

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра «Химическая и биохимическая инженерия»

КОЛЧЕНКО МАРИЯ ВЛАДИМИРОВНА

Разработка технологии интенсификации и оптимизации аэробной переработки
органических отходов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

Специальность 5В070100 – Биотехнология

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра «Химическая и биохимическая инженерия»

 **ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**
Заведующий кафедрой «Химическая
и биохимическая инженерия», PhD
Амитова А.А.
“30” мая 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка технологии интенсификации и оптимизации аэробной
переработки органических отходов»

по специальности 5B070100 – Биотехнология

Выполнил

Колченко М.В.

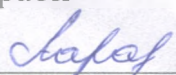
Рецензент

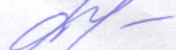
“30” мая 2022 г.

к.б.н., профессор кафедры
биотехнологии КазНУ им. Аль-
Фараби

Научный руководитель

к.с.-х.н., доцент, ассоц. профессор

 Атамбаева Ш.А.

 Джамалова Г.А.

“30” мая 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра «Химическая и биохимическая инженерия»

5B070100 – Биотехнология

УТВЕРЖДЕН

Заведующий кафедрой «Химическая
и биохимическая инженерия», PhD

Амитова А.А.
“30” мая 2022 г.



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Колченко Марии Владимировне

Тема: Разработка технологии интенсификации и оптимизации аэробной переработки органических отходов

Утверждена приказом Ректора Университета № 489–п от "24"12 2021 г.

Срок сдачи законченной работы "09" июня 2022 г.

Исходные данные к дипломному проекту: результаты модельного эксперимента по компостированию органических отходов, результаты микробиологических лабораторных исследований

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

- а) технологии переработки твердых бытовых отходов;
- б) кинетика протекания процесса аэробного разложения;
- в) вопросы безопасности жизнедеятельности и охраны труда;
- г) расчет экономической эффективности разработки.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены 10 слайдов презентации работы.

Рекомендуемая основная литература включает 72 наименований.

ГРАФИК

подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение. Обзор литературы	Февраль, 2022	Выполнено
Материал и методика исследований	Март, 2022	Выполнено
Результаты исследований. Выводы	Апрель, 2022	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу
(проект)

с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основной раздел	Г.А. Джамалова, к.с.-х.н., доцент, ассоц. профессор	30.05.2022	
Нормоконтролер	Г.А. Джамалова, к.с.-х.н., доцент, ассоц. профессор	30.05.2022	

Научный руководитель _____  Джамалова Г.А.

Задание принял к исполнению обучающийся _____  Колченко М.В.

Дата

“30” мая 2022 г.

АННОТАЦИЯ

Вид работы: дипломная работа.

Объем: 30 страниц, содержит 9 таблиц, 16 рисунков.

Цель. Разработка технологии интенсификации и оптимизации аэробной переработки органических отходов.

Полученные результаты:

1 Изучены микробиологические свойства органических отходов в процессе их компостирования.

2 Изучена кинетика роста колоний микроорганизмов, выращенных на твердых питательных средах.

3 Разработана схема интенсификации процесса аэробного разложения органических отходов.

Актуальность: в естественных условиях аэробное разложение органических отходов занимает месяцы и годы, что снижает эффективность использования данного процесса. С ежегодным ростом выбрасываемой продукции как в Казахстане, так и в мире, ускоренные методы утилизации отходов становятся предпочтительнее.

Новизна: подробное рассмотрение процесса аэробного разложения органического материала микроорганизмами помогло охарактеризовать ключевые факторы в кинетике данного процесса, на основе чего был разработан способ интенсификации разложения пищевых отходов в аэробных условиях. Экспериментально было изучено влияние концентрации биопрепарата на рост колоний микроорганизмов.

АНДАТПА

Жұмыс түрі: дипломдық жұмыс.

Көлемі: 30 бет, 9 кесте, 16 сурет бар.

Мақсат. Органикалық қалдықтарды аэробты өңдеуді интенсификациялау және оңтайландыру технологиясын әзірлеу.

Нәтижелер:

1 Органикалық қалдықтардың микробиологиялық қасиеттері оларды компосттау процесінде зерттелді.

2 Қатты қоректік орталарда өскен микроорганизмдер колонияларының өсу кинетикасы зерттелді.

3 Органикалық қалдықтардың аэробты ыдырау процесін интенсификациялау схемасы әзірленді.

Өзектілігі: табиғи жағдайда органикалық қалдықтардың аэробты ыдырауы айлар мен жылдарды алады, бұл процестің тиімділігін төмендетеді. Қазақстанда да, әлемде де қоқысқа тасталатын өнімдердің жыл сайынғы өсуіне байланысты қалдықтарды кәдеге жаратудың жеделдетілген әдістері қолайлы болуда.

Жаңашылдық: микроорганизмдермен органикалық материалдың аэробты ыдырау процесін егжей-тегжейлі қарастыру осы процестің кинетикасының негізгі факторларын сипаттауға көмектесті, оның негізінде аэробты жағдайда тамақ қалдықтарының ыдырауын күшейту әдісі жасалды. Биологиялық өнімнің концентрациясының микроорганизмдер колонияларының өсуіне әсері эксперименталды түрде зерттелді.

ANNOTATION

Type of work: bachelor's thesis.

Volume: 30 pages, contains 9 tables, 16 figures.

Goal. Development of technology for intensification and optimization of aerobic processing of organic waste.

Results:

1 The microbiological properties of organic waste were studied during the process of their composting.

2 The growth kinetics of colonies of microorganisms grown on solid nutrient media has been studied.

3 A scheme for intensifying the process of aerobic decomposition of organic waste has been successfully developed.

Relevance: under natural conditions, aerobic decomposition of organic waste takes months and years, which reduces the efficiency of this process. With the annual growth of discarded products both in Kazakhstan and in the world, accelerated waste disposal methods are becoming preferable.

Novelty: a detailed consideration of the process of aerobic decomposition of organic material by microorganisms helped to characterize the key factors in the kinetics of this process, on the basis of which a method was developed to intensify the decomposition of food waste under aerobic conditions. The influence of the concentration of the biological product on the growth of colonies of microorganisms was experimentally studied.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	0
Содержание	0
ВВЕДЕНИЕ	1
1 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	2
1.1 Обзор литературы	2
1.1.1 Техногенная сущность органических отходов	2
1.1.2 Технология переработки органических отходов	2
1.1.3 Компостирование.....	5
1.2 Материалы и методы	14
1.3 Результаты исследования	15
1.3.1 Общая обсемененность и культуральные свойства колоний микроорганизмов, выращенных на твердых питательных средах	15
1.3.2 Схема интенсификации процесса аэробного разложения органических отходов.....	23
Список использованной литературы	26

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Из-за образования большого количества отходов управление отходами стало одной из самых больших проблем в наши дни. От экономических и социальных до экологических факторов управление отходами и удаление отходов нуждаются в лучшей системе управления, поскольку проблемы часто связаны с технически слабой системой управления отходами, недостаточными финансовыми ресурсами и часто ограниченным сотрудничеством с общественностью. Чтобы лучше справиться с этой ситуацией, отходы делятся на фракции. Органическая фракция твердых бытовых отходов является одной из классификаций, разработанных для более корректного подхода к переработке биоразлагаемых отходов. При попытке перехода от линейной экономики к циркулярной наиболее распространенный способ размещения органической фракции твердых бытовых отходов на полигонах потерял прошлую выгоду. Аэробное разложение (компостирование) нашло свое место в качестве эффективного подхода к переработке биоразлагаемых органических фракций твердых бытовых отходов и как часть экономики замкнутого цикла. Из-за преимуществ данного метода, таких как санитарная обработка отходов, экономическая эффективность и преобразование отходов в ценный продукт, компостирование считается надежным вариантом биоразлагаемой обработки отходов.

Цель. Разработка технологии интенсификации и оптимизации аэробной переработки органических отходов.

Задачи:

1 Изучение микробиологических свойств органических отходов в процессе их компостирования.

2 Изучить кинетику роста колоний микроорганизмов, выращенных на твердых питательных средах.

3 Разработать схему интенсификации процесса аэробного разложения органических отходов.

Новизна: подробное рассмотрение процесса аэробного разложения органического материала микроорганизмами помогло охарактеризовать ключевые факторы в кинетике данного процесса, на основе чего был разработан способ интенсификации разложения пищевых отходов в аэробных условиях. Экспериментально было изучено влияние концентрации биопрепарата на рост колоний микроорганизмов.

Практическая значимость. Результаты исследований могут быть использованы для разработки практических занятий по дисциплинам биотехнологического профиля.

1 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Обзор литературы

1.1.1 Техногенная сущность органических отходов

Твердые бытовые отходы (далее – ТБО) – это широкий спектр отходов, суммарно представленный в бытовом секторе внутри урбанизированных поселений [1].

Морфологический состав ТБО современного урбанизированного поселения представлен в Таблице 1.

Таблица 1 – Морфологический состав ТБО современного населенного пункта [1]

Морфологический состав		%
Органические отходы	Пищевые отходы	30–38
	Бумага, картон	25–30
	Пластмасса, резина	2–5
	Кожа	2–5
Нерганические отходы	Стекло	5–8
	Металлы	3–5
Прочие	Прочие компоненты	8–12

Как следует из данных, приведенных в Таблице 1, большая часть (55–68%) представляют собой бумажные изделия и пищевые отходы, а значит, могут быть повторно переработаны.

Согласно данным Европейской Комиссии, фракция биоотходов ТБО состоит из двух основных потоков [2]:

- зеленые отходы (из парков, садов и т. д.), содержащие 50–60% воды и больше древесины (лигноцеллюлозные);
- кухонные отходы, не содержащие древесины и содержащие до 80% воды.

1.1.2 Технология переработки органических отходов

1.1.2.1 Термохимическая обработка

Процессы термохимической конверсии (пиролиз, газификация), преобразуют биомассу в:

- энергию (тепловую, электрическую) [4],

- активированный уголь и бионефть [5].

Однако, как указывают авторы [6, 7], открытое сжигание имеет существенные недостатки, основные из которых, это:

- потеря питательных веществ;
- удаление органических веществ из почвы;
- сокращение количества полезных почвенных микробиот;
- выброс вредных загрязнителей воздуха, таких как CO₂, N₂O, CH₄, CO, неметановые углеводороды, NO_x, SO₂ и твердые частицы.

1.1.2.2 Свалки

Мусорные свалки и полигоны – исторически широко распространенный способ обработки коммунальных отходов. Различают свалки и полигоны, которые различаются по технологии сбора ТБО, в первых ТБО собирают на открытом воздухе, во втором ТБО депонируют в землю. Депонирование отличается дороговизной и, дополнительно, требует проведения мониторинга загрязнений объектов окружающей среды – воздуха, почвы и воды (наземных и грунтовых) [8]. Общеизвестно, что трансформация ксенобиотиков из свалочного фильтрата в близлежащие воды (наземные, грунтовые) и земли негативно отражается на плодородии почв [9].

Согласно Не Р.Д. (2006), прямая очистка фильтрата эффективна для депонированных в грунт ТБО с низкой долей пищевых отходов (3,5% по массе), но не для ТБО азиатских стран, содержащих до 54-60 % пищевых отходов [10].

1.1.2.3 Биотехнология переработки органических отходов

Биотехнологические методы обезвреживания/переработки органических отходов в виде схемы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Биотехнологические методы обезвреживания/переработки органических отходов [11, 12]

Вид отходов	Технология
Навоз, помет	Биоразложение (компост, биогаз), сушка, гранулирование (органоминеральные удобрения, кормовые добавки)
Растительные отходы	Биоразложение (компост, биогаз), силосование, биомодификация, делигнификация, получение белка одноклеточных организмов (БОО), получение биотоплива
Отходы органические, богатые растворенной органикой (белками, углеводами, жирами)	Получение пищевых продуктов, кормового БОО, биотоплива, др. продуктов микробиологической переработки, анаэробное биоразложение (биогаз)
Органическая фракция (ОФ) ТБО: ОФ-ТБО	Биоразложение (компост, биогаз), депонирование на полигонах

Вид отходов	Технология
Твердые белок- и жиросодержащие отходы, осадочные дрожжи	Получение добавок (пищевых, кормовых), биологически активных веществ (БАВ), биоразложение (компост, биогаз), сушка, гранулирование (органоминеральные удобрения)
Отходы очистных сооружений: осадки, активный ил	Биоразложение (компост, биогаз), стабилизация и обеззараживание в технонакопителях

1.1.2.4 Анаэробные технологии переработки

Нацелено на производство экологически чистого топлива (биогаз, биогаз). Термофильный процесс (50-55°C) снижает плотность патогенов: при 50°C вирусы инактивируются полностью за 0,13 суток (на примере полиовирусов) [13].

Производимый биогаз содержит в своем составе CH_4 (45-70%), CO_2 (30-45%) и следы H_2 , H_2O , NH_3 , H_2S [14, 15].

1.1.2.5 Аэробные технологии переработки

Компостирование нацелено на получение биологически стабильного конечного продукта – компоста [16].

Технологии	Технология	Капитальные затраты, тыс.евро	Эксплуатационные затраты, евро/м ³ осадков
	Сжигание	18125	45
	Компостирование	1950	7
	Анаэробное сбраживание	7655	25
	Термическая сушка	7875	20
	Сушка солнечной энергией	5775	10

Рисунок 1 – Сравнение затрат для различных технологических решений по утилизации осадков [17]

Производство качественного компоста зависит от понимания биохимических процессов компостирования, необходимые для контроля и

корректировки процесса на различных стадиях развития и в различных технологиях.

На рисунке 1 представлены в сравнительном аспекте затраты (капитальные, эксплуатационные), требующиеся для утилизации органических отходов, богатых энергоемкими углеводами – городских сточных вод.

Компостирование имеет преимущества экологического характера, т.к. переработка «зеленых» органических отходов считается более предпочтительной, поскольку конечный продукт имеет меньший риск токсичности из-за отсутствия различных загрязняющих веществ – тяжелых металлов, ароматических углеводородов; гормонов, фармацевтических препаратов, а также вирусов, фекальных бактерий группы кишечной палочки (БГКП) и сальмонеллы [18].

Также коммерчески привлекательны препараты, приготовляемые на основе компоста. Компостные чаи (экстракт) – это органические растворы, продукты ферментации компоста в жидкой фазе, их готовят путем смешивания зрелого компоста с водой в соотношениях (об./об.) 1:5 – 1:10 [19]. Было отмечено, что использование компостных фильтратов позволяло растениям повысить устойчивость против почвенных и воздушных вредителей [20].

1.1.3 Компостирование

1.1.3.1 Факторы (ключевые), влияющие на технологию компостирования

Параметры, которые могут использоваться в качестве показателей темпов гумификации, «зрелости» и стабильности компостов, составляют, как это видно из рисунка 2, две категории.

В дополнение к рисунку 2 следует отметить, что показатели первой категории за время периода компостирования снижаются, а второй – с течением времени увеличиваются [21]. При этом качество компоста стабилизируется.

Тип субстрата: Многие свойства процесса компостирования и качество компоста определяются используемым исходным материалом: соотношение С:N, содержание влаги, уровень pH, объем пустот и размер частиц. Примеси тоже играют важную роль: жир и масло могут препятствовать процессу компостирования [22]. Высокие концентрации столовой соли в пищевых отходах угнетают рост микроорганизмов [23], а присутствие большого количества сахара увеличивает число микроскопических грибов в составе микосообществ [24].

Соотношение С:N: тесно связано со скоростью процесса деградации. При хорошем соотношении С:N микробы будут использовать весь N для собственных метаболических нужд [25]. Оптимальное соотношение С:N составляет от 30:1 до 40:1. Для этого отходы с узким соотношением С:N (в основном отходы с низкой структурой) можно смешивать с отходами с широким соотношением С:N (богатые структурой материалы).



Рисунок 2 – Показатели темпов гумификации, «зрелости» и стабильности компостов

Влага и кислород/аэрация: и влага, и кислород необходимы для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов, поэтому и то, и другое должно быть обеспечено в достаточном количестве в процессе компостирования. Начальное содержание влаги должно составлять 50–65%, и в процессе может потребоваться добавление воды. Чтобы процесс оставался аэробным, количество кислорода в компостном материале должно быть больше 12% [26]. Влажность и аэрация тесно связаны друг с другом, что необходимо учитывать при управлении процессом компостирования, поскольку аэрация снижает содержание воды в сырье, высушивая материал, а при влажности меньше 15% микробная активность останавливается. Аэрация значительно снижает выбросы и стабилизирует органическое вещество, а также приводит к удалению большего количества азота [27].

Уровень pH: уровень pH исходного материала также влияет на активность микроорганизмов. Для хорошей биологической активности pH должен быть между 5,5 и 8. При компостировании овощей pH конечного продукта сравнительно высокий [28], а образующиеся при гидролизе жиров жирные кислоты подкисляют систему, снижая pH [29].

Структура: структура исходного материала определяет его пористость, что имеет решающее значение при рассмотрении аэрации. Для хорошей аэрации и быстрого процесса компостирования размер частиц должен быть от 25 до 100 мм [30].

Температура: температура активной фазы компостирования важна для стерилизации компоста, и ее необходимо контролировать вместе с содержанием воды, так как высокие температуры могут также высушить материал. Чрезмерно высокие температуры могут привести к массовой гибели микробов и серьезному воздействию на гидролазную систему. И наоборот, если температура слишком низкая, рост и метаболическая способность микроорганизмов подавляются, что влияет на процесс ферментации. Рост температуры происходит в первые 7-8 дней, после чего она достигает ок. 45°C и стабилизируется до созревания компоста [30].

Перемешивание/перемешивание: переворачивание/перемешивание исходного сырья важно для достижения лучшей санитарной обработки компоста. Он также разбивает сгустки частиц, восстанавливая пористость, и повторно вводит воздух в исходное сырье. Однако оптимальная частота перемешивания связана с температурой, поскольку перемешивание снижает температуру [31].

1.1.3.2 Описание процесса

Органика + O₂ ⇒ CO₂ + H₂O + ([N] + [S] + [P]) + стабилизированная органика + теплота (1)

В ходе компостирования, микроорганизмы в присутствии кислорода разлагают крупные органические молекулы до углекислого газа, воды, минеральных солей, непосредственно компоста и энергии, согласно формуле 1. При этом происходит потеря массы в форме газов и пара. Что касается выделения тепла, расщепление глюкозы, жиров и белка выделяет тепло в размере 16,73 кДж, 37,64 кДж и 16,73 кДж на грамм соответственно [32].

Скорость реакции аэробного гидролиза связана с температурой, содержанием воды, концентрацией кислорода, предельной концентрацией субстрата [33]. Было показано, что модель кардинальной температуры с перегибом (СТМІ) обеспечивает более стабильные параметры в диапазоне температур компостирования, и, что более важно, изменчивость параметров можно отнести к микробным процессам [34, 35].

$$R_j = -k_{hj} \cdot f(T) \cdot f(C_{water}) \cdot f(C_{O_2}) \cdot f(C_{C/N}) \cdot S_j \quad (2)$$

где k_{hj} — константа скорости гидролиза первого порядка для аэробного гидролиза j-го лимитирующего субстрата, d⁻¹;

R_j — скорость реакции лимитирующего субстрата;

S_j — предельная концентрация субстрата;

$f(T)$ — функция влияния температуры;

$f(C_{water})$ — функция влияния содержания воды;

$f(C_{O_2})$ — функция влияния содержания кислорода;

$f(C_{C/N})$ — функция влияния исходного отношения углерода к азоту;

C_{water} — влажность;

C_{O_2} — объемное содержание кислорода.

Фактор влияния температуры может быть выражен уравнением 3:

$$f(T) = \frac{(T-T_{max})(T-T_{min})^2}{(T_{opt}-T_{min})[(T_{opt}-T_{min})(T-T_{opt})-(T_{opt}-T_{max})(T_{opt}+T_{min}-2T)]} \quad (3)$$

где T_{min} , T_{opt} , T_{max} представляют собой минимальную, оптимальную и максимальную температуры соответственно, которые были установлены на 0, 50 и 65 °C [36]. При температуре ниже 10 °C коэффициент влияния температуры составляет менее 0,1; при температуре от 10 до 50 °C фактор влияния температуры увеличивается линейно с температурой; когда температура выше 50 °C, коэффициент влияния температуры параболически уменьшается, пока не станет равным 0. Зависимость скорости процесса аэробного разложения от температуры представлена на Рисунке 3.

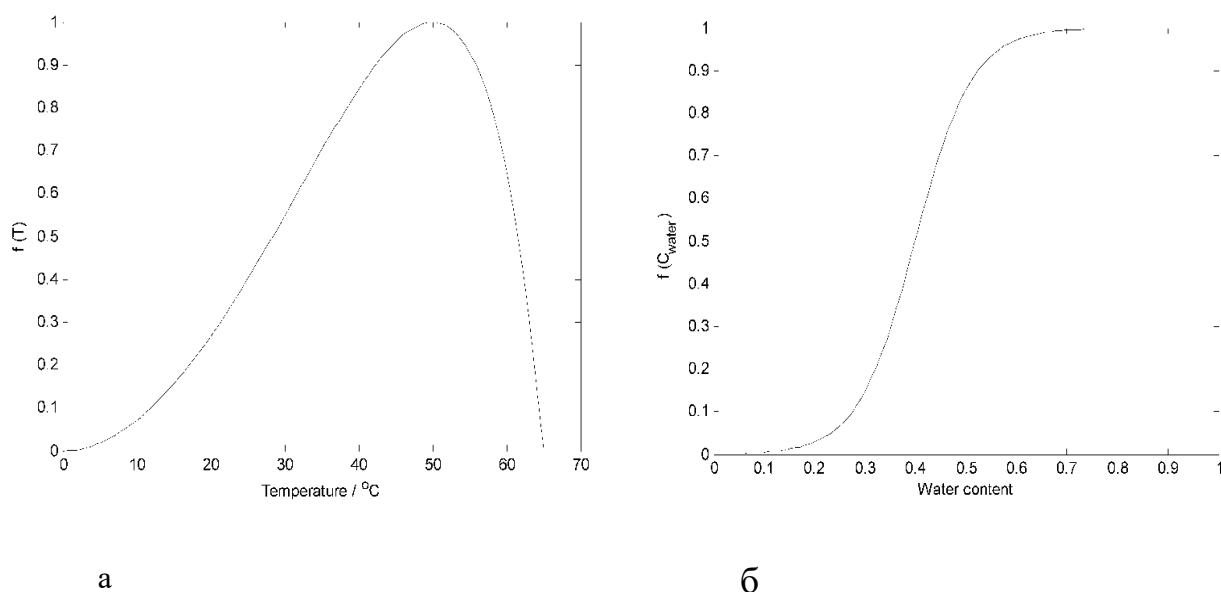


Рисунок 3 – Фактор влияния температуры (а) и влажности (б) меняется вместе с температурой (а) и в зависимости от влажности (б) [35]

Влияние влажности субстрата в основном проявляется в способности микроорганизмов использовать питательные вещества, а также во влиянии влаги на уменьшение объема воздухопроницаемого пространства. Изменение фактора влияния влажности от фактического содержания влаги в субстрате описывается формулой 4, визуализация на рисунке 3.

$$f(C_{water}) = \frac{1}{e^{(-17.684C_{water}+7.0622)} + 1} \quad (4)$$

Как правило, при содержании кислорода в порах ТБО более 5% от общего объема, метаболизм аэробными микроорганизмами серьезно не тормозится. Фактор влияния концентрации кислорода сначала быстро увеличивается с объемной долей кислорода, а затем медленно приближается к 1. Данное отношение, выведенное из формулы 5, визуальное представлено на рисунке 4 [35].

$$f(C_{O_2}) = \frac{C_{O_2}}{C_{O_2} + 2\%} \quad (5)$$

Углерод является основным источником энергии микроорганизмов, тогда как азот в основном используется микроорганизмами для синтеза протоплазмы для производства клеток. Чем выше отношение углерода к азоту, тем больше органического вещества могут использовать микроорганизмы, тем сильнее микробная активность и выше эффективность разложения. Однако, когда поступающий азот превышает оптимальный диапазон или источник углерода исчерпывается чересчур быстро, микробная активность снижается, и процесс деградации замедляется. Когда отношение углерода к азоту слишком низкое, азот становится избыточным. В ходе реакции количество азота в среде микробного разложения превышает потребности для синтеза клеток. Избыток азота высвобождается в виде NH_3 , что приводит к потерям азота и появлению неприятного запаха. Рекомендуемый диапазон соотношения углерода и азота для переработки бытовых отходов составляет 20:1–40:1, а оптимальный – 25:1–30:1 [37]. Фактор влияния начального отношения углерода к азоту и начальное отношение углерода к азоту имеют нормальное распределение, достигая пика, когда отношение углерода к азоту составляет 28.

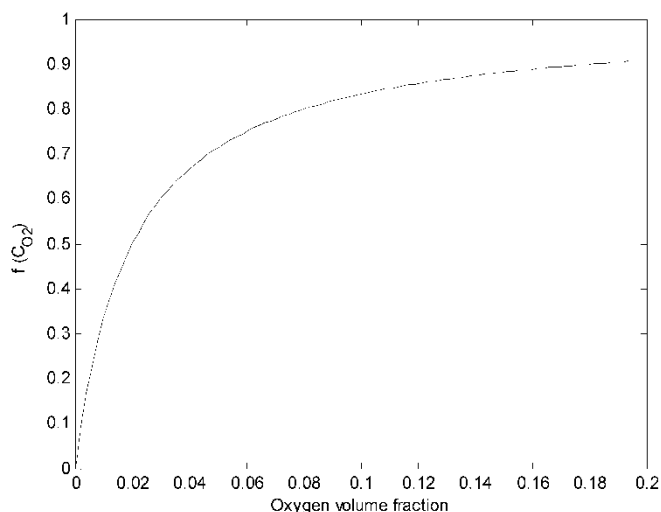


Рисунок 1 – Фактор влияния аэрации меняется в зависимости от содержания кислорода [35]

Изменение фактора влияния влажности от фактического содержания влаги в субстрате описывается формулой 6, визуализация на рисунке 5 [35].

$$f(C_{C/N}) = e^{-(C_{C/N}-28)/14)^2} \quad (6)$$

Процесс проходит в двух фазах: фаза активного компостирования, и фаза консервирования. Во время активной фазы температура поднимается (иногда до 55-65°C при оптимальных условиях), и происходит обеззараживание органической массы. При этом падает содержание патогенов растений и человека, также теряется и влага. На этой стадии важен четкий контроль процесса, чтобы не допустить высыхания продукта (влажность меньше 55—65%) и поддерживать процесс ферментации. Пока содержание воды и питательных веществ в реакторе остается оптимальным, температура системы

будет повышаться, а рост и метаболизм термофильных микроорганизмов будут происходить интенсивно. В первую очередь потребляется легко разлагаемое органическое вещество, поэтому содержание органического вещества снижается, а гидролазная активность возрастает [3].

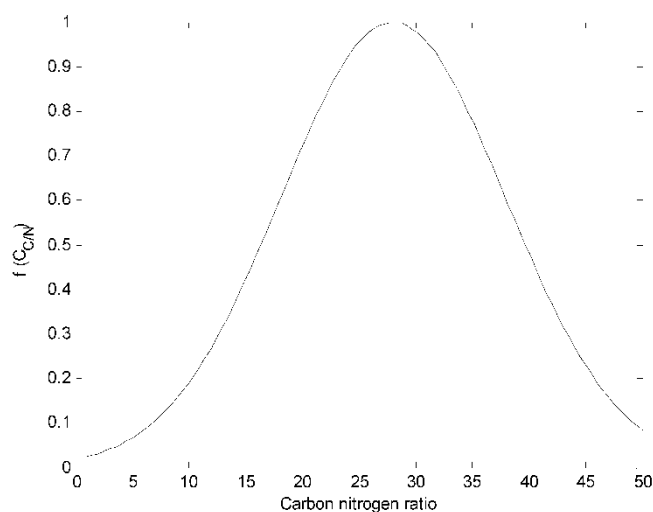


Рисунок 2 – Фактор влияния соотношения C/N меняется вместе с C/N [35]

Далее наступает медленная фаза, во время которой происходит разложение крупных полимеров, ассоциации микроорганизмов меняют свой состав, колонии уменьшаются, скорость разложения и, соответственно, температура падают. Когда компостный продукт созреет и станет стабильным, процесс считается завершенным. Компост стабилен, когда он больше не подвергается быстрому разложению, что означает, что он не проявляет биологической активности. Зрелость указывает на степень фитотоксичности компоста, которая обычно вызвана высоким уровнем аммиака или органических кислот [38].

1.1.3.3 Микроорганизмы, участвующие в процессе аэробного разложения

Состав сообщества микроорганизмов, участвующих в процессе разложения органических отходов, определяется типом субстрата и наличием тех или иных примесей. Например, в компостах с высоким соотношением C:N, характерным для субстратов, богатыми такими трудноразлагаемыми органическими макромолекулами, как жиры или целлюлоза, преобладали азот-фиксаторы родов *Thermoactinomyces*, *Planifilum*, *Flavobacterium*, *Bacillaceae*, *Pseudomonas*, *Sphingobacterium*, *Paenibacillus*, *Bacillus* и *Thermobifida*, когда как процент денитрифицирующих бактерий *Pseudomonas*, *Ignatzschineria*, *Alcanivorax*, *Cerasibacillus*, *Truepera* и *Erysipelothrix* был ниже контроля [39].

Bacillus coagulans обладает высокой кислотоустойчивостью и может разлагать сахара с образованием L-молочной кислоты при 45–50 °C. Кроме того, он также может выделять большое количество протеазы и амилазы в процессе ферментации, что способствует разложению и трансформации макромолекулярного органического вещества [40]. *B. subtilis* and *B. licheniformis*

также продемонстрировали свои способности к биодegradации широкого круга пищевых отходов [41].

Thermoactinomyces проявляют термостойкость и выживают в суровых условиях, метаболизируясь при 45 ° C и производя множество термостойких ферментов, таких как амилаза, серин, протеаза и липаза. Присутствие этих бактерий может эффективно способствовать процессу аэробной ферментации пищевых отходов [42]. Они приспособлены к выживанию в неблагоприятных условиях окружающей среды, что может подавлять рост других бактерий, снижая тем самым разнообразие микробного сообщества [43].

1.1.3.4 Интенсификация процесса

По сути, оптимизированные микроорганизмы в процессе ферментации можно рассматривать как эффективные, разумно интегрированные клеточные фабрики [46]. Возможные направления оптимизации процессов, следующие:

1 Улучшение кинетики: необходимо максимизировать концентрацию клеток, добавляя меньше воды и/или фиксируя клетки [47].

2 Однородность: свести к минимуму влияние градиентов концентрации субстрата, температуры и скорости сдвига за счет уменьшения среднего времени циркуляции бульона [48].

3 Уменьшение влияния явлений переноса на процесс: увеличить (1) движущие силы массо- и теплопереноса, (2) коэффициенты переноса и (3) площадь переноса [49].

4 Интеграция: возможно объедините нескольких операций внутри метаболических сетей сообществ микроорганизмов [50].

Другие возможности оптимизации: переход от периодического к непрерывному процессу, непрерывное удаление (ингибирование) продукта из ферментера через газ или вторую жидкую (масляную) фазу (отгонка/экстракция), быстрый перенос нестабильного продукта в другую фазу или вне ферментера, чтобы предотвратить деградацию, и сохранение клеток как средство для максимизации концентрации клеток [44, 45].

1.1.3.4.1 Пред-обработка амилазой

Максимальное уменьшение твердой фракции пищевых отходов наблюдалось при использовании смешанной культуры *B. licheniformis* HULUB1 и *B. subtilis* SUNGB2 при температуре 45 °C, в то время как использование экстрагированных из данных штаммов ферментов α -амилазы давало максимальных результат при 65 °C. Полученные данные показали, что два штамма проявляют новые свойства в тандеме, а комбинация двух видов *Bacillus* spp. разлагают пищевые отходы быстрее при предварительной обработке α -амилазой [40, 51].

1.1.3.4.2 Добавки

Добавки воздействуют на микробные сообщества за счет влияния на температуру, влажность и аэрацию кучи, что обусловлено содержанием в них питательных веществ и легкодоступных форм углерода [59, 60].

Биологические добавки относятся к микроорганизмам, которые вносятся в компостную или биогумусную кучу. Эти микроорганизмы обычно выделяют из компостов на термофильной фазе, культивируют и продают в виде коммерческого раствора. Однако в большинстве коммерческих микробиологических добавок присутствуют микроорганизмы *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterococcus* и *Lactobacillus*. Эти микроорганизмы участвуют в ассимиляции аммиака при компостировании или в разложении лигноцеллюлозы [52].

Органические добавки охватывают широкий спектр продуктов: солому, зрелые компосты, отходы от просеивания компоста из зеленых отходов, скошенную траву, измельченные материалы лиственных пород, измельченные деревянные поддоны, кору и стебли кукурузы. При выборе органических добавок необходимо обращать внимание на соотношение C/N исходных смесей, чтобы обеспечить деградацию органического вещества и предотвратить вымывание N при компостировании [53, 54]. Биоуголь, благодаря своей пористой структуре, может усиливать микробную активность за счет контроля влажности и аэрации, что влияет на температуру компоста. Тем не менее, норма внесения биоугля выше 20% не рекомендуется, так как это может препятствовать биодеградации органических веществ [61].

Основными неорганическими добавками являются известь, глина, красный шлам, летучая зола. Чистые минералы, такие как глина, извлекаемые из карьеров или почвы, все чаще используются с целью сокращения выбросов парниковых газов при компостировании. Их преимуществами являются их высокая доступность и низкая стоимость в качестве промышленных отходов [55].

Минералы, такие как цеолит или бентонит кальция, способствуют росту микробной популяции и улучшают качество почвы благодаря высокой емкости катионного обмена, увеличенной площади поверхности и пористости [56, 57]. Добавление цеолита может удерживать растворимый N (NH_4^+) и приводить к значительному снижению отношения C/N и увеличению общего азота, общего доступного фосфора и общего калия [66]. Кроме того, природный цеолит (клиноптилолит) в продукте компостирования осадка сточных вод поглощает тяжелые металлы, снижая их биодоступность [58].

Наполнители для компенсации высокого содержания влаги в органических отходах представляют собой волокнистые материалы, которые могут поглощать часть фильтрата. Это кукурузные стебли, опилки или отработанный грибной субстрат [62]. Наоборот, потеря воды в первые дни компостирования может замедлить процесс компостирования и вызвать необходимость орошения водой. Добавление материалов с высокими водоудерживающими свойствами, таких как глина, зола, фосфориты, может ограничить потери воды [63].

Использование багассы, бумаги, скорлупы арахиса, опилок, бентонита, летучей золы, извести или красного шлама также может повышать pH во время компостирования. Однако такие щелочные добавки могут ингибировать метаболическую активность [64]. Повышение pH во время термофильной фазы компенсировалось использованием бамбукового угля или цеолита, что

объяснялось способностью этих добавок адсорбировать аммиак, образующийся при минерализации органического азота. Добавление элементарной серы значительно снизило pH при компостировании птичьего помета, в основном за счет окисления элементарной серы с образованием H_2SO_4 [65].

1.1.3.4.3 Микроволны

Исследования показали ускорение процесса стабилизации активного ила с увеличением доли дезинтегрированного ила (от 0% до 50%). Исследования показали положительное влияние доли дезинтегрированного ила в пропорции 1:1 (50%) на снижение общей массы органических твердых веществ в процессе аэробной стабилизации. При такой пропорции получен выигрыш в потенциальной энергии до 18%, а время стабилизации сократилось примерно на 3 суток при проведении процесса при 22°C и примерно на 10 сут при 12°C [67].

1.1.3.4.4 Комбинированный метод с биокатализатором

Комбинированный метод включает в себя процессы компостирования в микроаэробных условиях с биокатализатором – консорциумом бактерий из компоста зеленых отходов, с целью достижения практически полной детоксикации отходов пищевого производства и увеличения содержания гуминовых веществ за короткое время биodeградации.

Метод применялся для биodeградации отходов производства оливкового масла, для приготовления катализатора использовался жмых [68, 69].

1.1.3.4.5 Метод замораживания и размораживания

Были проведены тесты замораживания для оценки влияния этапа замораживания на характеристики разделения при извлечении воды и кислоты. Было показано, что полный блок, прошедший фракционированное оттаивание, позволяет проводить глубокую очистку за счет эффекта градиента температуры, удаляя, таким образом, растворенное вещество, которое внедряется в лед во время предшествующей стадии замораживания. Результаты показывают, что эффективность процесса замораживания зависит от концентрации исходного раствора и фракционированного оттаивания. Метод можно использовать для очистки сточных вод, содержащих серную кислоту [70].

1.1.3.4.6 Витамин B_{12}

Хорошо известно, что кофермент витамина B_{12} удаляет галогены из органических соединений в биомиметических системах. Скорость дебромирования БДЭ-209 повысилась на 36,4% при применении витамина B_{12} после 56 дней испытаний [71]. Смеси пента-ПБДЭ полностью трансформировались в присутствии B_{12} за несколько минут. Значительно высокая скорость разложения ПБДЭ с помощью B_{12} приводит к образованию более низких ПБДЭ. Гипотеза состоит в том, что более высокие ПБДЭ подвергались восстановительному расщеплению брома до более низких ПБДЭ с помощью B_{12} , а затем продукт разлагался и минерализовался посредством цикла ТХУ [72].

1.2 Материалы и методы

Описание эксперимента. Для исследования интенсификации аэробного разложения, был разработан эксперимент, моделирующий процесс, происходящий в компостной куче. Для этого были отобраны пробы почвы и органических отходов (чайные листья).

Отбор почвы проходил согласно стандарту ГОСТ 17.4.3.01-83. Пробы, отобранные для химического анализа, была упаковывана в стерильный контейнер для хранения анализов из химически нейтрального пластика, и в нем же доставлена в лабораторию. Поскольку целью эксперимента был анализ активности почвенных микроорганизмов, точечная проба из верхнего слоя почвы, который оказался бы в контакте с компостируемыми органическими отходами, была доставлена в лабораторию в течение 5 ч после взятия.

Экспериментальные пробы состояли из 5 г почвы, 5 г органических отходов и 1 г Кока-Колы, которая выполняла роль жидкой фракции отходов, богатых привлекательными для микроорганизмов питательными веществами (сахарами), а также создавала слабокислую среду, поскольку ее рН составляет ок. 4. В пробу номер 1 были добавлены 3 г биопрепарата Байкал ЭМ1, в то время как ко второй пробе добавили 1 г Байкала ЭМ1. Контрольная проба осталась без изменений.

Биопрепарат Байкал ЭМ1 включает в себя молочнокислые, фотосинтезирующие, азотофиксирующие бактерии, а также сахаромикеты и культуральную жидкость.

Через 1 час после добавления биопрепарата, влажную почву хорошо перемешали, высыпали на часовое стекло, предварительно протертое спиртом, освободили от посторонних включений и крупных корней. После 1 г пробы перенесли в колбу со 100 мл стерильной водопроводной воды. Для разведения почвенной суспензии 1 мл почвенной суспензии из колбы (разведение 1:100) последовательно, методом предельного разведения, перенесли в ряд пробирок с 9 мл стерильной водопроводной воды.

Внутри ламинарного бокса, при зажженной спиртовой горелке, по 3 капли раствора перенесли на твердую питательную среду (Plate Count Agar, ОМЧ), равномерно распределили по всей поверхности агара и поместили в термостат для культивирования при температуре 29°C.

1.3 Результаты исследования

1.3.1 Общая обсемененность и культуральные свойства колоний микроорганизмов, выращенных на твердых питательных средах

1.3.1.1 Первый посев

На рисунке 6 представлены фотографии, указывающие рост колоний на твердых питательных средах через 21 ч культивирования, а в таблице 4 – культуральные свойства отдельных проб.

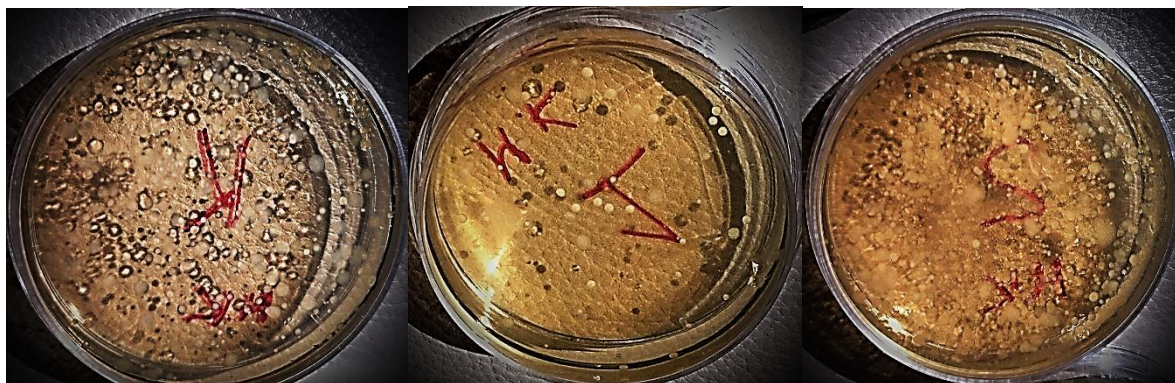


Рисунок 6 – Рост культур первого посева через 21 час. Слева направо: контроль, проба 1 (с 3 г биопрепарата), проба 2 (с 1 г биопрепарата)

Таблица 2 – Описание культуральных свойств проб первого посева после 21 часа

	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
Количество	376 шт.	75 шт.	564 шт.
Профиль	Выпуклый/ плоский	Выпуклый/ плоский	Выпуклый/ плоский
Форма	Круглая	Круглая	Круглая
Температура	29 °С	29 °С	29 °С
Край	Ровный/ расплывчатый	Ровный/ расплывчатый	Ровный/ расплывчатый
Размер	Точечный, 1 мм, 2 мм	Точечный, 1 мм, 2 мм	Точечный, 1 мм, 2 мм
Поверхность	Гладкая	Гладкая	Гладкая
Оптические свойства	Матовые/ прозрачные	Матовые/ прозрачные	Матовые/ прозрачные
Цвет	Белый/ прозрачный	Белый/ прозрачный	Белый/ прозрачный

Во всех пробах наблюдаются два типа колоний – белые, выпуклые, с ровным краем, и плоские, прозрачные колонии с неопределенным краем.

Через 24 часа наибольший уровень роста наблюдался в пробе 2, куда было добавлено умеренно количество биопрепарата. Наименьшее число колоний наблюдалось в пробе 1, куда было добавлено в 2 раза больше биопрепарата. Это объясняется периодом адаптации, во время которого аборигенные организмы почвы и органических отходов конкурируют за ресурсы с привнесенным вместе с биопрепаратом биоразнообразием микроорганизмов.

В контрольной пробе наблюдаются отдельные колонии, которые частично срастаются друг с другом. Также присутствует очаг распространения гифов диаметром 7 мм, что указывает на наличие в пробе спор почвенного гриба, резистентного к кратковременному воздействию малого количества слабой органической кислоты.

В пробе 1 культура растет в виде отдельных колоний, также наблюдается очаг распространения гифов в размере 5 мм. В пробе 2 колонии частично срастаются в один прозрачный мат с неоднородной, пупырчатой поверхностью.

Далее культуры были оставлены в термостат на 62 часа при температуре 28,8 °С, после чего был проведен подсчет культур и повторное описание культуральных свойств. Иллюстрации и подробное описание можно найти на рисунке 7 и в таблице 5.



Рисунок 7 – Рост культур первого посева через 62 часа. Слева направо: контроль, проба 1 (с 3 г биопрепарата), проба 2 (с 1 г биопрепарата)

Таблица 3 – Описание культуральных свойств проб первого посева после 62 часов

	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
Количество	672 шт.	578 шт.	960 шт.
Профиль	Выпуклый/ плоский	Выпуклый/ плоский	Выпуклый/ плоский
Форма	Круглая	Круглая	Круглая
Температура	28,8 °С	28,8 °С	28,8 °С
Край	Ровный/ расплывчатый	Ровный/ расплывчатый	Сросшийся
Размер	0,1-2 мм	До 10 мм	Точечный

	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
Поверхность	Гладкая	Гладкая	Гладкая
Оптические свойства	Матовые/ прозрачные	Матовые/ прозрачные	Матовые/ прозрачные
Цвет	Белый, прозрачный	Белый, прозрачный, желтый	Белый, прозрачный

Гриб внутри контрольной пробы локализован в размере 1,5 см, гифы тонкие, 0,1 мм, белого цвета. В пробе 1 гриб разросся до 4 см, гифы тонкие, 1 мм, наслаиваются друг на друга. Также заметны желтые круглые колонии помимо белых и прозрачных в других пробах. На второй пробе начинает срастаться в сплошной прозрачный мат.

В таблице 6 представлены расчеты обсемененности сред и достоверности данных. В первом опыте наблюдается наиболее низкая обсемененность из всех трех проб. Это позволяет заключить, что большое количество биопрепарата (3 г) оказывало угнетающее воздействие на рост бактерий, при этом позитивно влияло на рост гриба. В сравнении с контролем, в котором также оказался гриб, в опыте 1 большая поверхность оказалась покрыта гифами. Падение значения КОЕ и общего числа выросших колоний говорит о том, что эти два явления связаны.

Таблица 4 – Результаты расчета колониеобразующих единиц на грам пробы, а также достоверности внутри первого посева

Опытная группа	Начало эксперимента		Конец эксперимента	
	Обсемененность		Обсемененность	
	$\bar{X} \pm m_x$, КОЕ/г	C_v , %	$\bar{X} \pm m_x$, КОЕ/г	C_v , %
Опыт 1	$37,5 \pm 4,33 \times 10^2$	16,33	$264 \pm 6,63 \times 10^2$	4,35
Опыт 2	$282 \pm 11,87 \times 10^2$	5,95	$480 \pm 15,49 \times 10^2$	4,56
Контроль	$188 \pm 9,7 \times 10^2$	7,29	$336 \pm 12,96 \times 10^2$	5,46

Взрывоподобный рост наблюдался в опыте 2, где был добавлен 1 г биопрепарата. Вероятно, данное количество послужило оптимальным для содействия росту микроорганизмов. Графики роста колоний микроорганизмов представлены на рисунке 10.

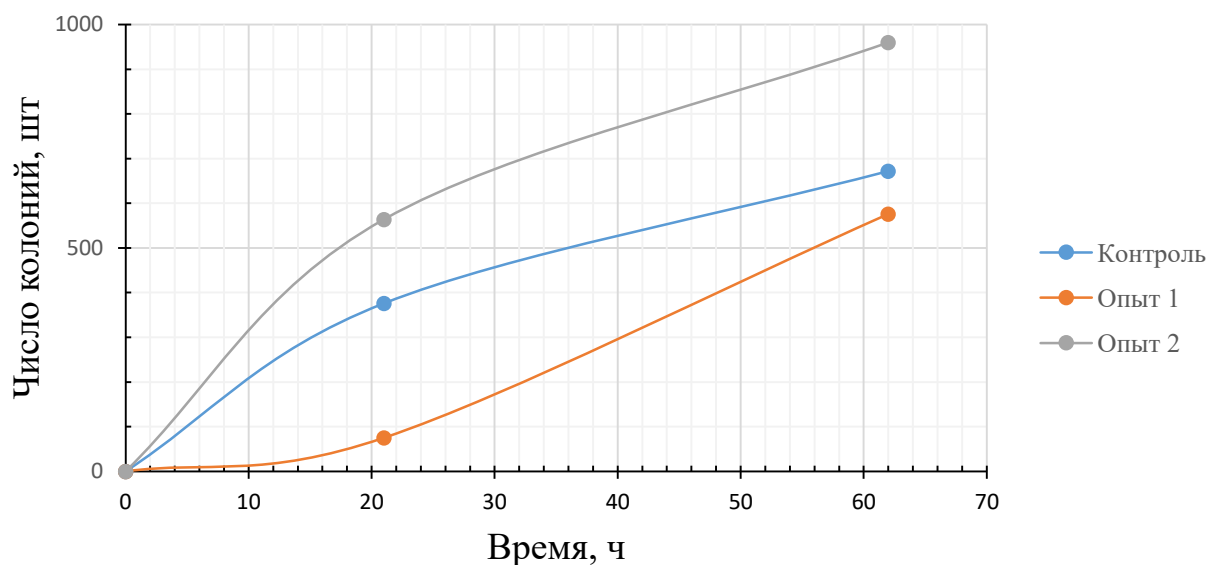


Рисунок 3 – График скорости роста колоний первого посева

На рисунке 11 представлен график удельной скорости роста микроорганизмов, изменяющейся в условиях лимитированного субстрата, рассчитанный по формуле:

$$\mu = \ln \frac{N}{N_0} / t, \quad (7)$$

где N_0 – число колоний на момент начала эксперимента, N – число колоний на момент замера, и t – прошедшее время. В качестве литературных значений был принят процесс удвоения, таким образом, удельная скорость роста рассчитывалась делением $\ln 2$ на период времени.

Из анализа графика следует, что экспериментальные графики повторяют динамику удвоения колоний, приближаясь к концу эксперимента к отметке 0,1.

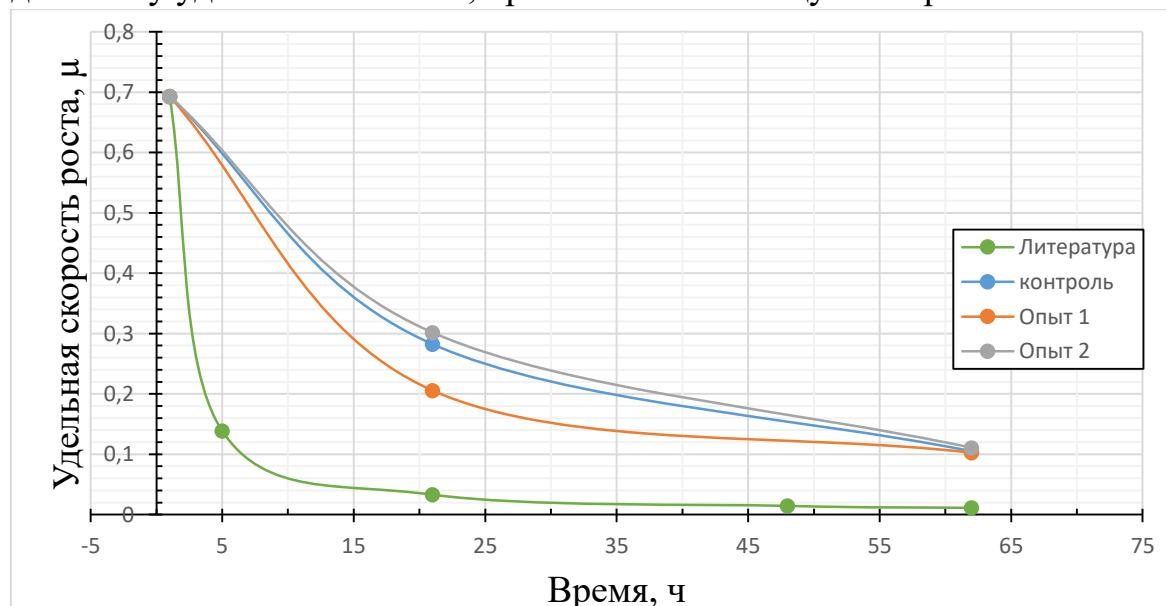


Рисунок 4 – График изменения удельной скорости роста колоний в зависимости от времени. Данные первого посева в сравнении с литературными

1.3.2.2 Второй посев

В течении трех дней после начала эксперимента содержимое проб, представленных почвой, органическими отходами и биопрепаратом, помешивались с периодичностью 5-6 часов. По окончании стадии адаптации был произведен второй посев с целью измерения объема роста. Посев был проведен по принципу, аналогичному технологии первого опыта. Результаты представлены на рисунке 12 и культуральные свойства в таблице 7.



Рисунок 5 – Рост культур второго посева через 21 час. Слева направо: контроль, проба 1 (с 3 г биопрепарата), проба 2 (с 1 г биопрепарата)

Таблица 5 – Описание культуральных свойств проб второго посева через 21 час

	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
Количество	768 шт.	1360 шт.	1996 шт.
Профиль	Выпуклый/ сплюснутые	Выпуклый/ сплюснутые	Выпуклый/ сплюснутые
Форма	круглая	круглая	круглая
Температура	28,6 °C	28,6 °C	28,6 °C
Край	Ровный/ расплывчатый	Ровный/ расплывчатый	Сросшийся
Размер	0,1-2 мм	0,1-2 мм	Точечный
Поверхность	Гладкая	Гладкая	Гладкая
Оптические свойства	Матовые/ прозрачные	Матовые/ прозрачные	Матовые/ прозрачные
Цвет	Белый, прозрачный	Белый, прозрачный	Прозрачный

В культурах второго посева снова выражены два типа колоний – белые, держащие форму, и прозрачные сплюснутые. Не произошла контаминация грибами, возможно, почвенные бактерии одержали победу в конкуренции за ресурсы.

На рисунке 13 заметны выраженные дефекты агара на контрольной пробе. В пробе 2 культура однородная, начинает срастаться в плоский прозрачный мат, но отдельным колониям все же присуще слабое пигментрование. В контроле и первом опыте распределение колоний менее однородное, они также значительно отличаются по размеру и цвету.



Рисунок 6 – Рост культур второго посева через 75 часов. Слева направо: контроль, проба 1 (с 3 г биопрепарата), проба 2 (с 1 г биопрепарата)

После 75 часов наблюдается как качественный, так и количественный рост, который можно наблюдать на основании данных о культуральных свойствах в таблице 8: колонии увеличиваются не только в количестве, но и в размере – отдельные колонии достигают 6 мм.

В опыте 1 колонии растут неоднородно, отличаясь размером, цветом и расположением на агаре. Также наблюдается боковой рост и зоны агара, где концентрация микроорганизмов в сравнении с предыдущим замером значительно упала. Помимо этого, выросло число колоний среднего размера.

Во втором опыте число колоний упало, при этом вырос средний размер каждой колонии. Это можно объяснить консолидацией отдельных колоний в более крупные кластеры, предшествующей стадией отмирания. Появились отдельные, отчетливо белые колонии.

Таблица 6 – Описание культуральных свойств проб второго посева после 75 часов

	Контроль	Проба 1	Проба 2
Количество	1488 шт.	1808 шт.	1936 шт.
Профиль	Выпуклый/ сплюснутые	Выпуклый/ сплюснутые	Выпуклый/ сплюснутые

Продолжение таблицы 8

	Контроль	Проба 1	Проба 2
Форма	круглая	круглая	круглая
Температура	29,3 °С	29,3 °С	29,3 °С
Край	Ровный/ расплывчатый	Ровный/ расплывчатый	Сросшийся
Размер	0,1-4 мм	1-6 мм	1 мм
Поверхность	плоская	плоская	плоская
Оптические свойства	матовые	матовые	матовые
Цвет	Белый, прозрачный	Белый, прозрачный	Белый, прозрачный

В таблице 9 представлены количесства колониеобразующих единиц на грамм культур второго посева. Оно значительно превышает соответствующие показатели первого посева. Это объясняется тем, что к моменту забора проб мезофильная фаза аэробного разложения успела начаться, в связи с чем микробы-деструкторы успели увеличить свою популяцию.

Таблица 7 – Результаты расчета колониеобразующих единиц на грамм пробы, а также достоверности внутри второго посева

Опытная группа	Начало эксперимента		Конец эксперимента	
	Обсемененность		Обсемененность	
	$\bar{X} \pm m_x$, КОЕ/г	C_v , %	$\bar{X} \pm m_x$, КОЕ/г	C_v , %
Опыт 1	$6,8 \pm 1,84 \times 10^4$	38,35	$9,04 \pm 2,13 \times 10^4$	33,26
Опыт 2	$9,98 \pm 2,23 \times 10^4$	31,65	$9,68 \pm 2,2 \times 10^4$	32,11
Контроль	$3,84 \pm 1,38 \times 10^4$	51,03	$7,44 \pm 1,92 \times 10^4$	36,66

По динамике роста культур второго посева можно заключить, что добавление оптимального количества биопрепарата стимулирует ускоренное прохождение фазы экспоненциального роста (log-фаза), заставляя скорее переходить в стационарную фазу (рисунок 14). Об этом свидетельствует отсутствие значительного роста числа колоний в опыте 2 во время второго измерения через 75 часов.

В связи с величиной наблюдаемого периода, удельные скорости роста проб соизмеримы. Тем не менее, отчетливо видно, что в опыте 2 удельная скорость роста несколько выше, чем в опыте 1 и контроле. Из этого можно заключить, что в рамках этого опыта были созданы наиболее благоприятные условия для размножения микроорганизмов.

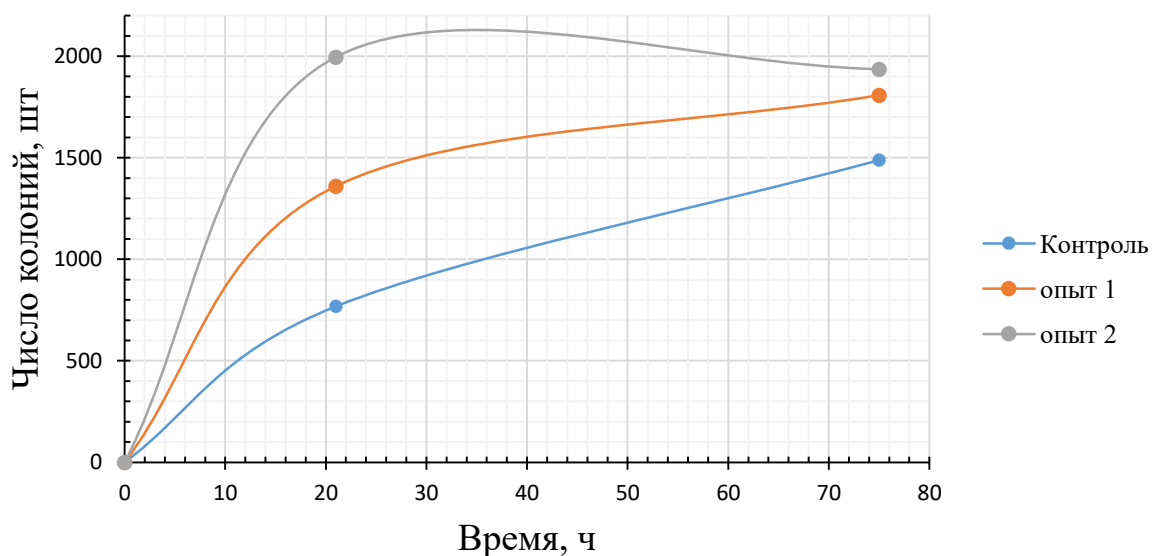


Рисунок 7 – График скорости роста колоний второго посева

Согласно графику 15, удельные скорости роста второго посева схожи, в меньшей степени повторяют динамику удвоения колоний и более симметричны друг с другом. Тем не менее, данные о скорости роста второго опыта существенно превышают как опыт 1, так и контроль.

В то же время можно заметить, что добавление биопрепарата вызывает ускорение роста на начальных этапах. Особенно это заметно на примере второго посева. Сравнить факторы роста двух опытов можно согласно данным таблицы 10.

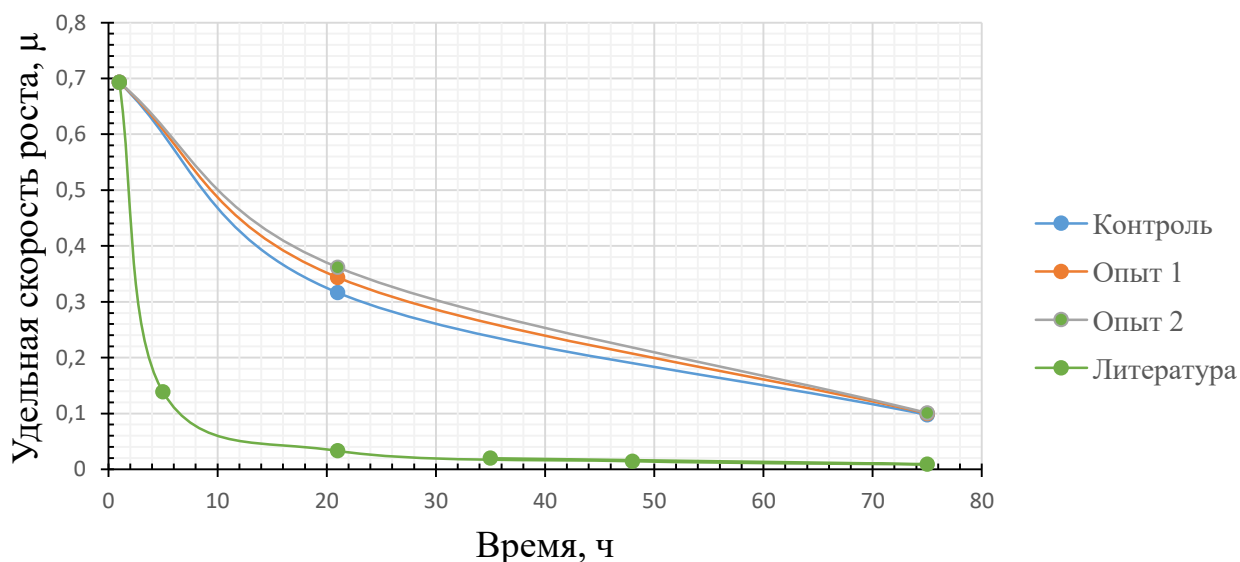


Рисунок 8 – График изменения удельной скорости роста колоний в зависимости от времени. Данные второго посева в сравнении с литературными

Таблица 8 – Факторы роста двух посевов на протяжении эксперимента

Опытная группа	Первый посев		Второй посев	
	Первый период, шт/ч	Второй период, шт/ч	Первый период, шт/ч	Второй период, шт/ч
Опыт 1	3,125	11,92	56,7	8,78
Опыт 2	23,5	10,42	83,17	-1,17
Контроль	15,7	7,79	32	14,12

1.3.2 Схема интенсификации процесса аэробного разложения органических отходов

Аэробное разложение органических веществ – сложный процесс, зависящий от множества факторов. Для его интенсификации необходимо совершать отбор объекта и проводить предобработку таким образом, чтобы его физические параметры соответствовали оптимальным (соотношение углерода к азоту внутри материала, пористость, влага, аэрация). Помимо этого, необходимо следить за параметрами, изменяющимися в ходе биodeградации, такими как pH и температура.

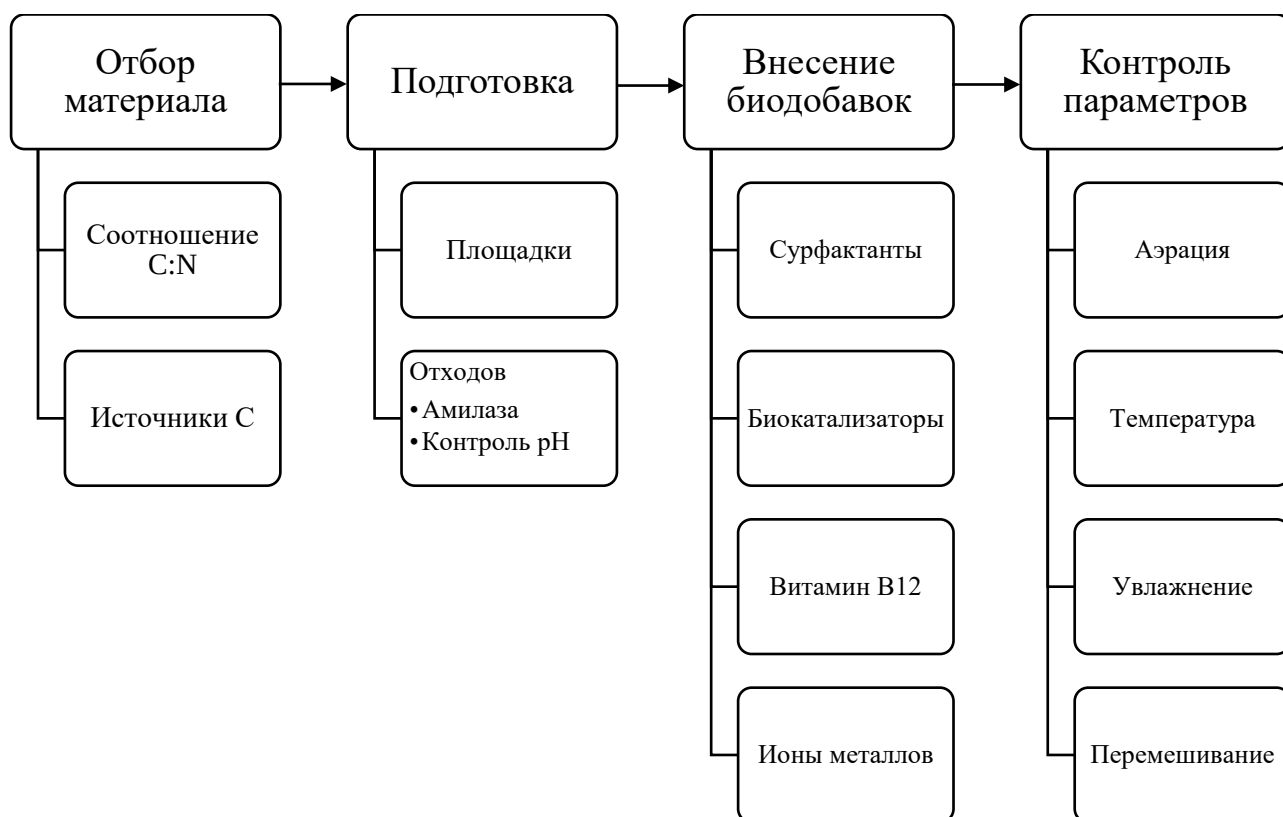


Рисунок 9 – Схема интенсификации процесса аэробного разложения органических отходов

Как показывают экспериментальные данные, добавление биопрепаратов увеличивает количество микробов и ускоряет процесс перехода в log-фазу роста. Сурфактанты увеличивают поверхность соприкосновения, а биокатализаторы (компостный чай, суспензия микроорганизмов, пр.) положительно влияют на разложение органической материи. Витамин В₁₂ участвует в реакциях по удалению из среды галогенированных соединений, а микроэлементы необходимы для функционирования жизненно важных реакций на клеточном уровне.

Удержание температуры на уровне 40-50 градусов вовремя мезофильной фазы позволяет максимизировать влияние температуры на скорость процесса. Добавление достаточного количества влаги (50% и более) в материал предоставляет микроорганизмам медиум для передвижения, а периодическое перемешивание смеси в сочетании с доступом воздуха и расширяет сферу проникновения, увеличивая процент охваченных ими отходов.

Наиболее эффективным методом интенсификации аэробного разложения представляется комбинированная методика, заключающаяся в оптимизации параметров протекания процесса и добавлении соответствующего биокатализатора.

Поскольку полноценный процесс компостирования занимает от 2 месяцев до нескольких лет, его ускорение является экономически обоснованным вложением ресурсов. Интенсивное компостирование позволяет укоротить период скапливания отходов на принадлежащей предприятиям местности, и быстрее трансформировать отходы в полезный компост, который можно использовать в сельском хозяйстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований разработана технология интенсификации и оптимизации аэробной переработки органических отходов. Предложены различные способы интенсификации процессов аэробного разложения, и на основе предыдущих исследований был составлен план экологически оптимизированного процесса утилизации пищевых отходов.

ВЫВОДЫ

1 Изучены микробиологические свойства органических отходов в процессе их компостирования.

2 Изучена кинетика роста колоний микроорганизмов, выращенных на твердых питательных средах.

3 Разработана схема интенсификации процесса аэробного разложения органических отходов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мамин Р.Г. Инновационные механизмы управления отходами: монография / М-во образования и науки Росс. Федерации, «Моск. гос. строит. ун-т». – Москва: МГСУ, 2013. – 136 с.
- 2 European Commission. Accompanying the communication from the commission on future steps in bio-waste management in the European Union // Commission staff working document. – 2010 – 120 p. [URL: <https://op.europa.eu/s/wfpz>, date of access: 24.05.2022]
- 3 Li Y., Chen Z., Peng Y., Zheng K., Ye C., Wan K., Zhang S. Changes in aerobic fermentation and microbial community structure in food waste derived from different dietary regimes // Bioresource Technology. – 2020. – Vol. 317. – ID: 123948.
- 4 Demirbas A. Biohydrogen Generation from Organic Waste // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2008. – Vol. 30. – №5. – 475–482 pp.
- 5 Timerbaev N., Safin R., Mazarov I., Stepanova T. Thermochemical processing of organic waste // OP Conf. Series: Materials Science and Engineering – 2019. – Vol. 643.
- 6 Mandal K.G, Misra A.K, Hati K. M, Bandyopadhyay K.K, Ghosh P.K, Mohanty M. Rice residue– management options and effects on soil properties and crop productivity // Food, Agriculture & Environment. – 2004. – Vo. 2 – 224–231 pp.
- 7 Gadde B, Menke C. Wassmann R. Rice straw as a renewable energy source in India, Thailand, and the Philippines: Overall potential and limitations for energy contribution and greenhouse gas mitigation // Biomass and Bioenergy. – 2009. – Vol. 33 – 1532–46 pp.
- 8 Wijekoon P., Koliyabandara P. A., Cooray A. T., Lam S. S., Athapattu B., Vithanage M. Progress and prospects in mitigation of landfill leachate pollution: Risk, pollution potential, treatment and challenges // Journal of hazardous materials. – 2022. – Vol. 421. – ID: 126627.
- 9 Челноков А.А. Обращение с отходами: учебное пособие – Минск: Вышэйшая школа, 2018. – 460 с.
- 10 He P.J., Qu X., Shao L.M., Lee D.J. Landfill leachate treatment in assisted landfill bioreactor // Journal of environmental sciences (China). – 2006. – Vol. 18 – 176–179 pp.
- 11 Ножевникова А.Н., Каллистова А.Ю., Литти Ю.В., Кевбрина М.В. Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов: коллективная монография – М: Университетская книга, 2016. – 326 с., ил.
- 12 Кузнецов А.Е. Прикладная экобиотехнология: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности "Биотехнология": в 2 т. – 2-е изд. – Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2012 – 485 с.
- 13 Пахненко Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 311 с.

- 14 Abbasi T, Tauseef S.M., Abbasi S.A Biogas Energy. – Springer New York, 2012. – 169 p.
- 15 Wellinger A., Murphy J., Baxter D. The Biogas Handbook: Science, Production and Applications. – Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2013. – 504 p.
- 16 Nahun K.M., Sarker B., Keya K.N., Mahir I.F., Shahida S., Khan R.A. Review on the Methods of Industrial Waste Water Treatment – Academic Research Publishing Group, 2021 – 20–31 pp.
- 17 ООО НПФ "Экотон" Решение проблемы утилизации осадков сточных вод очистных сооружений города Липецка / Электронная версия на сайте: <https://ru.ekoton.com/reshenie-problemy-utilizaczii-osadkov-stochnyh-vod-ochistnyh-sooruzhenij-goroda-lipeczka/>. [дата обращения: 08.02.2022]
- 18 Moretti S.M.L., Bertoncini I.B., Abreu-Junior C.H. Composting sewage sludge with green waste from tree pruning // *Scientia Agricola*. –2015. – Vol. 72. – 432–439 pp.
- 19 Al-Dahmani J.H., Abbasi P.A., Miller S.A., Hoitink H.A.J. Suppression of bacterial spot of tomato with foliar sprays of compost extracts under greenhouse and field conditions // *Plant Disease*. – 2003. – Vol. 87. – 913–919 pp.
- 20 Martin C.C.S. Potential of compost tea for suppressing plant diseases // *CAB Reviews*. – 2014. – Vol. 9. – 1–38 pp.
- 21 Миронов В.В., Ножевникова А.Н. Биотехнологические методы трансформации органического вещества отходов животноводства // *Техника и технологии в животноводстве*. – 2016. – Т. 21. – №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biotehnologicheskie-metody-transformatsii-organicheskogo-veschestva-othodov-zhivotnovodstva> (дата обращения: 08.02.2022).
- 22 Maliki A.D., Lai K.M., Design and application of a pre-composting test step to determine the effect of high fat food wastes on an industrial scale in-vessel composting system // *Int. Biodeter. Biodegr.* – 2011. – Vol. 65. – 906–911 pp.
- 23 Li X., Huang J., Liu Y., Huang T., Maurer C., Kranert M. Effects of salt on anaerobic digestion of food waste with different component characteristics and fermentation concentrations // *Energies*. – 2009. – Vol. 12. – ID: 3571.
- 24 Medeiros P.M., Fernandes M.F., Dick R.P., Simoneit B.R. Seasonal variations in sugar contents and microbial community in a ryegrass soil // *Chemosphere*. – 2006. – Vol. 65. – 832–839 pp.
- 25 Zhang D., Luo W., Li Y., Wang G., Li G. Performance of co-composting sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste at different proportions // *Bioresour. Technol.* – 2017. – Vol. 250. – 853–859 pp.
- 26 Ahn H.K., Richard T.L., Glanville T.D. Optimum moisture levels for biodegradation of mortality composting envelope materials // *Waste Manag.* – 2008. – Vol. 28. – 1411–1416 pp.
- 27 Wu C., Shimaoka T., Nakayama H., Komiya T., Chai X. Stimulation of waste decomposition in an old landfill by air injection // *Bioresour. Technol.* – 2016. – Vol. 222. – 66–74 pp.

- 28 Ghinea C., Leahu A. Monitoring of fruit and vegetable waste composting process: relationship between microorganisms and physico-chemical parameters // *Processes*. – 2020. – Vol. 8. – ID: 302.
- 29 Chang J.I., Hsu T.E. Effects of compositions on food waste composting // *Bioresour. Technol.* – 2008. – Vol. 99. – 8068–8074 pp.
- 30 Liu L., Wang S., Guo X., Zhao T., Zhang B. Succession and diversity of microorganisms and their association with physicochemical properties during green waste thermophilic composting // *Waste Manag.* – 2017. – Vol. 73. – 101–112 pp.
- 31 Yoshida T. *Applied Bioengineering: Innovations and Future Directions*. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2017. – 623 p.
- 32 Li K., Chen Y., Xu W., Zhan L., Ling D., Ke H., Hu J., Li J. A thermo-hydro-mechanical-biochemical coupled model for landfilled municipal solid waste // *Comput. Geotech.* – 2021. – Vol. 134. – ID: 104090.
- 33 Haug R.T. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. – Routledge, 1993. – 752 p.
- 34 Rosso L., Lobry J.R., Flandrois J.P. An unexpected correlation between cardinal temperatures of microbial growth highlighted by a new model // *J. Theor. Biol.* – 1993. – Vol. 162. – 447–463 pp.
- 35 Xiao D., Chen Y., Xu W., Zhan L. An Aerobic Degradation Model for Landfilled Municipal Solid Waste // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11. – №16. – ID: 7557.
- 36 Tremier A., de Guardia A., Massiani C., Paul E., Martel J.L. A respirometric method for characterising the organic composition and biodegradation kinetics and the temperature influence on the biodegradation kinetics, for a mixture of sludge and bulking agent to be co-composted // *Bioresour. Technol.* – 2005. – Vol. 96. – 169–180 pp.
- 37 Wang X., Lu X. Li F. Yang G. Yang G. Effects of Temperature and Carbon-Nitrogen (C/N) Ratio on the Performance of Anaerobic Co-Digestion of Dairy Manure, Chicken Manure and Rice Straw: Focusing on Ammonia Inhibition // *PLoS ONE*. – 2014. – Vol. 9. – ID: e97265.
- 38 Wang J., Liu Z., Xia J., Chen Y. Effect of microbial inoculation on physicochemical properties and bacterial community structure of citrus peel composting // *Bioresour. Technol.* – 2014. – Vol. 291. – ID: 121843.
- 39 Zhang W., Yu C., Wang X., Hai L. Increased abundance of nitrogen transforming bacteria by higher C/N ratio reduces the total losses of N and C in chicken manure and corn stover mix composting // *Bioresour. Technol.* – 2019. – Vol. 297. – ID: 122410.
- 40 Msarah M.J., Ibrahim I., Hamid A.A., Aqma W.S. Optimisation and production of alpha amylase from thermophilic *Bacillus* spp. and its application in food waste biodegradation // *Heliyon*. – 2020. – Vol. 6. – ID: e04183.
- 41 An B., Park M.K., Oh J.H. Food waste treatment using *Bacillus* species isolated from food wastes and production of air-dried *Bacillus* cell starters // *Environ. Eng. Res.* – 2018. – Vol. 23. – 258–264 pp.

- 42 Ke G.R., Lai C.M., Liu Y.Y., Yang S.S. Inoculation of food waste with the thermotolerant lipolytic actinomycete *Thermoactinomyces vulgaris* A31 and maturity evaluation of the compost // *Bioresour. Technol.* – 2010. – Vol. 101. – 7424–7431 pp.
- 43 Kitamura R., Ishii K., Maeda I., Kozaki T., Iwabuchi K., Saito T. Evaluation of bacterial communities by bacteriome analysis targeting 16S rRNA genes and quantitative analysis of ammonia monooxygenase gene in different types of compost // *J. Biosci. Bioeng.* – 2015. – Vol. 121. – 57–65 pp.
- 44 Lv Y., Zhang Z., Chen Y., Hu Y. A novel three-stage hybrid nano bimetallic reduction/oxidation/biodegradation treatment for remediation of 2,2',4,4'-tetra-bromodiphenyl ether // *Chem. Eng. J.* – 2016. – Vol. 289. – 382–390 pp.
- 45 Awasthi S.K., Wong J.W.C., Li J., Wang Q., Zhang Z., Kumar S., Awasthi M.K. Evaluation of microbial dynamics during post-consumption food waste composting // *Bioresour. Technol.* – 2018. – Vol. 251. – 181–188 pp.
- 46 Noorman H. J. van Winden W., Heijnen J.J., van der Lans R. G. J. M. Intensification of Biobased Processes / Edited by Gyarak A., Stankiewicz A. – Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2018. – 1–38 pp.
- 47 Barthod J., Rumpel C., Dignac M.F. Composting with additives to improve organic amendments. A review. // *Agron. Sustainable Dev.* – 2018. – Vol. 38– 23–38 pp.
- 48 Pronk M., de Kreuk M.K., de Bruin B., Kamminga P., Kleerebezem R., van Loosdrecht M.C. Full scale performance of the aerobic granular sludge process for sewage treatment // *Water Res.* – 2015. – Vol. 84. – 207–217 pp.
- 49 Powell J.B. Application of multiphase reaction engineering and process intensification to the challenges of sustainable future energy and chemicals // *Chem. Eng. Sci.* – 2017. – Vol. 157. – 15–25 pp.
- 50 Xu S., Gavin J., Jiang R. Chen H. Bioreactor productivity and media cost comparison for different intensified cell culture processes // *Biotechnol. Prog.* – 2017. – Vol. 33. – 867–878 pp.
- 51 Yu X.Z., Gu J.D.. Effect of available nitrogen on phytoavailability and bioaccumulation of hexavalent and trivalent chromium in hankow willows (*Salix matsudana* Koidz) // *Ecotoxicol Environ Saf.* – 2008. – Vol. 70. – 216–222 pp.
- 52 Manu M.K., Kumar R., Garg A. Performance assessment of improved composting system for food waste with varying aeration and use of microbial inoculum // *Bioresour. Technol.* – 2017. – Vol. 234. – 167–177 pp.
- 53 Waqas M., Nizami A.S., Aburizaiza A.S., Barakat M.A., Ismail I.M.I., Rashid M.I. Optimization of food waste compost with the use of biochar // *Journal of Environmental Management.* – 2017. – Vol. 216. – 70–81 pp.
- 54 Lehmann J., Gaunt J., Rondon M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems—a review // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.* – 2006. – Vol. 11. – 395–419 pp.
- 55 Gomes H.I., Mayes W.M., Rogerson M., Stewart D.I., Burke I.T. Alkaline residues and the environment: a review of impacts, management practices and opportunities // *Journal Cleaner Production.* – 2016. – Vol. 112. – 3571–3582 pp.

- 56 Wang Q., Li R., Cai H., Awasthi M.K., Zhang Z., Wang J.J., Ali A., Amanullah M. Improving pig manure composting efficiency employing Ca–bentonite. // *Ecol Eng.* – 2016. – Vol. 87. – 157–161 pp.
- 57 Barthod J., Rumpel C., Paradelo R., Dignac M.–F. The effects of worms, clay and biochar on CO₂ emissions during production and soil application of co–composts // *Soil.* – 2016. – Vol. 2. – 673–683 pp.
- 58 Zorpas A.A., Loizidou M. Sawdust and natural zeolite as a bulking agent for improving quality of a composting product from anaerobically stabilized sewage sludge. // *Bioresource Technology.* – 2008. – Vol. 99. – №16. – 7545–7552 pp.
- 59 Gabhane J., William S.P., Bidyadhar R., Bhilawe P., Anand D., Vaidya A.N., Wate S.R. Additives aided composting of green waste: effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost // *Bioresource Technology* – 2012. – Vol. 114. – 382–388 pp.
- 60 Zhang D., Luo W., Yuan J., Li G., Luo Y. Effects of woody peat and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during pig manure composting // *Waste Management.* – 2017. – Vol. 68. – 56–63 pp.
- 61 Liu N., Zhou J., Han L., Ma S., Sun X., Huang G. Role and multi–scale characterization of bamboo biochar during poultry manure aerobic composting // *Bioresource Technology.* – 2017. – Vol 241. – 190–199 pp.
- 62 Yang F., Li G.X., Yang Q.Y., Luo W.H. Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting // *Chemosphere.* – 2013. – Vol. 93. 1393–1399 pp.
- 63 Iqbal M.K., Nadeem A., Sherazi F., Khan R.A. Optimization of process parameters for kitchen waste composting by response surface methodology. // *Int. J. Environ. Sci. Technol.* – 2015. – Vol. 12. – 1759–1768 pp.
- 64 Chowdhury S., Bolan N.S., Seshadri B., Kunhikrishnan A., Wijesekara H., Xu Y., Rumpel C. (2016) Co–composting solid biowastes with alkaline materials to enhance carbon stabilization and revegetation potential // *Environ. Sci. Poll. Res.* – 2016. – Vol. 23. – 7099–7110 pp.
- 65 Chen Y.X., Huang X.D., Han Z.Y., Huang X., Hu B., Shi D.Z., Wu W.X. (2010) Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting // *Chemosphere.* 2010. – Vol. 78. – 1177–1181 pp.
- 66 Hayawin Z.N. Study on the effect of adding zeolite and other bio–adsorbance in enhancing the quality of the palm based vermicompost // *App. Mechan. Mat.* – 2014. – Vol. 472. – 926–934 pp.
- 67 Malarski M., Czajkowska J., Nowak P. Microwave disintegration of sludge as a method of accelerating the aerobic stabilization process // *Desalination and Water Treatment.* – 2021 – Vol. 211 – 153–164 pp.
- 68 Roulia M., Kontezaki E., Kalogeropoulos N., Chassapis K. One Step Bioremediation of Olive–Oil–Mill Waste by Organoinorganic Catalyst for Humics–Rich Soil Conditioner Production // *Agronomy.* – 2021. – Vol. 11. – №6. – ID: 1114.
- 69 Jurado M. M., Camelo–Castillo A. J., Suárez–Estrella F., López M. J., López–González J. A., Estrella–González M. J., Moreno J. Integral approach using bacterial

microbiome to stabilize municipal solid waste // Journal of Environmental Management. – 2020. – Vol. 265. – ID: 110528.

70 Guessous M., Rich A., Mountadar S., Karmil F.Z., El Hajri J., Mountadar M., Siniti M. Experimental study of wastewater treatment containing sulfuric acid solutions using freezing and thawing method // Desalination and Water Treatment. – 2021. – Vol. 211. – 141–152 pp.

71 Huang H.–W., Chang B.–V., Lee C.–C. Reductive debromination of decabromodiphenyl ether by anaerobic microbes from river sediment // Int. Biodeterior. Biodegrad. – 2014. – Vol. 87. – 60–65 pp.

72 Makarichi L., Techato K.A., Jutidamrongphan W. Material flow analysis as a support tool for multi-criteria analysis in solid waste management decision-making // Resour. Conserv. Recycl. – 2018. – Vol. 139. – 351–365 pp.

РЕЦЕНЗИЯ

НА ДИПЛОМНУЮ РАБОТУ

КОЛЧЕНКО МАРИИ ВЛАДИМИРОВНЫ

Специальность 5В070100 – Биотехнология

На тему: Разработка технологии интенсификации и оптимизации аэробной переработки органических отходов

Выполнено:

- а) графическая часть на 8 листах
- б) пояснительная записка на 30 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Вопрос нахождения способов интенсивной и эффективной переработки отходов набирает актуальность с ростом потребления. В первой главе работы (обзор литературы) показано, почему именно аэробное разложение является наиболее экономически выгодным методом переработки органических отходов, детально рассмотрена кинетика процесса и определены аспекты, манипуляцией которых возможно ускорить его протекание. Во второй главе (экспериментальная часть) приведено описание проведенного опыта на определение оптимального количества биопрепарата для интенсификации компостирования. В заключении, по результату двух глав, были представлены оптимальные условия компостирования и объем, и характер необходимых добавок. Данное исследование, с использованием местного биопрепарата, позволяет потенциально применить данную технологию на практике.

К положительным сторонам можно отнести подробную проработку литературы по предмету и представление полноценной модели процесса.

Замечаний существенных нет.

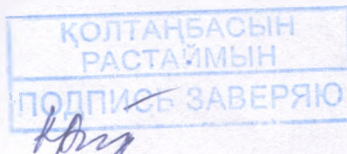
Оценка работы

Рекомендую к защите на положительную оценку «Отлично».

К.Б.Н.,
профессор кафедры биотехнологии КазНУ им. Аль-Фараби

Атамбаева Ш.А.

«30» мая 2022 г.



ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

НА ДИПЛОМНУЮ РАБОТУ

КОЛЧЕНКО МАРИИ ВЛАДИРОВНЫ

Специальность 5В070100 – Биотехнология

Тема: Разработка технологии интенсификации и оптимизации аэробной переработки органических отходов

Дипломная работа оформлена согласно требованиям СТ КазННТУ – 09 – 2017.

Обзор литературы охватывает информацию из 73 источников и позволяет составить объемную картину о текущем состоянии исследований по аэробной переработке органических отходов – компостированию.

В экспериментальной части дипломной работы Колченко М. изучала влияние различных концентраций биопрепарата на процесс компостирования. В процессе лабораторных микробиологических исследований Колченко М. изучила общую обсемененность компостируемого субстрата, а также культуральные свойства колоний микроорганизмов, выращенных на плотной питательной среде. Анализ результатов кинетическими методами совместно с литературными данными позволил определить оптимальные условия и добавки для интенсификации процесса компостирования.

Дипломная работа рекомендуется к защите с оценкой «отлично-98 %». Колченко М. заслуживает присвоения академической степени «бакалавр техники и технологий»

Научный руководитель

к.с.-х.н., доцент, ассоц. профессор

_____ Джамалова Г.А.

«30» _____ 2022 г.



Метаданные

Название

2022_БАК_Колченко М.docx

Автор

Колченко М

Научный руководитель

Гуля Джамалова

Подразделение

ИГИНГД

Список возможных попыток манипуляций с текстом

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще всего характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		1
Интервалы		0
Микропробелы		31
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		0

Объем найденных подоби

Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП2

5917

Количество слов



КЦ

45976

Количество символов

Подобия по списку источников

Просмотрите список и проанализируйте, в особенности, те фрагменты, которые превышают КП №2 (выделенные жирным шрифтом). Используйте ссылку «Обозначить фрагмент» и обратите внимание на то, являются ли выделенные фрагменты повторяющимися короткими фразами, разбросанными в документе (совпадающие сходства), многочисленными короткими фразами расположенные рядом друг с другом (парафразирование) или обширными фрагментами без указания источника ("криптоцитаты").

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	
1	http://cbio.ru/page/51/id/3976/	14	0.24 %

из базы данных RefBooks (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из домашней базы данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из программы обмена базами данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (0.24 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	
1	http://cbio.ru/page/51/id/3976/	14 (1)	0.24 %

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---