

4. Applied Mathematics for Malting and Brewing Technologists. Prof. Dr. sc. Techn. Gerolf Annemuller, Dr. sc. Techn / Hans-J. Manger. Translated by Christopher Bergholdt. Published by VLB Berlin, 2018. – 359 p.

5. Способ обработки пивоваренного ячменя в сухом виде: пат. 22032, Республика Беларусь, МПК C12C 1/02 О.В. Бондарчук, В.А. Пашинский, Н.Ф. Бондарь; заявитель: Учреждение образования «Белорусский аграрный технический университет». – № а 20160040; заявл. 10.02.2016; опубл. 30.10.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці / – 2017. – № 5. – 21 с.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПСТИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

IMPROVEMENT OF THE FOOD WASTE COMPOSTING TECHNOLOGY IN THE ENVIRONMENTAL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM

О. А. Сагдеева, Г. В. Крусир
O. Sagdeeva, G. Krusir

*Одесская национальная академия пищевых технологий,
г. Одесса, Украина
sagolanis@ukr.net*

*Odessa National Academy of Food Technologies,
Odessa, Ukraine*

Работа посвящена решению научно-практической задачи повышения уровня экологической безопасности бытовых свалок путем внедрения усовершенствованной технологии компстирования пищевой составляющей твердых муниципальных отходов. Обоснованно внесение в компстную смесь минеральных или микробиологических добавок, повышающее микробную активность на начальных стадиях процесса. Доказано, что процесс созревания компоста при внесении минеральной добавки ускоряется в 2,2 раза при термофильных условиях и в 1,4 раза - при мезофильных, а при внесении микробиологической добавки – в 3,3 и в 2,1 раза соответственно. Реализация усовершенствованной технологии компстирования пищевой составляющей твердых муниципальных отходов позволит уменьшить объемы складироваемых отходов, выбросы парниковых газов, повысить уровень экологической безопасности и получить органоминеральное удобрение высокого качества.

The work is devoted to solving the scientific and practical problem of increasing the environmental safety level of household landfills by introducing an improved composting technology for the food component of municipal solid waste. It is justified to introduce mineral or microbiological additives into the compost mixture, which increases the microbial activity at the initial stages of the process. It is proved that the process of compost maturation with the addition of mineral additive is accelerated by 2.2 times under thermophilic conditions and by 1.4 times under mesophilic conditions and when a microbiological additive is introduced by 3.3 and 2.1 times, respectively. The implementation of improved technology for composting the food component of municipal solid waste will reduce the stored waste's amount, greenhouse gas emissions, improve environmental safety and obtain high-quality organomineral fertilizer.

Ключевые слова: экологическая безопасность, технология, компстирование, минеральная и микробиологическая добавки, мезофильные, термофильные условия, пищевая составляющая отходов.

Keywords: environmental safety, technology, composting, mineral and microbiological additives, mesophilic, thermophilic conditions, food component of waste.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-420-423>

Управление отходами остается одной из приоритетных сфер общественно-правовой деятельности и экологической безопасности развитых стран в двух основных контекстах: охрана окружающей среды и сохранение ресурсного потенциала. Особую экологическую опасность представляет накопление твердых муниципальных отходов (далее – ТМО) на полигонах и свалках из-за специфичности ТМО среди других видов отходов: генетически свойственной им химической неоднородности, локализованного расположения и длительного негативного воздействия на окружающую среду. Отсутствие механизмов сортировки и вторичной переработки в современных условиях подтверждает актуальность проблемы обращения с ТМО в местах их фактического складирования и определения экологических аспектов свалок с целью их контроля и нормирования.

На городских свалках ежегодно накапливаются сотни тысяч тонн муниципальных отходов. Местонахождение, обустройство и условия эксплуатации большинства мест удаления отходов не соответствуют нормативным требованиям, что повышает экологическую опасность этих объектов. В Украине насчитывается около 2000 подобных объектов, которые были в свое время организованы без соответствующих проектов и инженерно-геологических изысканий. Оснащенные без современных инженерно-экологических требований, свалки ТМО являются мощными источниками загрязнения атмосферы, гидросферы и почв.

Таким образом, возникает необходимость совершенствования существующих и разработки новых технологических решений по повышению уровня экологической безопасности свалок ТМО, которые функционируют в современных условиях. Поскольку до 40% ТМО относится к органическим, легко разлагающимся отходам, извлечение этой части отходов со свалок за счет компостирования и преобразования во вторичный материальный ресурс позволит существенно уменьшить экологическую нагрузку фактически размещенных и потенциально запланированных свалок на окружающую среду.

Аэробное компостирование является одной из лучших наиболее доступных технологий для интегрированной системы управления отходами за счет минимизации антропогенного воздействия на окружающую среду, соответствия новейшим отечественным и зарубежным разработкам, экономической и практической приемлемости технологии. Однако, компостирование характеризуется относительно невысокой популярностью по сравнению с другими методами утилизации отходов из-за ряда его недостатков, таких как длинный производственный цикл и иногда получение продукта нестабильного качества. В научных трудах современных исследователей процесса компостирования как рационального способа управления отходами много внимания уделено вопросам технологии компостирования, механизации приготовления субстрата, оптимизации управляемых параметров протекания процесса, оформлению буртов, составу субстрата и соотношению основных питательных веществ в нем [1]. Так, ускорение процесса компостирования может быть достигнуто различными путями, такими как разработка высокоэффективных аппаратов компостирования и изменение биотических или абиотических параметров течения процесса.

Целью работы является повышение уровня экологической безопасности свалок ТМО путем внедрения усовершенствованной технологии компостирования пищевой составляющей ТМО.

Объектом исследования в работе является процесс экологически безопасного обращения с ТМО в условиях функционирующих свалок и полигонов. Предметом исследования является повышение уровня экологической безопасности свалок путем усовершенствования технологии компостирования пищевой составляющей ТМО. Методы экспериментальных исследований включали математическое моделирование, статистически вероятностные методы, стандартизированные химические, биохимические, физико-химические и микробиологические методы.

Аналитическим обзором концептуальных вопросов по управлению экологической безопасностью свалок ТМО [2-4] установлено, что сегодня отсутствует концепция построения системы управления экологической безопасностью свалок, основанная на учете основных входящих, исходящих и рисков экологических аспектов. Поэтому оценку и прогнозирование уровней опасности свалок ТМО стоит реализовывать с применением комплексных методов, что позволит классифицировать места складирования ТМО с учетом комплексности их влияния на компоненты окружающей среды. Для обоснования технологии обращения с отходами осуществлена оценка экологической опасности свалок, которая реализована в работе через определение объемов метанообразования. Для оценки выбросов метана от свалок ТМО используется метод второго уровня детализации – метод затухания первого порядка, который предлагает индивидуальный расчет для каждой категории органических отходов, сгруппированных в зависимости от скорости разложения и содержания органического углерода.

Расчет выбросов метана со свалки ТБО-1 «Дальницькие карьеры» (Одесская область) из массы отходов с пищевой составляющей и без нее доказывает, что изъятие пищевых отходов позволит существенно сократить объемы метана – от 20 до 40%. На рис. 1 показано, что без внедрения технико-технологических мероприятий по складированию отходов на свалке и без управления потоками отходов объемы метана возрастут в два раза в течение следующего десятилетия. При внедрении современных технологий в сфере обращения с отходами уменьшение и последующее исчезновение массы отходов позволит втрое сократить объемы метана и других парниковых газов, а при изъятии пищевой компоненты из массы отходов – в 6-7 раз.

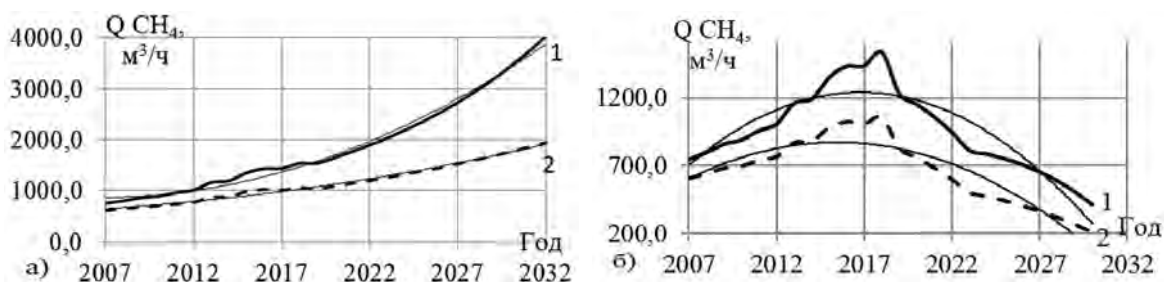


Рисунок 1 – Динамика выброса метана со свалки ТМО с пищевой составляющей (1) и без нее (2) при сохранении тенденции эксплуатации свалки (а) и при внедрении компостирования пищевой составляющей отходов (б)

Проведенное исследование на основе прогнозных оценок влияния свалок ТМО на компоненты окружающей среды устанавливает формирование высокого уровня фактической и потенциальной экологической опасности

и позволяет обосновать способы его снижения на основе комплекса технико-технологических решений по управлению экологической безопасностью.

Для получения высокоэффективного способа компостирования органической части ТМО, в частности, пищевой составляющей, неконтролируемое сбраживание которой имеет высокий потенциал метанообразования, были апробированы возможности ускорения процесса компостирования органических отходов за счет внесения микробиологических и минеральных добавок. В работе проведено комплексное исследование процессов компостирования пищевой составляющей ТМО, основанное на микробиологических методах, которое позволило обосновать целесообразность и эффективность совершенствования технологии компостирования пищевой составляющей ТМО с добавлением микробиологических и минеральных добавок.

В целом, завершенность процесса компостирования характеризуется двумя понятиями – «стабильность» и «зрелость» компоста, которые, несмотря на свои концептуальные различия, одновременно используются для определения степени разложения органических веществ в процессе компостирования. В работе исследовались параметры, позволяющие оценить как интенсивность разложения органических веществ (температура, содержание растворимого органического углерода и аммонийного азота), так и его стабильность (респираторная и целлюлолитическая активность, численность бактерий и микромицетов) и зрелость (рН, фитотоксичность).

Результаты исследований изменения рН компостируемой с минеральной и микробиологической добавками смеси представлены на рис. 2. Из полученных данных исследования можно сделать вывод, что значение рН, которые наблюдаются в мезофильных режимах при внесении минеральной и микробиологической добавки, являются оптимальными для выращивания растений и соответствуют требованиям, предъявляемым к зрелому компосту. Стабилизация и даже некоторое снижение уровня рН, которое отмечено на последней неделе, скорее всего, является результатом образования гумусообразных веществ, о чем косвенно свидетельствует стабилизация содержания органического вещества и растворимого органического углерода в этот период.

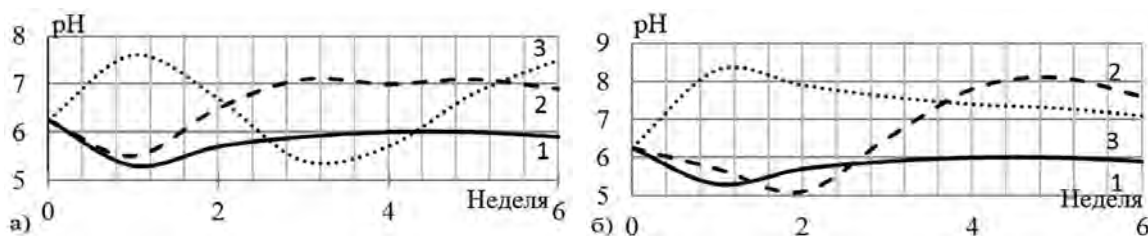


Рисунок 2 – Динамика изменения рН компостной смеси с минеральной (а) и микробиологической (б) добавками в мезофильном (2) и термофильном режимах (3) по сравнению с контрольным образцом (1)

Широко распространенным параметром для оценки стабильности компостов служит респирация, которая оценивается по выделению CO_2 , изменение которого представлено на рис. 3.

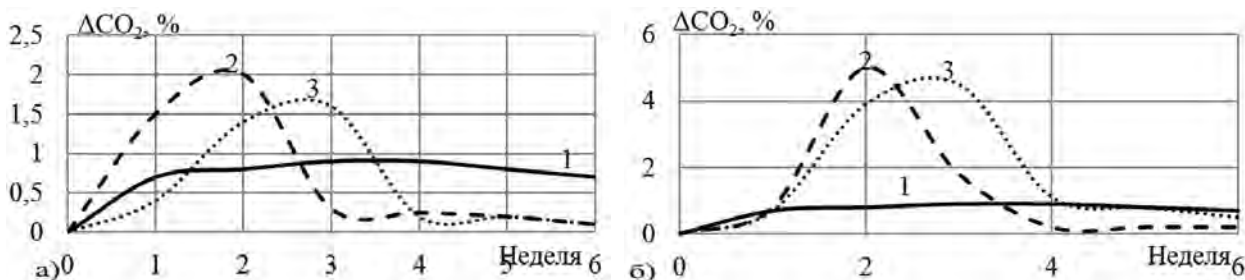


Рисунок 3 – Изменение эмиссии CO_2 в течение процесса компостирования с минеральной (а) и микробиологической (б) добавками в мезофильном (2) и термофильном режимах (3) по сравнению с контрольным образцом (1)

Представленные на рисунке зависимости изменения концентрации CO_2 , выделяемого в реакторе, от длительности процесса биодеструкции показательно демонстрируют изменения активности колоний микроорганизмов при компостировании. Активность микроорганизмов значительно выше в мезофильных условиях при внесении как минеральной, так и микробиологической добавки, однако, во втором случае процент выделения CO_2 на второй неделе в 2,5 раза превышает уровень респираторной активности при внесении минеральной добавки, что можно объяснить возросшей численностью колоний микроорганизмов в компостах.

Проанализированная в результате исследования динамика показателей зрелости компостов отражает степень стабильности и созревания компостных смесей в конце компостирования. Так, зрелость компоста оценивается массовым соотношением в нем общего углерода и общего азота (C/N). Согласно международным стандартам показатель C/N качественного компоста не должен быть выше значения 25. Полученные опытным путем зависимости изменения показателей C/N от продолжительности компостирования с минеральной и микробиологической добавками доказывают высокую степень созревания компоста в обоих режимах, о чем

свидетельствуют значения показателя C/N на уровне и меньше 22, тогда как в контрольном образце этот показатель достигает значения 29,6.

На рис. 4 представлена динамика изменения индекса проращивания – показателя уровня фитотоксичности компоста. Известно, что индекс проращивания зрелого компоста составляет более 80%. После 6 недель компостирования компосты с внесением минеральных и микробиологических добавок в мезофильных режимах характеризуются индексом проращивания более 100%, что свидетельствует о том, что они не только свободны от фитотоксинов, но и обладают стимулирующим действием на проращивание.

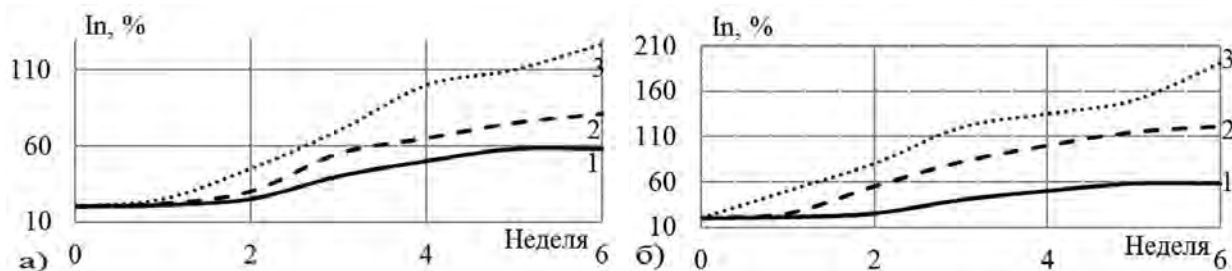


Рисунок 4 – Динамика изменения индекса проращивания при компостировании с минеральной (а) и микробиологической (б) добавками в мезофильном (2) и термофильном режимах (3) по сравнению с контрольным образцом (1)

Наибольшие значения индекса проращивания наблюдаются в термофильном режиме при внесении микробиологической добавки, что определяет большую степень зрелости компоста в условиях компостирования именно с ней. Процесс созревания компоста при внесении минеральной добавки ускоряется в 2,2 раза при термофильных условиях и в 1,4 раза – при мезофильных, а процесс созревания компоста при внесении микробиологической добавки ускоряется в 3,3 раза при термофильных условиях и в 2,1 раза – при мезофильных.

В современных условиях первоочередной задачей для Украины в сфере обращения с отходами является рекультивация свалок ТМО в аспекте соблюдения природоохранного законодательства и повышения уровня экологической безопасности. Прогнозная оценка сокращения выбросов метана со свалки при изъятии пищевой составляющей из компонентного состава отходов позволяет обосновать внедрение биотехнологических мероприятий по обращению с пищевыми отходами, что позволит уменьшить выбросы парниковых газов на 20-40%.

При определении зрелости и стабильности компоста, полученного при компостировании пищевой составляющей ТМО, целесообразно использовать ряд абиотических и биотических общих показателей (рН, выделение CO_2 , содержание общего углерода и азота), а также специфические показатели зрелости – соотношение C/N и фитотоксичность. Температурный режим является одним из решающих факторов процесса компостирования, поскольку определяет микробиологический состав компостируемой смеси. Экспериментальные данные исследования позволяют сделать вывод, что созревание компоста в термофильных условиях завершается быстрее, чем в мезофильных, однако в промышленных условиях соблюдение термофильного режима созревания компостной смеси требует значительных энергетических затрат, что противоречит требованиям рационального природопользования.

Компостирование пищевой составляющей ТМО является ярким примером биотехнологий – комплекса совершенных инструментов в системе управления экологической безопасностью и утилизации отходов, поскольку использование минеральных и микробиологических добавок не оказывает техногенного воздействия на окружающую среду, позволяет получить органо-минеральное удобрение высокого качества как конечный продукт переработки, снизить годовые объемы эмиссии метана и повысить уровень экологической безопасности свалки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шацький, В. В., Поволоцький, А. А. Основні вимоги до процесу та біотехнічної системи компостування органічної сировини // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2015. – Т. 157. – С. 140–146.
2. Jackobsen, H. Case studies on waste minimization practices in Europe / H. Jackobsen, M. Kristoferrsen // Topic report – European Topic Centre on Waste, European Environment Agency, February 2002. – P.35–42.
3. Сафранов, Т. А., Приходько, В. Ю., Шаніна, Т. П. Проблема розміщення відходів на звалищах та полігонах Одеської області. // Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна, вип. 14. – 2016. – С.83–90.
4. Орлова, Т. А. Геоэкологическое изучение старых свалок твердых бытовых отходов / Т. А. Орлова // Мат. 1 Международ. конф. «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – Харьков, 2004. – С. 86–88.