

УДК 504.064.4

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ ПО ВЕЛИЧИНЕ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

В. Ю. Приходько, Т. А. Сафранов, Т. П. Шанина

Одесский государственный экологический университет,  
ул. Львовская, 15, Одесса, 65016, Украина, vks26@ua.fm

Сравнение различных вариантов обращения с твердыми бытовыми отходами (ТБО) по величине эмиссии парниковых газов является необходимым условием для разработки системы обращения с ТБО. Цель: сравнение различных методов обращения с твердыми бытовыми отходами (захоронение, компостирование, комплексная утилизация) по величине эмиссии парниковых газов, которые при этом образуются. При рассмотрении данных вариантов обращения с ТБО показано, что утилизация компонентов, которые содержат биодоступный углерод, методом анаэробной ферментации является наиболее оптимальным вариантом. Эмиссия парниковых газов в атмосферу практически исключается, так как при этом образуется биогаз, который может быть собран и утилизирован. За многолетний период, даже в случае двухэтапной комплексной утилизации, суммарная эмиссия парниковых газов будет ниже, чем при других методах обращения с органической частью ТБО. Также показано, что эмиссия парниковых газов при захоронении ТБО носит пролонгированный характер, а при компостировании их выделение происходит в значительно меньшие сроки, что необходимо учитывать при анализе перспектив решения проблемы ТБО.

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, обращение с отходами, парниковые газы, биогаз, эмиссия.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно Закону Украины «Об отходах» (1998), «обращение с отходами» – это действия, направленные на предотвращение образования отходов, их сбор, перевозку, хранение, обработку, утилизацию, удаление, обезвреживание и захоронение, включая контроль за этими операциями и наблюдение за местами удаления. Утилизация отходов – использование отходов в качестве вторичных материальных или энергетических ресурсов. Все операции с отходами, которые не приводят к утилизации, называются удалением. Наиболее распространенным вариантом удаления является захоронение отходов – окончательное размещение отходов при их удалении в специально отведенных местах или объектах с тем, чтобы длительное негативное воздействие отходов на окружающую среду и здоровье человека не превышало установленных нормативов [1]. Для твердых бытовых отходов (ТБО) основным методом обращения является захоронение (94%, по данным за 2015 г.). Остальные 6% ТБО были утилизированы: в основном, направлены на мусоропереработку, сожже-

ны и лишь незначительная часть направлена на компостирование [2]. Обращение с отходами рассматривается как источник эмиссии парниковых газов (ПГ) при составлении Национального Кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ в Украине (за разные годы), например, Кадастр за 2016 г. [3]. Основные процессы, для которых проводится инвентаризация выбросов ПГ [3]: удаление отходов, биологическая обработка отходов, инсинерация и открытое сжигание отходов, очистка и сброс сточных вод. Все эти процессы объединены в сектор «Отходы».

Характеристикой ТБО, которая определяет выбор методов обращения с ними, является морфологический состав. По мере увеличения «ассортимента» потребляемых товаров усложняется морфологический состав ТБО, в составе которых выделяется около 70 компонентов, которые условно можно объединить в группы (бумага и картон, полимерные отходы, биоорганические отходы, электронные отходы и т. д.). Морфологический состав ТБО характеризуется значительной вариабельностью, но основными

компонентами являются: биоорганические отходы (30%), бумага и картон (17%), полимеры (11%) [2]. Биоорганические отходы составляют треть от общего потока ТБО. К тому же, именно эти отходы являются источником биодоступного углерода, который при анаэробной деструкции в теле полигона ТБО переходит в ПГ ( $CH_4$ ,  $CO_2$  и др.). ПГ также выделяются и при компостировании биоорганической составляющей ТБО. Однако не только биоорганическая часть ТБО является источником образования ПГ. Например, при сжигании общей массы ТБО или отдельных компонентов образуются продукты термической деструкции, часть из которых также является ПГ (табл. 1).

**Таблица 1** – Образование парниковых газов при различных методах обращения с твердыми бытовыми отходами

Метод обращения	ПГ	Оценка выбросов по Кадастру (2016 г.) [3]	
		масса, тыс. т $CO_2$ -экв.	динамика 1990-2016 гг., %
Захоронение	<i><math>CH_4</math>, <math>CO_2</math>, <math>N_2O</math>, НЛОС</i>	8231,30	25,96 ↑
Сжигание	<i><math>CO_2</math>, <math>N_2O</math>, <math>CH_4</math>, <math>C_mH_n</math></i>	11,32	68,7 ↓
Компостирование*	<i><math>CO_2</math>, <math>N_2O</math>, <math>CH_4</math>, <math>H_2O</math>, <math>C_mH_n</math></i>	34,68	0,9 ↑

*Примечание:* жирным курсивом выделены ПГ, которые определяются расчетными методами; \* учитываются выбросы при компостировании не только части ТБО, но и различных отходов сельского хозяйства, древесины.

Таким образом, можно заключить, что основными процессами, которые приводят к образованию ПГ при обращении с ТБО, являются: анаэробная биодеструкция органических веществ и термическая деструкция углеродсодержащих веществ. Захоронение отходов является основным источником ПГ по причине распространенности этого метода обращения с ТБО в Украине. В секторе «Отходы» на захоронение приходится 66,57% выбросов ПГ (32,6% выбросов ПГ в секторе формируется за счет очистки сточных вод). В этой связи, сравнительная оценка различных методов обращения с ТБО по величине эмиссии ПГ, является *актуальной задачей*.

Целью данной работы является сравнение

различных методов обращения с ТБО (захоронения, компостирования и комплексной утилизации) по величине эмиссии ПГ, которые при этом образуются.

Объектом исследования является воздействие на окружающую природную среду при проведении основных методов обращения с ТБО. Предмет исследования – сравнительная оценка различных методов обращения с ТБО по величине эмиссии ПГ в атмосфере.

## 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сравнения захоронения и компостирования ТБО по величине эмиссии ПГ необходимо провести соответствующие расчеты. За основу приняты методики расчета, которые используются при составлении Национального Кадастра [3] и представлены в базовом нормативном документе – «Руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК» [4]. В качестве объекта исследования нами выбраны различные модели обращения с ТБО в условиях Одесской области.

### 2.1 Оценка эмиссии ПГ при захоронении ТБО

Оценка эмиссии  $CH_4$  из мест захоронения ТБО при составлении Национального Кадастра проводится по Национальной многокомпонентной модели на основе метода затухания первого порядка третьего уровня детализации (далее – Национальная модель). Образование  $CH_4$  при захоронении ТБО, вывезенных за текущий и предыдущие годы, рассчитывается как

$$Q(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A \cdot k_j \cdot MWS_i \cdot MWS_{i,j} \cdot L_{0i,j} \cdot e^{-k_j \cdot (t-x)}, \quad (1)$$

где  $A$  – нормализующий множитель, который определяется по формуле (2)

$$A = (1 - e^{-k_j}) / k_j, \quad (2)$$

где  $k_j$  – постоянная темпов образования  $CH_4$  для  $j$ -го компонента ТБО, год<sup>-1</sup> (табл. 2);  $MWS_i$  – общая масса ТБО, захороненных в год  $i$ , т/год;  $MWS_{j,i}$  – содержание  $j$ -го компонента в ТБО в  $i$ -м году, %;  $t$  – расчётный год (если необходимо провести расчёты за один год, то  $t=1$ ), год;  $x$  – период, за который вносятся данные, год;  $L_{0j,i}$  – потенциал образования  $CH_4$  в год  $i$ , т  $CH_4$ /т ТБО

Таблица 2 – Характеристика биоразлагаемых компонентов твёрдых бытовых отходов [3-6]

Компонент	$DOC_j$ , тС/тТБО	$k_j$ , год <sup>-1</sup>		$MWS_j$ , %	
		национальный уровень	региональный уровень	национальный уровень	региональный уровень
Бумага и картон	0,40	0,048	0,024	14,6	15,0
Текстиль	0,24	0,048	0,024	4,0	3,0
Пищевые отходы	0,15	0,110	0,120	33,1	35,0
Древесина	0,43	0,024	0,012	1,7	2,0
Садово-парковые отходы	0,2	0,07	0,06	3,8	10,0
Средства личной гигиены	0,24	0,048	0,120	1,1	–
Кожа, резина	0,39	0,048	0,012	1,7	2,0

*Примечание:* данные регионального уровня приведены на примере Одесской области.

$$L_{0i,j} = DOC_j \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12 \cdot MCF_i, \quad (3)$$

где  $DOC_j$  – общее количество органического углерода, способного биологически разлагаться, в  $j$ -ой фракции, тС/тТБО;  $DOC_F$  – часть углерода, которая принимает участие в реакциях распада ( $DOC_F = 0,5$ );  $F$  – содержание метана в биогазе ( $F = 0,5$ );  $16/12$  – коэффициент пересчёта углерода в метан;  $MCF_i$  – фактор коррекции образования метана, зависящий от условий захоронения ТБО.

Морфологический состав депонируемых ТБО является основным фактором, определяющим образование  $CH_4$  в теле полигона. К компонентам, которые содержат биодоступный углерод, относят: бумага и картон, пищевые и садово-парковые отходы, древесина, текстиль, а также кожа, резина и средства личной гигиены. Все они различаются по содержанию биодоступного углерода ( $DOC_j$ ), скорости разложения и продукции  $CH_4$  ( $k_j$ ) и содержанию в общей массе ТБО ( $MWS_j$ ) (табл. 2). Например, пищевые отходы с наименьшим содержанием биоразлагаемого углерода, разлагаются быстрее всего. А такой компонент, как древесина, будет разлагаться медленнее, но, в конечном счете, продуцирует больше метана, чем пищевые отходы.

## 2.2 Оценка эмиссии ПГ при компостировании ТБО

Компостирование относится к методам биологической обработки отходов, при котором биодоступный углерод из отходов преобразуется

в продукты аэробной деструкции, прежде всего  $CO_2$ . Однако  $CO_2$ , который образуется при обращении с ТБО, имеет биологическое происхождение, поэтому не учитывается в Кадастре. При компостировании оцениваются выбросы других ПГ –  $CH_4$  и  $N_2O$ . Выбросы данных веществ могут быть оценены с помощью метода по умолчанию на основании следующих уравнений:

$$Q_{CH_4} = M \cdot EF_{CH_4} \cdot 10^{-3} - R, \quad (4)$$

$$Q_{N_2O} = M \cdot EF_{N_2O} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где  $M$  – масса отходов, которые подаются на биологическую обработку, т;  $EF_{CH_4}$  та  $EF_{N_2O}$  – коэффициенты выбросов метана и закиси азота соответственно, г/кг отходов,  $R$  – масса рекуперированного  $CH_4$ , т. Значения коэффициентов выбросов берутся по умолчанию для влажного вещества отходов:  $EF_{CH_4} = 4$  г/кг отходов;  $EF_{N_2O} = 0,3$  г/кг отходов [3, 4].

## 2.3 Оценка эмиссии ПГ при комплексной утилизации органической составляющей ТБО

Для потока легко разлагающейся органической фракции ТБО, которая отделяется из общего потока в момент образования, нами разработан способ комплексной утилизации, при котором её подвергают последовательной обработке: анаэробной ферментации с получением биогаза и твердого продукта (первый этап), затем полученный твердый продукт подвергают аэробному компостированию (второй этап) [7]. Технологическая схема реализации данного способа утили-

зации органических отходов и материальный баланс процесса представлены на рис. 1.

На первом этапе легкоразлагающиеся органические отходы подвергаются анаэробной ферментации с получением двух ликвидных продуктов: твердого продукта ферментации (органоминерального удобрения) и биогаза.

При наличии потребителей на все количество полученного органоминерального удобрения второй этап переработки можно не проводить. При отсутствии спроса на твердые продукты ферментации, они подлежат второму этапу переработки – аэробному компостированию. В результате этого уменьшается масса твердых продуктов ферментации, которые подаются на переработку, выходит один ликвидный целевой продукт – компост.

Дополнительным источником органического сырья могут быть легкоразлагающиеся промышленные отходы (например, от предприятий пищевой промышленности), сельскохозяйственные отходы и осадки общегородских очистных сооружений.

Что касается образования и эмиссии в атмосферу ПГ при реализации данной схемы комплексной утилизации легко разлагающихся органических отходов, то на первом этапе образуется биогаз (смесь таких ПГ, как  $CH_4$  и  $CO_2$ ), который используется в качестве энергоносителя, а это значит, что поступления ПГ в атмосферу не происходит (если не учитывать дальней-

шее поступление  $CO_2$  при сжигании биогаза). Что касается второго этапа комплексной утилизации – аэробного компостирования – то при этом выделяются пары  $H_2O$  и  $CO_2$ , которые относятся к ПГ, однако не учитываются в Кадастре на основании рекомендаций [4].

### 3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Количественные оценки эмиссии ПГ при различных вариантах обращения с ТБО выполнены на примере Одесской области, на долю которой приходится около 9% от общего количества ТБО Украины. Проблема неэффективного обращения с ТБО является актуальной для Одесской области, где почти весь объем образовавшихся ТБО удаляется в специально отведенные места. Общее количество полигонов и свалок в 2016 г. составило 608 площадью 1274,9 га [5]. Для сравнения, в 2012 г. их насчитывалось 563 общей площадью 978,1 га. Объекты захоронения ТБО составляют примерно 0,03% территории области, характеризуются положительной динамикой в изменении их площади и количества [8]. Согласно Национальному докладу о состоянии окружающей природной среды в Украине за 2013 г., на территории Одесской области необходимо создать ещё 52 новых полигона ТБО общей площадью 119,38 га. Программа обращения с ТБО в Одесской области на 2013-2017 гг. ограничилась 40 новыми полигонами.

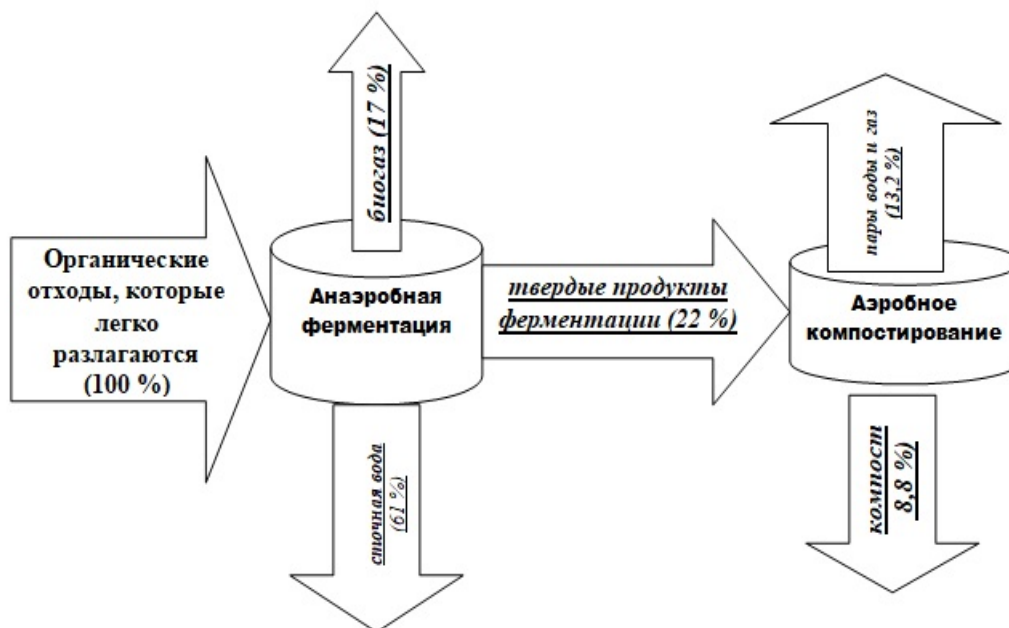


Рис. 1 – Схема комплексной утилизации легкоразлагающихся органических отходов

Наибольший полигон ТБО области, обслуживающий Одесскую агломерацию – Дальницкие карьеры – входит в семерку наиболее опасных полигонов ТБО Украины. Программой обращения с ТБО в Одесской области на 2013-2017 гг. предусматривалось: строительство новых полигонов (порядка 40); раздельный сбор; внедрение мусоросортировочных комплексов; строительство заводов по переработке ТБО (г. Измаил, г. Котовск). Но из-за отсутствия финансирования программа не была реализована. В настоящее время разрабатывается новый проект Программы обращения с ТБО в Одесской области на 2018-2022 гг. Согласно Отчету [5], в 2016 г. в Одесской области образовалось 922 тыс. т ТБО, из них 544,6 тыс. т были захоронены на Дальницких карьерах.

Анализ рассматриваемых расчетных методов оценки образования метана и других ПГ при захоронении, компостировании и комплексной утилизации органических отходов позволяет выделить существенное различие, которое влияет на результат расчета. Эмиссия  $CH_4$  из мест захоронения ТБО происходит в течение длительного периода времени (до 50 лет, хотя расчетные модели рассчитаны на период 80 лет), что учитывается в расчетной формуле (1), тогда как эмиссия ПГ при других методах обращения с органическими отходами не учитывает период продуцирования, который не превышает 6 месяцев.

Действие мест захоронения носит пролонгированный характер, по сравнению с которым выделение ПГ при компостировании или комплексной утилизации происходит за короткий промежуток времени и рассчитывается без учета фактора времени.

Сравним выделение ПГ при захоронении и компостировании 1 тыс. т пищевых отходов. Расчеты проводились по формулам (1) - (5). При расчете эмиссии  $CH_4$  из мест захоронения учитывались условия Одесской области (табл. 3).

**Таблица 3** – Величина эмиссии парниковых газов при захоронении и компостировании 1 тыс. тонн пищевых отходов

Захоронение	Компостирование
3,16 т $CH_4$	4 $CH_4$ 0,3 $N_2O$
66,36 т $CO_2$ -экв.	173 т $CO_2$ -экв.

Как видно из приведённых данных, спустя один год компостирование приводит к большему

выделению ПГ, чем захоронение пищевых отходов на свалках и полигонах. Однако при учете суммарной эмиссии  $CH_4$  из мест захоронения отходов за период продуцирования (25-50 лет), которая примерно в 10-20 раз выше, чем за первый год, ситуация будет обратной: захоронение приведет к большему поступлению ПГ в атмосферу, чем компостирование.

Проведем сравнительную оценку образования ПГ при различных методах обращения с ТБО на примере Одесской области.

Расчеты образования  $CH_4$  выполнены по Национальной модели с использованием уточнённых данных по морфологическому составу ТБО Одесской области [5] и других параметров, уточнение которых относительно региональных условий выполнено в работах [6, 9]. Оценка образования  $CH_4$  и других продуктов деструкции отходов выполнена для массы ТБО, образующихся за один год, и не учитывает захоронение отходов за предыдущие годы.

Первый вариант обращения с ТБО состоит в размещении всей массы отходов на свалках и полигонах. Как видим, в следующем 2017 г., из этой массы в атмосферный воздух выделилось 1,66 тыс. т  $CH_4$ .

Второй вариант заключается в компостировании части ТБО, а остальная часть размещается на свалках и полигонах области. По данным [3] определили, что в Украине компостированию подвергаются около 0,03% от общего количества образующихся ТБО. Предположим, что это садово-парковые отходы. В результате компостирования незначительного количества садово-парковых отходов выделилось 1,11 т метана и 0,08 т закиси азота. Оставшаяся масса ТБО при захоронении продуцирует 1,60 тыс. т  $CH_4$ .

Как видим, снижение выбросов  $CH_4$  при реализации второго варианта обращения с ТБО в Одесской области незначительно. Необходимо повысить количество исходного «сырья» для компостирования, а также его качество. Количество компонентов ТБО, которые содержат биодоступный углерод, колеблется от 52,9 до 67% (для Одесской области). Это означает, что любые методы утилизации органической составляющей ТБО, будь то компостирование, анаэробное сбраживание или комплексная утилизация, приведут к значительному снижению техногенной нагрузки, которая создается захоронением ТБО на свалках и полигонах. Но для эффективного использования ресурсного потенциала биоорганических отходов в составе ТБО необходимо их выделить из общего потока ТБО

с помощью отдельного сбора или не допустить смешения с общим потоком ТБО путем дифференциации. Это позволит повысить качество компоста и тем самым обеспечить рынки сбыта.

Рассмотрим реализацию принципа дифференциации потока ТБО согласно Концепции обращения с ТБО, которая разработана в ОГЭКУ. Согласно этой Концепции, общий поток отходов в момент их образования распределяется на следующие потоки: 1) органические вещества, легко разлагающиеся; 2) потенциальные вторичные материальные ресурсы (ВМР), в т. ч. инертные минеральные крупногабаритные отходы; 3) опасные отходы [10].

Таким образом, на начальном этапе жизненного цикла ТБО необходимо обеспечить отделение потока легко разлагающихся органических отходов в момент образования.

Преимуществом Концепции является то, что отделением легкоразлагающейся органической фракции из общего потока ТБО в момент ее образования, повышается ресурсная ценность как потока ВМР, так и продуктов биохимической переработки легкоразлагаемых органических отходов.

Рассмотрим третий вариант обращения с ТБО в Одесской области, при котором реализуется принцип дифференциации потока ТБО с отделе-

нием легко разлагающихся органических компонентов из общего потока в момент их образования: 100 % пищевых, садово-парковых отходов и древесины, а также некондиционная макулатура (15%). С учетом содержания таких компонентов в общей массе ТБО, для условий Одесской области получим 454085 т. Выделенная таким образом масса отходов подвергается компостированию или комплексной утилизации по схеме на рис. 1. Предположим, что оставшая часть компонентов, которые содержат биодоступный кислород (табл. 1), утилизируется, за исключением средств личной гигиены, кожи и резины, которые отправляются на захоронение. Материальные балансы данных вариантов обращения с органическими отходами, которые легко разлагаются, представлены на рис. 2.

Обобщим полученные результаты в табл. 4. Отметим, что, если не проводить второй этап комплексной утилизации органических отходов (см. рис. 1), то получим нулевую эмиссию ПГ (не учитывая технологические потери биогаза  $\approx 5\%$ ). Поэтому применение анаэробной ферментации является наиболее предпочтительным. Второй этап комплексной утилизации – аэробное компостирование – проводят для уменьшения объема твердых продуктов при отсутствии рынков сбыта.

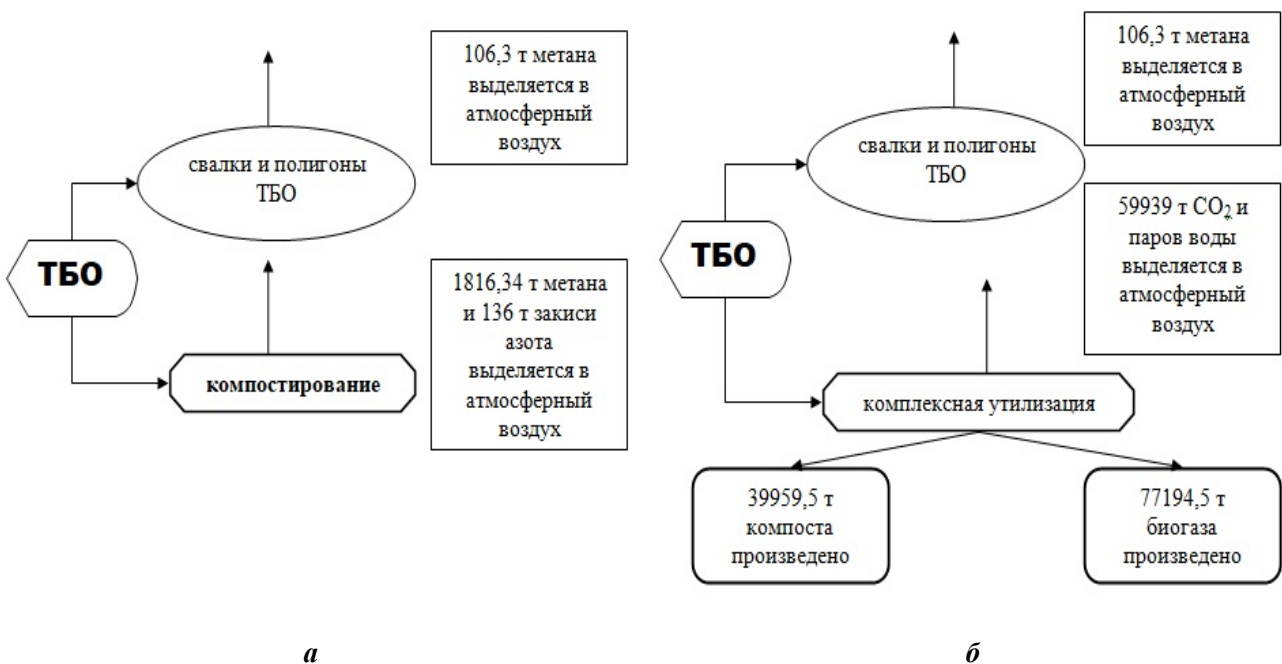


Рис. 2 – Материальные балансы разных способов обращения с легкоразлагающимися компонентами твёрдых бытовых Одесской области (а – с частичным компостированием садово-парковых отходов, б – с внедрением комплексной утилизации)

**Таблица 4** – Оценка эмиссии парниковых газов (в тCO<sub>2</sub>-экв) различных методов обращения с твёрдыми бытовыми отходами (для Одесской области)

Без дифференциации потока		С дифференциацией потока	
захоронение	захоронение + элементы компостирования	компостирование + захоронение	комплексная утилизация + захоронение
через 1 год			
34837	33546	82037	48813*
через 5 лет			
146682	146669	87914	48813*

*Примечание:* \* при условии испарения всей образующейся при аэробном компостировании влаги.

Как видим из табл. 3, наименьшая эмиссия ПГ в тCO<sub>2</sub>-экв. происходит при компостировании незначительной части садово-парковых отходов и захоронении оставшихся отходов. Учитывая пролонгированное действие мест захоронения отходов как источника ПГ, по величине суммарной эмиссии ПГ за пятилетний период, наименьшим значением характеризуется комплексная утилизация. За этот же период времени захоронение ТБО, даже с элементами компостирования, приведет к продуцированию ПГ в три раза большему, чем при комплексной утилизации.

Компостирование основной массы компонентов ТБО, содержащих биодоступный углерод, за исключением средств личной гигиены и кожи, резины, которые захораниваются, через один год приведет к эмиссии ПГ, которая почти в 2,5 раза больше, чем при захоронении всей массы отходов. Это можно объяснить более быстрой деструкцией отходов при их компостировании. Однако спустя пять лет ситуация меняется: суммарная эмиссия ПГ при захоронении в 1,5 раза выше, чем при компостировании с захоронением некоторой части ТБО.

#### 4. ВЫВОДЫ

Утилизация компонентов ТБО, которые содержат биодоступный углерод, методом анаэробной ферментации практически исключает эмиссию ПГ в атмосферу, так как при этом образуется биогаз, который может быть собран и утилизирован. За многолетний период, даже в случае двухэтапной комплексной утилизации, суммарная эмиссия ПГ при этом будет ниже, чем при других методах обращения с органической частью ТБО. Отметим, что эмиссия ПГ при захоронении носит пролонгированный характер, а при компостировании выделение ПГ происходит в значительно меньшие сроки, что необходимо учитывать при анализе перспектив решения

проблемы ТБО.

При сравнении вариантов обращения с ТБО на основе расчетных методов, которые используются при составлении Национального Кадастра, учитываются только те ПГ, для которых предложены расчетные методы. Например, при компостировании отходов выделяется углекислый газ, который в секторе «Отходы» не учитывается (соответственно, нет методики расчета).

Непроработанным является вопрос о поступлении, при различных методах обращения с ТБО, паров воды, обладающих парниковым эффектом. Спорным является факт отнесения резины к компонентам, которые содержат биодоступный углерод. *Всё это определяет перспективы дальнейших исследований в данном направлении.*

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про відходи : Закон від 5.03.1998 № 187/98-ВР. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 26.04.2018)
2. Проект Національної стратегії поводження з відходами. Додаток 1. Муніципальні відходи / Мінприроди України. URL: <https://menr.gov.ua/content/tehnichna-redakciya-proektu-nacionalnoi-strategii-povodzhennya-z-vidhodami-dlya-podalshogo-gromadskogo-obgovorennya.html> (дата звернення 26.04.2018)
3. *Ukraine's Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2016*. (2017). Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Kyiv. URL: [https://menr.gov.ua/files/docs/Zmina\\_klimaty/kadastr2016/ukr-2018-nir-23may18.zip](https://menr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/kadastr2016/ukr-2018-nir-23may18.zip). (accessed 12.10.2018)
4. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. Т. 5. Отходы. URL: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/vol5.html> (дата обращения 26.04.2018)
5. Звіт з аналізу існуючого стану системи поводження з ТПВ в Одеській області за 2013-2017 рр. / ТОВ ЕСКО «Екологічні системи». 2017. 37 с.
6. Сафранов Т. А., Приходько В. Ю., Шанина Т. П. Оценка эмиссии парниковых газов из мест захоронения ТБО: критический анализ методик и адаптация к условиям Одесской области. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. № 21. С. 5-14.
7. Спосіб комплексної утилізації твердих побутових відходів: пат. 58436 Україна: МПК(2011.01) B09B3/00 № u 2010 11798 заявл. 5.10.2010; опубл.11.04.2011,

- Бюл. №7. 8 с.
8. Сафранов Т. А., Приходько В. Ю., Шанина Т. П. Проблема розміщення відходів на звалищах та полігонах Одеської області. *Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна*. 2016. Вип. 14. С. 83-90.
  9. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П. Определение эмиссии парниковых газов из мест захоронения твердых бытовых отходов. *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2018. Том XXIX. №1. С. 32-47. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-1-32-47.
  10. Сафранов Т. А., Губанова Е. Р., Шанина Т. П., Приходько В. Ю. Оптимизация системы управления и обращения с муниципальными отходами в контексте устойчивого развития урбанизированных территорий. *Устойчивое развитие*. 2014. № 16 (март). С. 11-18.
  4. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 5. Waste. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html> (accessed 17 January 2017).
  5. Sposib kompleksnoi utylizatsii tverdykh pobutovykh vidkhodiv. [The way of complex recovery of municipal solid waste]. Patent Ukr. no. 58436]. (in Ukr).
  6. Zvit z analizu isnuiuchoho stanu systemy povodzhennia z TPV v Odeskii oblasti za 2013-2017 rr. [Report on the analysis of the existing state of the waste management system in the Odessa region, 2013-2017 years]. TOV ESKO "Ekologichni systemy". (In Ukr.).
  7. Safranov, T.A., Prykhodko, V.Ju., Shanina, T. P. (2016). [The waste development of the rubbish dumps and polygons in Odessa oblast]. *Visnyk Kharkivskogo natsionalnoho universytetu im. V.N. Karazina [Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv national university]*, 14, 83-90. (in Ukr).
  8. Safranov, T.A., Prikhodko V.Yu., Shanina, T.P. (2017). [Estimation as emission of greenhouse gases emission from the sites of municipal solid waste disposal: a critical analysis of methods and adaptation to the conditions of the Odessa region]. *Visnyk Odeskogo derzhavnogo ekologičnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 21, 5-14. (in Russ).
  9. Prykhodko, V.Yu., Safranov, T.A., Shanina, T.P. (2018). [The definition of greenhouse gases emission from sites of municipal solid waste disposal]. *Problemy jekologicheskogo monitoringa i modelirovanija ekosistem. [Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling]*, XXIX (01), 32-47. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-1-32-47. (in Russ).
  10. Safranov, T.A., Gubanova, E.R., Shanina, T.P., Prikhodko, V.Yu. (2014). [Optimization of municipal waste management and treatment system in the context of urban areas sustainable development]. *Ustoychivoe razvitie [Sustainable development]*, 16, 11-18. (in Russ).

## REFERENCE

## COMPARATIVE ASSESSMENT OF DIFFERENT MUNICIPAL SOLID WASTE TREATMENT METHODS BASED ON GREENHOUSE GASES EMISSION VALUES

V. Yu. Prykhodko, T. A. Safranov, T. P. Shanina

Odessa State Environmental University,  
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, [vks26@ua.fm](mailto:vks26@ua.fm)

The research is aimed at comparing different methods of municipal solid waste treatment (waste burial, composting, complex recycling) depending on the values of generated greenhouse gases. In order to compare waste burial and composting of municipal solid waste based on amount of generated greenhouse gases the calculation methods used for compiling the National Inventory, were taken. The mass balance method was used to estimate the output of a product of complex recycling. The municipal solid waste components differ by amount of degradable organic carbon and decomposition rate but have the largest mass. The municipal solid waste treatment techniques consist in placing such waste at landfills and dumps which are sources of environmental pollution, for example, by greenhouse gases. There are other organic waste treatment methods, such as composting via different technologies, burning, recycling etc. But all of them are also associated with greenhouse gases emission. Easily decomposed organic waste can be used for production of organic fertilizers, but a mandatory requirement, that is separation from the general municipal solid waste stream at the time of waste production, should be complied with. A complex recycling of easily decomposed organic waste, including anaerobic and aerobic composting is offered as an efficient way of waste management. The article presents a comparative analysis of various methods of municipal solid waste treatment based on the amount of greenhouse gases emitted in the Odessa Region. It considers three waste treatment approaches: all waste mass is to be placed at landfills and dumps, composting of some of park and garden waste and burial of other components, complex recycling of food, park and garden waste and some of paper waste according to the developed scheme. Complex recycling offers the least value of total greenhouse



gases emission over a five-year period whereas waste disposal is characterized by the highest value thereof. The complex recovery of components containing bioavailable organic carbon through anaerobic fermentation method excludes emission of greenhouse gases into the atmosphere, as the biogas produced can be collected and extracted. However, over a long period, even after two-stage complex recycling, the total emission of greenhouse gases will be lower comparing to other methods of easily decomposed organic waste treatment. Emission of greenhouse gases in case of waste disposal has a prolonged nature whereas emission of greenhouse gases in case of composting occurs within a short period of time which should be taken into account when analyzing the prospects of solving the municipal solid waste problem.

**Keywords:** municipal solid waste, waste treatment, greenhouse gases, biogas, emission.

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА РІЗНИХ МЕТОДІВ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ ЗА ВЕЛИЧИНОЮ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

В. Ю. Приходько, Т. А. Сафранов, Т. П. Шанина

Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, [vks26@ua.fm](mailto:vks26@ua.fm)

Метою дослідження є порівняння різних способів поводження з твердими побутовими відходами (видалення відходів, компостування, комплексне відновлення) з точки зору викидів парникових газів. Для порівняння видалення та компостування муніципальних твердих побутових відходів за обсягами викидів парникових газів були застосовані методи розрахунків, які використовувались при складанні Національного кадастру. Для оцінки продуктів комплексної утилізації відходів використовувався метод масового балансу. Компоненти твердих побутових відходів розрізняються за кількістю органічного вуглецю, що здатний до біорозкладання, і швидкістю їх розкладання, але є найбільшими за масою. Муніципальна практика поводження з твердими побутовими відходами полягає у тому, що вони видаляються на сміттєзвалища і полігони, які є джерелами забруднення навколишнього середовища, наприклад, парниковими газами. Існують і інші методи обробки органічних відходів, такі як компостування за різними технологіями, спалювання, утилізація тощо. Але всі вони також супроводжуються викидом парникових газів. Органічні відходи, що легко розкладаються, можуть використовуватися для виробництва органічних добрив, але необхідною умовою для цього є їх відокремлення від загального потоку твердих побутових відходів в момент утворення відходів. В якості ефективного способу поводження з відходами пропонується комплексна утилізація органічних відходів, які легко розкладаються, що включає анаеробне та аеробне компостування. Наведено порівняльний аналіз різних методів поводження з твердими побутовими відходами за обсягами викидів парникових газів на прикладі Одеської області. Ми розглянули три способи поводження з відходами: вся маса відходів розміщується на звалищах і полігонах, компостування частини садово-паркових відходів із захороненням інших компонентів, комплексна утилізація харчових, садово-паркових відходів та частини паперових відходів за розробленою схемою. За отриманими показниками загального обсягу викидів парникових газів протягом п'яти років найнижчі значення характерні для комплексної утилізації. Найбільше викидів парникових газів відбувається при захороненні відходів. Комплексна утилізація компонентів, що містять біодоступний органічний вуглець, методом анаеробної ферментації усуває викиди парникових газів в атмосферу, оскільки виробляється біогаз, який можна збирати та використовувати. За багаторічний період, навіть у разі двоетапної комплексної утилізації, сумарна емісія парникових газів буде нижче, аніж за інших методів поводження з органічною частиною твердих побутових відходів. Також показано, що емісія парникових газів при захороненні ТПВ носить пролонгований характер, а при компостуванні виділення їх відбувається в значно менші терміни, що необхідно враховувати при аналізі перспектив вирішення проблеми ТПВ.

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, поводження з відходами, парникові гази, біогаз, емісія.

Подання до редакції : 10. 09. 2018  
Надходження остаточної версії : 26. 10. 2018  
Публікація статті : 29. 11. 2018