%) до 104-167% (Pb на 104%, SO_4^{2-} на 124%, Ni на 126%, Cu на 129%, Hg на 133%, NO_3^- и Fe_{total} на 140%, Se и Mo на 167%) и 560-2050 % (Cl⁻ на 560%, Mn на 1051% и PO_4^{3-} на 2050%). Только для трех (B, Ba, Al) из двадцати исследуемых элементов наблюдалось незначительное снижение их содержания в зрелом компосте (по сравнению с данными, полученными вначале эксперимента: на 7, 9 и 17% соответственно).

По качеству превышение ПДК в компосте второй опытной группы было отмечено для таких ксенобиотиков, как Cr (2,24 ПДК), Hg (6,7 ПДК), Cd (87 ПДК), Mo (18,2 ПДК), Pb (13 ПДК), CH_2O (77 ПДК).

Таким образом, во второй опытной группе, где количество внесенного в моТБО коксуского шунгита (таурит) не превышала 100 г/кг ТБО, ксенобиотическая активность в процессе компостирования резко отличалась по сравнению с первой опытной группой как по конечным результатам, так и по их поведению во времени в процессе компостирования.

Для опыта, где количество внесенного в моТБО коксуского шунгита (таурит) составило 150 г/кг ТБО, поведение рассматриваемых ксенобиотиков было идентично со вторым опытом с той лишь разницей, что по сравнению с начальной стадией развития повышение было незначительным – от 25-60 % (Cd на 25%, Fe_{total} на 26%, Co на 27%, PO_4^{3-} на 33%, Zn на 50%, Pb на 51%, Cu на 53%, Cr на 55%, Mn и Ni на 59%, NO_3^- на 60%) до 81-377% (Mo и SO_4^{2-} на 81%, Hg на 89%, Se на 96%, Cl⁻ на 377%), тогда как понижение было примерно на уровне второго опыта (Ba на 2%, Al на 21% и B на 24%).

Таким образом, для второй и третьей опытной группы на стадии созревания для семнадцати (Co, Zn, CH_2O , Cr, Cd, Pb, SO_4^{2-} , Ni, Cu, Hg, NO_3^- , Fe_{total} , Se, Mo, Cl⁻, Mn, PO_4^{3-}) из 20-ти исследуемых веществ содержание увеличилось на 68–2050% (вторая опытная группа) или на 25-377% (третья опытная группа) по сравнению с показателями перед началом

компостирования, тогда как в первой опытной группе превышение было незначительным (14–30%) только для пяти веществ (SO_4^{2-} , Cu, Ni, Se, Mn). Также следует отметить, что для второй и третьей опытной группы содержание ксенобиотиков на начальном этапе компостирования было выше по сравнению с первой опытной группой.

Как видим, резкое увеличение ксенобиотической активности в компостируемом композите отмечается в опыте, где количество вносимого в моТБО коксуского шунгита (таурит) составило 100 г/кг ТБО, а необходимое для производства снижение – при добавлении в моТБО коксуского шунгита (таурит) в количестве 50 г/кг ТБО.

Резюмируя вышеизложенное, можно заключить, что вследствие богатого минерального состава, коксуский шунгит (таурит) дополнительно перевозносит в компостируемый композит определенный комплекс неорганических элементов, в результате, внесение в субстрат значительного количества шунгита (100, 150 г/кг ТБО), на наш взгляд, негативно сказывается на ксенобиотическую активность данного техногенного субстрата.

В таблице 9 представлены результаты микробиологических исследований.

Как видно из таблицы 9, общая обсемененность компостируемого композита гетеротрофными микроорганизмами была относительно стабильной для третьей опытной группы « $\text{моТБО} + \text{коксуский шунгит (таурит, 150 г/кг ТБО)}$ », т.к. держалась во всех стадиях развития компоста на уровне пятого разведения, за исключением мезофильной фазы, когда обсемененность поднялась до шестого уровня разведения.

Во второй опытной группе « $\text{моТБО} + \text{коксуский шунгит (таурит, 100 г/кг ТБО)}$ » по общей обсемененности были получены примерно такие же результаты, как и для второй опытной группы с той лишь разницей, что на стадии созревания обсемененность была зафиксирована на уровне четвертого разведения. Следовательно, для данной опытной группы, в процессе развития компостируемого композита обсемененность гетеротрофными микроорганизмами снизилась на один уровень разведения по сравнению с лаг фазой развития.

В первой опытной группе « $\text{моТБО} + \text{коксуский шунгит (таурит, 50 г/кг ТБО)}$ » общая обсемененность на таких стадиях развития композита, как лаг и мезофильная, находятся на шестом уровне разведения, тогда как на стадии термофильного развития обсемененность резко снижается до третьего уровня разведения и, далее, на стадии созревания, рост колоний на плотном питательном агаре был обнаружен на уровне пятого разведения.

Дополнительно следует отметить, что коэффициент вариации был высок для первой опытной группы на стадии термофильного развития (141 %), а наиболее низким на стадии созревания (2 %). Для второй и третьей опытной группы соответственно на стадиях созревания (121,9 %), мезофильная (12,6 %) и мезофильная (25,4 %), термофильная (3,0 %). Как видим, более высокая степень изменчивости была характерна для первой опытной группы.

Таблица 9 – Изменчивость микробиоценоза в компостируемом композите «моТБО + коксуский шунгит (таурит)» во времени по стадиям развития

Опытная группа		Фаза компостирования			
		Лаг	Мезофильная	Термофильная	Созревания
ОМЧ гетеротрофных микроорганизмов					
1. моТБО + шунгит (50г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$, КОЕ/г	$(2,5 \pm 0,7) \times 10^6$	$(2,4 \pm 0,7) \times 10^6$	$(1,0 \pm 1,4) \times 10^3$	$(1,3 \pm 0,03) \times 10^5$
	Cv, %	25,8	30,6	141	2,2
2. моТБО + шунгит (100г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$, КОЕ/г	$(7,9 \pm 5,0) \times 10^5$	$(1,9 \pm 0,2) \times 10^6$	$(3,3 \pm 1,4) \times 10^5$	$(2,9 \pm 3,5) \times 10^4$
	Cv, %	62,7	12,6	43,7	121,9
3. моТБО + шунгит (150г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$, КОЕ/г	$(2,6 \pm 0,4) \times 10^5$	$(3,1 \pm 0,8) \times 10^6$	$(4,3 \pm 0,1) \times 10^5$	$(1,3 \pm 0,1) \times 10^5$
	Cv, %	13,9	25,4	3,0	5,8
Колиморфные бактерии					
1. моТБО + шунгит (50г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$	$(3,0 \pm 0,1) \times 10^4$	$(9,0 \pm 8,4) \times 10^1$	-	-
	Cv, %	2,0	94,0	-	-
2. моТБО + шунгит (100г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$	$(6,1 \pm 0,5) \times 10^3$	-	-	-
	Cv, %	8,2	-	-	-
3. моТБО + шунгит (150г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$	$(6,0 \pm 2,8) \times 10^2$	$(7,0 \pm 1,4) \times 10^1$	-	-
	Cv, %	47,1	20,0	-	-
Актиномицеты					
1. моТБО + шунгит (50г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$	$(3,4 \pm 7,8) \times 10^4$	$(1,5 \pm 0,7) \times 10^1$	-	$(2,05 \pm 0,4) \times 10^2$
	Cv, %	23,0	47,0	-	17,2
2. моТБО + шунгит (100г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$	$(8,7 \pm 8,1) \times 10^4$	$(1,0 \pm 1,0) \times 10^1$	$(4,0 \pm 3,7) \times 10^2$	-
	Cv, %	92,7	100,0	141,4	-
3. моТБО + шунгит (150г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$	$(5,7 \pm 0,3) \times 10^4$	$(1,0 \pm 1,0) \times 10^1$	-	$(7,0 \pm 3,9) \times 10^2$
	Cv, %	4,9	100,0	-	141,4
Микромицеты					
1. моТБО + шунгит (50г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$	-	$(1,2 \pm 0,1) \times 10^3$	-	-
	Cv, %	-	11,8	-	-
2. моТБО + шунгит (100г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$	-	$(5,9 \pm 1,8) \times 10^3$	-	-
	Cv, %	-	31,2	-	-
3. моТБО + шунгит (150г/кг)	$\bar{X} + m_{\bar{X}}$	-	$(6,0 \pm 5,1) \times 10^3$	-	$(2,0 \pm 1,4) \times 10^1$
	Cv, %	-	84,9	-	70,7

Общее санитарное благополучие компостируемого композита определяли, как это видно из таблицы 9, по росту колоний на плотном питательном агаре колиморфных бактерий. Результаты анализа в зависимости от количества, внесенного в композит коксуского шунгита и фазы развития композита, показали, что для второй опытной группы композит приобретает санитарную «благонадежность» уже на стадии мезофильного развития, тогда как композит из первой и третьей опытной группы такую характеристику приобретает после стадии термофильного развития. Следовательно, коксуский шунгит (таурит), используемый в качестве стимулятора, вне зависимости от дозы, благоприятно влияет на санитарное состояние компостируемого композита. Полученные результаты согласуются с данными, полученные в работах [53].

Активность актиномицетов на начальном этапе развития компостируемого композита зависела от количества используемого шунгита, а в большей степени определялась стадией развития. Так, в лаг фазу развития композита во всех трех испытуемых опытах рост колоний актиномицетов на плотном питательном агаре был отмечен на четвертом уровне разведения, а на фазе мезофильного развития – только на первом уровне разведения. На следующей фазе, фазе термофильного развития компостируемого композита, активность актиномицетов была отмечена только для второй группы опыта, когда количество добавленного в компост шунгита составило 100 г/кг ТБО, в двух других опытах роста колоний на плотном питательном агаре обнаружено не было. А на стадии созревания, наоборот, рост колоний на питательном агаре был отмечен для первой (второй уровень разведения) и третьей (первый уровень разведения) опытной группы, тогда как для второй – роста колоний обнаружено не было. Особо следует отметить о показателях изменчивости для актиномицетов. Как видим из таблицы 9, для первой опытной группы полученные при расчетах коэффициенты вариации относительно малы по сравнению с другими группами опытов и варьируют в пределах от 17,2 % (фаза созревания) до 47 % (фаза мезофильная), тогда как для второй и третьей опытной группы – от 4,9 % и 92,7 % (лаг фаза) до 141,4 % (фаза термофильная, фаза созревания) соответственно. Для микромицетов наблюдалась совершенно иная картина. Как видно из таблицы 9, для первой и второй опытной группы их активность была отмечена только на фазе мезофильного развития (третий уровень разведения) компостируемого композита, а для третьей опытной группы - на фазах мезофильного (третий уровень разведения) развития и созревания (первый уровень разведения). При этом коэффициент изменчивости существенно отличался между группами опытов. Так, наименьший коэффициент вариации был получен для первой (11,8 %), наибольший (84,9 %) – для третьей опытной группы.

На рисунке 2 приводятся графики, показывающие изменение обсемененности исследуемых физиологических групп в зависимости от количества добавленного шунгита в m_0 ТБО « m_0 ТБО + коксуский шунгит (таурит)» по фазам развития в сравнительном аспекте.

Из графиков рисунка 2 видим, что важной отличительной особенностью для исследуемых групп опытов является тот факт, что в процессе развития компоста происходит его «экологическое оздоровление» вследствие присутствия в m_0 ТБО коксуского шунгита. Об этом свидетельствуют данные по обсемененности компостируемого композита колиморфными бактериями, т.к. уже после стадии термофильного развития в компостируемом композите вне зависимости от дозы внесенного шунгита роста колоний на плотной питательной среде обнаружено не было.

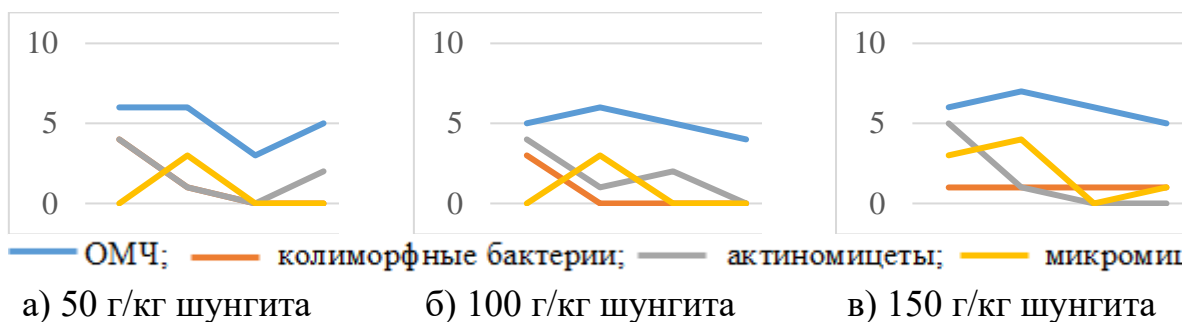


Рисунок 2 - Изменчивость микробиоценоза во времени по стадиям развития компостируемого композита « m_0 ТБО + коксуский шунгит (таурит)» в зависимости от количества внесенного шунгита в сравнительном аспекте

Также следует отметить, что во всех опытах была отмечена с одной стороны, относительно высокая активность по общей обсемененности гетеротрофными микроорганизмами (пятый – шестой уровни разведения), с другой, как это видно из рисунка, отсутствие активности микромицетов для всех опытных групп за исключением мезофильной стадии развития, где была зафиксирована активность на третьем уровне разведения. Активность же актиномицетов относительно одинакова для всех опытных групп, т.к. наблюдается снижение обсемененности с четвертого (лаг фаза) до второго (опыт I, III) разведения, а в опыте II – до отсутствия роста колоний на питательном агаре.

Из выше изложенного следует следующее заключение: для производства компоста рекомендуется добавлять в компостируемый из ТБО субстрат коксуский шунгит (таурит) в количестве 50 г/кг ТБО, т.к. данная доза обеспечивает санитарное «оздоровление» компостируемого композита как путем снижения ксенобиотической активности, так и устранения нежелательной микрофлоры (на примере колиморфных бактерий), тогда как в опытах, где было добавлено коксуского шунгита (таурита) в компостируемый субстрат в количестве 100 и 150 г/кг ТБО положительный эффект был отмечен только по отсутствию роста колоний колиморфных бактерий на плотном питательном агаре, а по ксенобиотической активности, наоборот, эффект был противоположный. Так, для второй и третьей опытной группы на стадии созревания для семнадцати (Co , Zn , CH_2O , Cr , Cd , Pb , SO_4^{2-} , Ni , Cu , Hg , NO_3^- , Fe_{total} , Se , Mo , Cl^- , Mn , PO_4^{3-}) из 20-ти исследуемых веществ содержание

увеличилось на 68–2050% (вторая опытная группа) или на 25-377% (третья опытная группа) по сравнению с показателями перед началом компостирования, тогда как в первой опытной группе превышение было незначительным (14–30%) только для пяти веществ (SO_4^{2-} , Cu, Ni, Se, Mn). Кроме того, для шести из 20-ти веществ (Cr, Hg, Cd, Mo, Pb и CH_2O) в зрелом компосте из первой опытной группы, снижение было недостаточным, т.к. всё же было отмечено превышение ПДК (2,1; 2,9; 47; 8,4; 11,9; 70 ПДК соответственно).

3.2 Расчет инженерной конструкции мобильного биореактора по переработке органических отходов

Расчет инженерной конструкции мобильного биореактора по переработке органических отходов осуществлялся с применением СНиП [71], инструкций [72] и методик, прописанных в работах Яковлева С. В. (1971) [73], Ковалева Н.Г. [74] и Воронова Ю.В. [75]. При расчете мобильного биореактора следует учитывать:

- 1) пределы распада жиров (70 %), белков (48 %) и углеводов (63 %);
- 2) образование биогаза при биоразложении жиров, белков и углеводов: с 1 г производят из жира 1,31 г, из белков 0,71 г и из углеводов 0,985 г газа соответственно при удельном выходе биогаза 1250, 704 и 790 мл/г;
- 4) состав биогаза CH_4 и CO_2 : 68/32; 71/29 и 50/50 соответственно.

Условная химическая формула биогаза:

Биогаз = CH_4 (до 80 %) + CO_2 (до 60 %) + H_2S (до 3 %) + H_2 (до 1 %) + "следы" иных газов» (плотность газа: 1) [72].

Предел анаэробного биоразложения органических отходов (а, %) с 1 г субстрата (0,7 Ж; 0,48 Б; 0,625 У) определяют по формуле 1:

$$a = (1,31 \cdot 0,7 \text{ жиры}) + (0,71 \cdot 0,48 \text{ белки}) + (0,985 \cdot 0,625 \text{ углеводы}) \quad (1)$$

Доза загрузки:

а) по объему (%) используют суточный объем загрузочного субстрата в метантенк:

$$П = 100 : Д,$$

где:

П – длительность анаэробного биоразложения,

Д – объем загрузки,

б) по беззольному веществу $D_{\text{бз}}$ (кг/м³ метантенка).

В практике используют прямолинейную и степенную зависимость степени распада жиров, белков и углеводов (в комплексе – беззольное вещество или б.в.) от дозы загрузки метантенка.

Прямолинейная зависимость [74]:

$$y = (a - nД) : 100 \quad (2)$$

где:

n – экспериментально полученный коэффициент, зависит от влажности (W , %) и температуры (t , °C),

y – выход биогаза, м³/кг загруженного в метантенк б.в.

D – суточная доза загрузки, %.

Необходимые данные для вычисления представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Значения коэффициента D , n , выявленные экспериментально [71]

W, %	D, %		n, %	
	температурный режим: мезофильный	температурный режим: термофильный	температурный режим: мезофильный	температурный режим: термофильный
93	7	14	1,05	0,455
94	8	16	0,89	0,385
95	9	18	0,72	0,31
96	10	20	0,56	0,24
97	11	22	0,4	0,17

Методика решения представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет инженерной конструкции мобильного биореактора по переработке органических отходов

Показатель	Формула	Обозначения	Результат
Расход органической смеси (кг/сутки)	$O_{\text{сух}} = \frac{C \cdot \varepsilon}{1} \cdot Q$ (3)	C (890 мг/л) - концентрация (начальная) взвешенных веществ, ε (0,5 дол.ед.) - эффект задержания взвешенных веществ K (1,1) – коэффициент учета увеличения объема органической смеси, Q (л/сутки) - разовый приток органической смеси, поэтому использует прерывистый метод переработки отходов	1,96 л/сутки
Расход избыточного ила $I_{\text{сух}}$, л/сутки	$I_{\text{сух}} = \frac{C(1-\varepsilon)n - \delta}{1} \cdot Q$ (4)	n – коэффициент (1,15), δ (мг/л) - вынос активного ила (15 мг/л)	1.17 л/сутки

Показатель	Формула	Обозначения	Результат
Расход беззольного вещества органической смеси (кг/сутки)	$O_{бз} = \frac{O_{сух}(100-Br)(100-3_{ос})}{100 \cdot 100} \quad (5)$ $I_{бз} = \frac{I_{сух}(100-Br)(100-3_{ил})}{100 \cdot 100} \quad (6)$	Гигроскопическая влажность (%) сырого осадка (Br) и избыточного активного ила (Br) составляет 5-6 %; Зольность сухого вещества (%) сырого осадка (3 _{ос}) и активного ила (3 _{ил}) равно 25-27 %	$O_{бз} = 2,98$ кг/сутки $I_{бз} = 1,80$ кг/сутки
Расход сырого осадка (л/сутки)	$V_{ос} = \frac{100 O_{сух}}{(100-W_{ос})P_{ос}} \quad (7)$	W _{ос} (%) - влажность сырого осадка (93-95%);	59,7 л ³ /сутки
Расход избыточного активного ила (л/сутки)	$V_{ил} = \frac{100 I_{сух}}{(100-W_{ил})P_{ил}} \quad (8)$	W _{ил} (%) - влажность уплотненного активного ила (96,5-97,5%); плотность сырого осадка (P _{ос}) и активного ила (P _{ил}), для упрощения принимают за 1	75,1 л/сутки
Общий расход сырого осадка и избыточного активного ила:			
по сухому веществу, кг/сутки	$M_{сух} = O_{сух} + I_{сух} \quad (9)$	-	6,81 кг/сутки
по беззольному веществу, кг/сутки	$M_{бз} = O_{бз} + I_{бз} \quad (10)$	-	4,78 кг/сутки
по расходу смеси фактической влажности, л/сутки	$M_{общ} = V_{ос} + V_{ил} \quad (11)$	-	1,35 л/сутки
Средняя влажность субстрата, зольность, объем и доза загрузки биореактора:			
Средняя влажность органической смеси, %	$V_{см} = 100 \left(1 - \frac{O_{сух} + I_{сух}}{V_{ос} + V_{ил}} \right) \quad (12)$		95 %
Средняя зольность абсолютно сухого вещества органической смеси, %	$Z_{см} = 100 \left[1 - \frac{O_{бз} + I_{бз}}{O_{сух}(100-Br)/100 + I_{сух}(100-Br)/100} \right] \quad (13)$		74 %

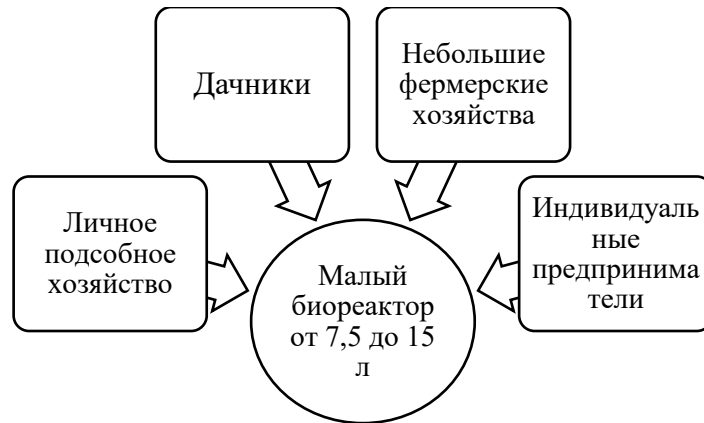
Объем биореактора, л	$W = M_{\text{общ}} \cdot 100 / D$ (14)	$M_{\text{общ}}$ - количество субстрата (м^3), поступающего в сутки в биореактор D - суточная доза (%) загрузки биореактора (9 % при мезофильном и 18 % при термофильном режиме)	15 л при мезофильном режиме 7,5 л при термофильном режиме
Доза загрузки биореактора, %	$D = \frac{10 q}{C(100 - B)}$ (15)	q ($\text{г}/\text{м}^3$) – предельно допустимая нагрузка по СПАВ (40 $\text{г}/\text{м}^3$ для алкилсульфатов, 85 $\text{г}/\text{м}^3$ – для анионоактивных), C ($\text{мг}/\text{г}$) – концентрация СПАВ в органической смеси (загружаемом), B (%) – влажность органической смеси. При содержании СПАВ в органической смеси сухого вещества: 11-13 $\text{мг}/\text{г}$ (мезофильный режим) и 6-7 $\text{мг}/\text{г}$ (термофильный режим)	15,5 % для мезофильного и 28,3 % - термофильного режима
Максимально возможное сбраживание) для органической смеси с активным илом	$a_{\text{см}} = (a_o O_{\text{бз}} + a_{\text{и}} I_{\text{бз}}) / M_{\text{бз}}$ (16)	для органической смеси $a_o = 53\%$, а для избыточного активного ила $a_{\text{и}} = 44\%$	49,6 %

Представленный в таблице метод расчета биореактора основан на экспериментальных данных. Исходя из полученных расчетов можно сделать следующее заключение: биореактор объемом 7,5 л (термофильный режим) и 15 л (мезофильный режим) будет сбраживать примерно 50 % органической смеси с активным илом с влажностью субстрата около 95 %.

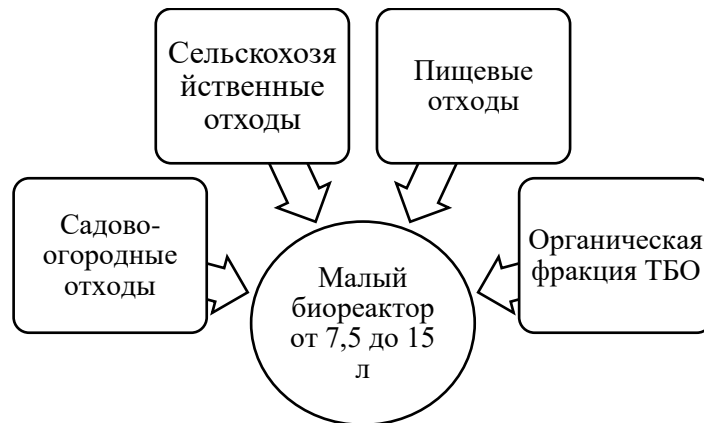
3.3 Технология переработки органических отходов в условиях мобильного биореактора

Биотехнология переработки органических отходов на основе использования мобильного биореактора предполагает выполнение процедур, которые представлены в виде блок-схемы на рисунке 3.

Этап первый: пользователи мобильных биореакторов:



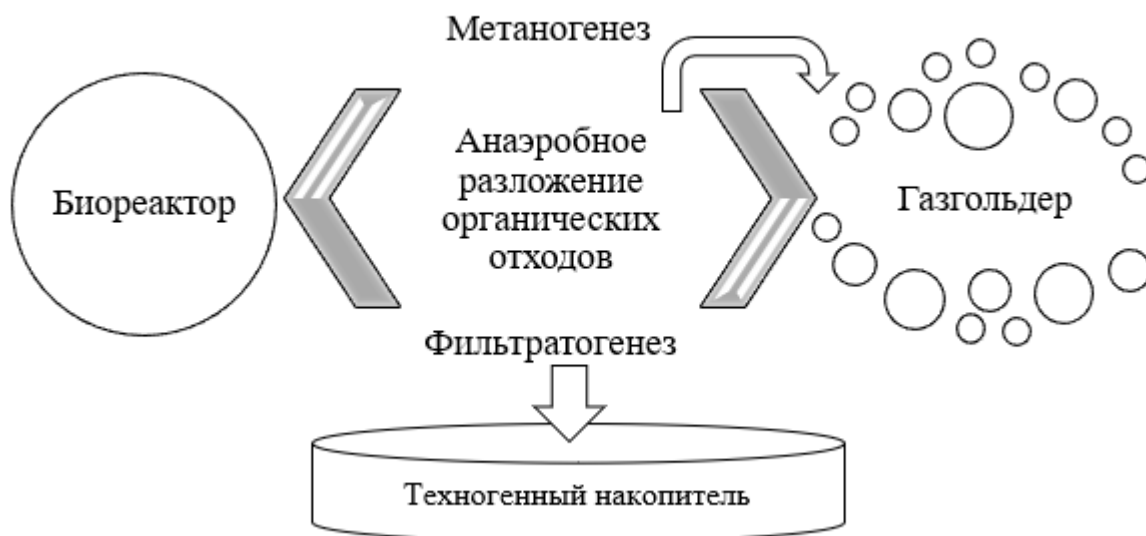
Этап второй: субстрат для мобильного биореактора:



Этап третий: подготовительный

Сельскохозяйственные отходы (садово-огородные, навоз, помет, а)	Пищевые отходы	ТБО
•Измельчение	•Измельчение	•Сортировка •Измельчение

Этап четвертый: анаэробное разложение органических отходов
Блок-схема комплектующего элемента биореактора, предназначенного для анаэробного биоразложения органических отходов



Этап пятый: аэробное разложение дигестата (компостирование четырехфазное:
 Блок-схема комплектующего элемента биореактора, предназначенного для аэробного биоразложения органических отходов

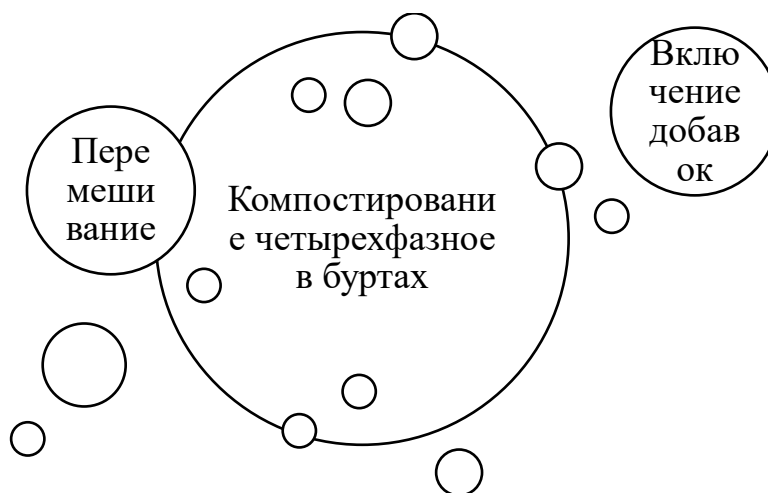


Рисунок 3 – Блок схема пятиэтапной технологии переработки органических отходов в условиях мобильного биореактора

Биореактор анаэробного разложения, согласно СНиП [71] и проведенным расчетным и экспериментальным исследованиям, будет состоять из комплектующих элементов, представленных на четвертом этапе блок-схемы рисунка 3.

Как видно из рисунка 3, основными инженерно-конструкторскими решениями в обеспечении анаэробного биоразложения органических отходов являются три составляющих звена – это биореактор (метантенк), газгольдер и техногенный накопитель:

Мобильный метантенк – это емкость, выполняющая для успешного анаэробного разложения органических отходов три задачи:

- обеспечивает герметичность с целью недопущения поступления кислорода в разлагаемый субстрат,

- обеспечивает ускорение процесса, поэтому материал, который используется для конструкции емкости биореактора должен быть термостойким,

- обеспечивает благодаря установленным шлангам сверху на крышке и снизу на дне биореактора выход продуктов биоразложения – биогаза в газгольдер и фильтрата в техногенный накопитель соответственно.

Газгольдер, предназначенный для сбора биогаза, герметичен и имеет три выводных канала:

- 1) два расположены на дне канала на противоположных полюсах:

- первый связывает газгольдер с биореактором,

- второй связывает газгольдер с розеткой

- 2) один выводной канал расположен на крышке и предназначен для вывода биогаза из газгольдера.

Техногенный накопитель через герметично установленный шланг связан с корпусом биореактора и предназначен для сбора фильтрата. После анаэробного биоразложения органических отходов в биореакторе остается дигестат, который предлагается использовать для производства компоста.

Биореактор для аэробного биоразложения органических отходов, в частности, дигестата, согласно СНиП [71] и проведенным исследованиям будет состоять из комплектующих элементов, представленных на пятом этапе блок-схемы рисунка 3.

Как видно из рисунка 3, основным инженерно-конструкторским решением для обеспечения аэробного биоразложения органических отходов (дигестата) является наличие емкости в виде бурта. Остальные процессы, обеспечивающие твердофазную аэробную ферментацию, такие как поступление кислорода и различных биодобавок в целях обогащения компоста кислородом и полезной микрофлорой, можно проводить механическими способами без привлечения, в целях удешевления процессов, дополнительных капитальных затрат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Изучение техногенной трансформация ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемом модельном композите показало, что модельный субстрат в составе:

1.1 Твердые бытовые отходы + зола

1) для снижения ксенобиотической активности в компосте из ТБО и улучшения его санитарного состояния следует использовать золу, при этом оптимальное количество вносимого в субстрат золы, подтвержденное результатами исследования, должно составить 100 г/кг ТБО;

2) при внесении золы в компостируемый субстрат 100 г/кг ТБО: было достигнуто в зрелом компосте для одних веществ снижение на 5–28 % (Cr (17%), В (8%), Al (17%), Zn (28%), Co (26%), NO_3^- (21%), Fe_{total} (5%), CH_2O (28%)), для других – увеличение на 15-100 % (Cl^- (15 %), Cu (14 %), Ni (28 %), PO_4^{3-} (33 %), Ba (36 %), Mn (40 %), SO_4^{2-} (45 %), Se (83 %), Hg (100%)); не было устранено превышение ПДК для таких веществ, как Cd (9,7 ПДК в начале и 8,9 ПДК в конце процесса компостирования; активность снизилась на 8 %), Pb (1,3 ПДК, 1,25 ПДК; 5% соответственно) и CH_2O (7,6 ПДК, 5,4 ПДК; 28 % соответственно); активность исследуемыми таксонами была умеренной на всех стадиях развития компостируемого композита, а по санитарным показателям зрелый компост приобрел удовлетворительные качества.

1.2 Твердые бытовые отходы + коксуский шунгит (таурит)

- для производства компоста рекомендуется добавлять в компостируемый из ТБО субстрат коксуский шунгит (таурит) в количестве 50 г/кг ТБО, т.к. данная доза обеспечивает санитарное «оздоровление» компостируемого композита как путем снижения ксенобиотической активности, так и устранения нежелательной микрофлоры (на примере колиморфных бактерий), тогда как в опытах, где было добавлено коксуского шунгита (таурита) в компостируемый субстрат в количестве 100 и 150 г/кг ТБО положительный эффект был отмечен только по отсутствию роста колоний колиморфных бактерий на плотном питательном агаре, а по ксенобиотической активности, наоборот, эффект был противоположный. Так, для второй и третьей опытной группы на стадии созревания для семнадцати (Co, Zn, CH_2O , Cr, Cd, Pb, SO_4^{2-} , Ni, Cu, Hg, NO_3^- , Fe_{total} , Se, Mo, Cl^- , Mn, PO_4^{3-}) из 20-ти исследуемых веществ содержание увеличилось на 68–2050% (вторая опытная группа) или на 25–377% (третья опытная группа) по сравнению с показателями перед началом компостирования, тогда как в первой опытной группе превышение было незначительным (14–30%) только для пяти веществ (SO_4^{2-} , Cu, Ni, Se, Mn). Кроме того, для шести из 20-ти веществ (Cr, Hg, Cd, Mo, Pb и CH_2O) в зрелом компосте из первой опытной группы, снижение было недостаточным, т.к. всё же было отмечено превышение ПДК (2,1; 2,9; 47; 8,4; 11,9; 70 ПДК соответственно).

2 Расчетно произведенный биореактор объемом 7,5 л (термофильный режим) и 15 л (мезофильный режим) будет сбрасывать примерно 50 % органической смеси с активным илом с влажностью субстрата около 95 %.

Основными инженерно-конструкторскими решениями в обеспечении анаэробного биоразложения органических отходов являются три составляющих звена – это биореактор (метантенк), газгольдер и техногенный накопитель.

Основным инженерно-конструкторским решением для обеспечения аэробного биоразложения органических отходов (дигестата) является наличие емкости в виде бурта. Остальные процессы, обеспечивающие твердофазную аэробную ферментацию, такие как поступление кислорода и различных биодобавок в целях обогащения компоста кислородом и полезной микрофлорой, можно проводить механическими способами без привлечения, в целях удешевления процессов, дополнительных капитальных затрат.

3 Разработана на основе расчетных и экспериментальных исследований пятиэтапная биотехнология переработки органических отходов на основе использования мобильного биореактора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Джамалова Г.А., Гарабаджиу А.В., Мусина У.Ш., Джолдыбаева С.М., Сериков Т.А. Изменчивость активности ксенобиотиков и микро-биоценоза во времени в компостируемом композите «твердые бытовые отходы + коксуский шунгит (таурит). Научный журнал «Вестник КазГАСА». № 3 (73). - 2019. – С.167-179.
2. Джамалова Г.А., Гарабаджиу А.В., Джолдыбаева С.М., Сериков Т.А. Техногенная трансформация ксенобиотиков и микробиоценоза во времени в компостируемом модельном композите «Твердые бытовые отходы + зола». Вестник КазАТК. Алматы, № 1(112) 2020. – С. 317-325.
3. Земцова А.З., Сериков Т.А. Планирование и оптимизация эмиссии биогаза на полигонах ТБО // Труды Сатпаевских чтений «Сатпаевские чтения-2020», том II, – 2020. – С. 590-594.
4. Казбекова А.Н., Сериков Т.А. «Планирование и оптимизация эмиссии фильтрата на полигонах ТБО// Труды Сатпаевских чтений «Сатпаевские чтения-2020», том II, – 2020. – С. 557-560
- 5 Zulkifli A.A., Mohd Yusoff M.Z., Abd Manaf A., M.R., Roslan A.M., Ariffin H., Shirai Y., Hassan M.A. Assessment of Municipal Solid Waste Generation in Universiti Putra Malaysia and Its Potential for Green Energy Production // Sustainability, 2019. Vol. 11. Issue 14. PP. 3909-3909. doi: 10.3390/su11143909.
- 6 Zamotaev I.V., Ivanov I.V., Mikheev P.V. Belovrov V.P. Assessment of the State of Soils and Vegetation in Areas of Landfills and Municipal Solid Waste Sites (a Review) // Eurasian Soil Science, 2018. Vol. 51. №. 7. PP. 827–842 <https://doi.org/10.1134/S1064229318070104>.
- 7 Khairuddin N., Abd Manaf L., Hassan M.A., Halimoon N., Ab Karim W.A.W. Biogas Harvesting from Organic Fraction of Municipal Solid Waste as a Renewable Energy Resource in Malaysia: A Review // Polish Journal of Environmental Studies, 2015. Vol. 24(4). PP. 1477-1490 <https://doi.org/10.15244/pjoes/34670>.
- 8 Mainardis M., Cabbai V., Zannier G., Visintini D., Goia D. Characterization and BMP Tests of Liquid Substrates for High-rate Anaerobic Digestion // Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, 2017. Vol. 31(4). PP. 509-518. doi: 10.15255/CABEQ.2017.1083.
- 9 Fernandes A., Jesus T., Silva R., Pacheco M.J., Ciriaco L., Lopes A. Effluents from Anaerobic Digestion of Organic Wastes: Treatment by Chemical and Electrochemical Processes // Water, Air & Soil Pollution, 2017. Vol. 228. Issue 11. PP. 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3620-1>.
- 10 Mlaik N., Khcharem M., Kouas M., Sayadi S., Khoufi S. Improvement of anaerobic biodegradability of organic fraction of municipal solid waste by mechanical and thermochemical pretreatments // Int. J. Environ. Sci. Technol., 2018. Vol. 15. PP. 1913–1920. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1563-0>.
- 11 Jimenez J., Latrille E., Harmand J., Robles A., Ferrer J., Gaida D., Wolf C., Mairet F., Bernard O., Alcaraz-Gonzalez V., Mendez-Acosta H., Zitomer D., Totzke D., Spanjers H., Jacobi F., Guwy A., Dinsdale R., Premier G., Mazhegrane S., Ruiz-

Filippi G., Seco A., Ribeiro T., Pauss A., Steyer J.-P. Instrumentation and control of anaerobic digestion processes: a review and some research challenges // *Rev Environ Sci Biotechnol*, 2015. Vol. 14. PP. 615–648. DOI 10.1007/s11157-015-9382-6.

12 Stan C., Collaguazo G., Streche C., Apostol T., Cocarta D.M. Pilot-Scale Anaerobic Co-Digestion of the OFMSW: Improving Biogas Production and Startup // *Sustainability*, 2018. Vol. 10 (6). P. 1939. <https://doi.org/10.3390/su10061939>.

13 Sayara, T., Sánchez A. A Review on Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Wastes: Pretreatments and Operational Conditions // *Applied Sciences*, 2019. Vol. 9(4655). PP. 1-23 doi:10.3390/app9214655.

14 Li L., He Q., Ma Y., Wang X., Peng X. A mesophilic anaerobic digester for treating food waste: process stability and microbial community analysis using pyrosequencing // *Microbial Cell Factories*, 2016. Vol. 15(65). PP. 1-11 doi:10.1186/s12934-016-0466-y.

15 Gao Y., Kong X., Xing T., Sun Y., Zhang Y., Luo X., Sun Y. Digestion Performance and Microbial Metabolic Mechanism in Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Digesters Exposed to Elevated Loadings of Organic Fraction of Municipal Solid Waste // *Energies*, 2018. Vol. 11(4). P. 952. doi:10.3390/en11040952.

16 Ranieri L., Mossa G., Pellegrino R., Digiesi S. Energy Recovery from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste: A Real Options-Based Facility Assessment // *Sustainability*, 2018. Vol. 10. PP. 1-15 doi:10.3390/su10020368.

17 Richard E.N., Hilonga A., Machunda R.L., Njau K.N. A review on strategies to optimize metabolic stages of anaerobic digestion of municipal solid wastes towards enhanced resources recovery // *Sustainable Environment Research*, 2019. Vol: 29(36). PP. 1-13.

18 Rajagopal R., Bellavance D., Rahaman, Md. S. Psychrophilic anaerobic digestion of semi-dry mixed municipal food waste: For North American context // *Process Safety and Environmental Protection*, 2017. Vol. 105. PP. 101-108. Doi: 10.1016/j.psep.2016.10.014.

19 Chatterjee B., Mazumder D. Anaerobic digestion for the stabilization of the organic fraction of municipal solid waste: A review // *Environmental Reviews*, 2016. Vol. 24(4). PP. 426-459 <https://doi.org/10.1139/er-2015-0077>.

20 Di Maria F., Micale C. Life cycle analysis of incineration compared to anaerobic digestion followed by composting for managing organic waste: the influence of system components for an Italian district // *Int J Life Cycle Assess*, 2015. Vol. 20. PP. 377–388. DOI 10.1007/s11367-014-0833-z

21 Zarea M.A., Moazed H., Ahmadmoazzam M., Malekghasemi S., Jaafarzadeh N. Life cycle assessment for municipal solid waste management: a case study from Ahvaz, Iran // *Environ Monit Assess*, 2019. Vol. 191(131). PP. 1-13 <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7273-y>.

22 Huang J., Zhao R., Huang T., Wang X., Tseng M.-L. Sustainable Municipal Solid Waste Disposal in the Belt and Road Initiative: A Preliminary Proposal for Chengdu City // *Sustainability*, 2018. Vol. 10. P. 1147. doi:10.3390/su10041147.

23 Keskin T., Ersoy Y., Nuri A. Evaluation of the effect of initial solid matter concentration and season on anaerobic biodegradation of municipal solid wastes // *Sakarya University Journal of Science*, 2018. Vol. 22. Issue 5. PP. 119-126.

24 Abbasi S.A. The myth and the reality of energy recovery from municipal solid waste // *Energy, Sustainability and Society*, 2018. Vol. 8(36). PP. 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13705-018-0175-y>.

25 Nielfa A., Cano R., Vinot M., Fernandez E., Fdz-Polanco M. Anaerobic digestion modeling of the main components of organic fraction of municipal solid waste // *Process Safety and Environmental Protection*, 2015. Vol. 94. PP. 180-187 <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2015.02.002>.

26 Джамалова Г. А. Антропогенная эпоха твердых коммунальных отходов // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. – 2013. – №. 19. – С. 093-097.

27 Escamilla-Alvarado C., Poggi-Varaldo H.M., Ponce-Noyola T.M. Bioenergy and bioproducts from municipal organic waste as alternative to landfilling: a comparative life cycle assessment with prospective application to Mexico // *Environmental Science and Pollution Research*, 2017. Vol. 24. PP. 25602–25617 DOI 10.1007/s11356-016-6939-z

28 Джамалова Г.А. Анализ изменчивости качественного состава биогаза, производимого биореактором при интенсификации анаэробного разложения твердых бытовых отходов // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – №. 4. – С. 527-527.

29 Los Barbosa F.J., Rodrigues Cabral A., André Capanema M., Nagel Schirmer W. Biogas generation potential of anaerobic co-digestion of municipal solid wastes and livestock manures // *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 2018. Vol. 44. № 3. PP. 248-258 <https://doi.org/10.5276/JSWTM.2018.248>

30 Nikitina A.A., Kevbrina M.V., Kallistova A.Yu., Nekrasova V.K., Liti Yu.V., Nozhevnikova A.N. Intensification of Microbial Decomposition of Organic Fraction of Municipal Waste: Laboratory and Field Experiments // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2015. Vol. 51. № 4. PP. 393–401. DOI: 10.1134/S0003683815040122

31 Pandyaswargo A.H., Jagath Dickella Gamaralalage P., Liu C., Knaus M., Onoda H., Mahichi F., Guo Y. Challenges and an Implementation Framework for Sustainable Municipal Organic Waste Management Using Biogas Technology in Emerging Asian Countries // *Sustainability*, 2019. Vol. 11. PP. 6331 doi:10.3390/su11226331

32 Rusin J., Chamradova K. Organic fraction of municipal solid waste and its high-solids anaerobic digestion // *Waste Forum*, 2017. Vol. 4. PP. 244-253.

33 Parmar K.R., Ross A.B. Integration of Hydrothermal Carbonisation with Anaerobic Digestion; Opportunities for Valorisation of Digestate // *Energies*, 2019. Vol. 12. PP. 1586. doi:10.3390/en12091586

34 Kang J., Kwon G., Nam J.H., Kim Y.O., Jahng D. Carbon dioxide stripping from anaerobic digestate of food waste using two types of aerators // *International*

Journal of Environmental Science and Technology, 2017. Vol. 14. PP. 1397–1408. DOI 10.1007/s13762-017-1250-1

35 Shahbaz M., Ammar M., Zou D., Korai R. M., Li X.. An Insight into the Anaerobic Co-digestion of Municipal Solid Waste and Food Waste: Influence of Co-substrate Mixture Ratio and Substrate to Inoculum Ratio on Biogas Production. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2019. Vol. 187. PP. 1356–1370 <https://doi.org/10.1007/s12010-018-2891-3>

36 Pibul P., Towprayoon S. Acid-stressed control of market waste anaerobic digestion using pH adjustment // Environmental Progress & Sustainable Energy, 2015. Vol. 34. № 1. PP. 132-138. doi:10.1002/ep.11973

37 Xia Y., He P.-J., Pu H.-X., Lu F., Shao L.-M., Zhang H. Inhibition effects of high calcium concentration on anaerobic biological treatment of MSW leachate // Environ Sci Pollut Res, 2016. Vol. 23. PP. 7942–7948. DOI 10.1007/s11356-016-6052-3

38 ГОСТ Р 55571-2013. Удобрения органические на основе твердых бытовых отходов. Технические условия,

39 Разнощик В.В. Ускоренное обезвреживание и переработка на органическое удобрение твердых бытовых отходов // Москва. 1970. – № 6/36-70. – 23 с.

40 ГОСТ Р 53691-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт отхода I-IV класса опасности. Основные требования.

41 ГОСТ Р 55570-2013. Удобрения органические. Биокомпосты.

42 ГОСТ Р 56004-2014. Удобрения органические. Вермикомпосты

43 ГОСТ Р 51661.1-2000 Торф для приготовления компостов. Технические условия

44 ГОСТ Р 54530-2011 (ЕН 13432:2000) Ресурсосбережение. Упаковка. Требования, критерии и схема утилизации упаковки посредством компостирования и биологического разложения

45 Шубарколь – черная жемчужина Сары-Арки [Электронный ресурс]. – URL: <http://novikovv.ru> – (дата обращения: 02.01.2016).

46 Толымбетов М.Ж. Технологические особенности выплавки металлургического кремния в Казахстане [Электронный ресурс] // Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030. – URL: <http://repo.kstu.kz> (дата обращения: 10.02.2016).

47 Никитишен В.И., Курганова В.Е. Плодородие и удобрение серых лесных почв ополей Центральной России. – М.: Наука, 2007. – 367 с.,

48 Рочев В.А., Швейкина Р.В., Барсукова Г.А., Попова Н.Н. Влияние кремнегеля на агрохимические свойства почвы и урожай сельскохозяйственных культур // Питание растений и программирование сельскохозяйственных культур. Тр. Свердловского СХИ. Пермь, 1980. – Т. 60. – С. 61–68.

49 Knickmann E. Silizium und Pflanze // Landwirtsch. Forsch. 1962. – V. 15. – P. 130–134.,

- 50 Шишелова Т.И., Самусева М.Н., Шенькман Б.М. Использование ЗШО в качестве сорбента для очистки сточных вод [Электронный ресурс] // Современные наукоемкие технологии, 2008. – № 5. – С. 20-22. – URL: <http://www.top-technologies.ru> (дата обращения: 10.02.2016).
- 51 Орлов Д.С. Химия почв. – М.: МГУ, 1985. – 376 с.
- 52 Мусина У.Ш. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института. - 2014. - № 23(49). - С. 79–82.
- 53 Мусина У.Ш. Экологический потенциал коксуского шунгита. Гидрометеорология и экология, 2010, №4, с.154-159.
- 54 Мусина У.Ш. Изучение обесцвечивающей способности коксуских шунгитистых пород. // Вестник КазНТУ. 2011. № 1 (83). С. 85-90.
- 55 Мусина У.Ш. Изучение физико-химических свойств коксуских шунгитистых пород. // Вестник КазНТУ. № 6 (82). 2010. С. 3-7..
- 56 Мусина У.Ш., Козьмин Н.Б., Кутыбаев Н.Р., Нурдилданова Б.Е. Изучение влияния коксуского шунгита (таурита) на содержание кислорода в водных растворах. // Вестник КазНТУ. 2012. № 1 (89). С. 221-225.
- 57 Стандарт качества компостов. URL: <http://www.green-pik.ru/sections/99.html&article=15> (дата обращения: 31.01.2016).
- 58 SDU. Law concerning the quality and use of so-called other organic fertilisers (so-called BOOM decree). 's Gravenhage: Staatblad van het Koninkrijk der Nederlanden 1991; 613:1-45. In Dutch.
- 59 Витковская С.Е. Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота. СПб: АФИ, 2012. – 132 с.
- 60 ГОСТ 12.1.007-76. Классификация и общие требования безопасности.
- 61 ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 62 Химико-аналитический центр. URL: http://analizvod.ru/pokazateli_pochva/himicheskii_analiz_pochvy.html. Химический анализ почвы. (дата обращения: 15.01.2016).
- 63 ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве.
- 64 Kloke, A. Contents of As, Cd, Cr, Pb, Hg and Ni in Plants Grown on Contaminated Soil // Papers Presented to the Symposium on the Effects of Air-born Pollution on Vegetation. 1980. Bd. 109. N. 81. P.192.
- 65 Сирина, Н.В., Оценка воздействия на атмосферный воздух предприятий алюминиевой промышленности. Известия Иркутского государственного университета, 2008, Т. 1, С. 181.
- 66 Шугалей И. В., Гарабаджиу А. В., Илюшин М. А., Судариков А. М. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы. Экологическая химия 2012, 21(3); 172–186.
- 67 ГН 2.1.7.12-1-2004. Перечень ПДК и ОДК химических веществ в почве.
- 68 МУ 2.1.7.730-99. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест.

69 Агроэкология / В.А. Черников, Р.М.Алексахин, А.В.Голубев и др.; под ред. В.А.Черникова, А.И. Чекереса. – М.: Колос, 2000.– 536 с.

70 СанПиН 42-128-4433-87. Санитарные нормы допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в почве

71 СНиП 2.04.03-85. Наружные сети и канализация

72 Рекомендации по расчету образования биогаза и выбору систем дегазации полигонов захоронения твердых бытовых отходов/ Абрамов Н.Ф., Вайсман Я.И., Максимова СВ., Глушанкова И.С., Батракова Г.М., Вайсман О.Я., Коротаяев В.Н., Рудакова Л.В. М., Госстрой РФ. 2003. 27с.

73 Яковлев С. В., Карелин Я.А., Жуков А. И., Колобанов С.К. Канализация. Учебник для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1975. - 632 с.

74 Ковалев Н.Г., Погребная Н.П., Егорова О.Г. Уборка и утилизация на фермах крупного рогатого скота. – М.: Животноводство. – 1981, №2. – С. 20-22.

75 Воронов Ю.В., Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов: - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.