

**УДК 504:(054+056)****С.Л. ШМАРИН**, специалист

Национальный центр учета выбросов парниковых газов (НЦУВПГ), г. Киев

**И.Л. АЛЕКСЕЕВЕЦ**, канд. геогр. наук, доцент, руководитель

ГП «Национальный проект «Чистый город», г. Киев

**Р.С. ФИЛОЗОВ**, канд. геогр. наук, младший научный сотрудник

Киевский национальный университет (КНУ) им. Тараса Шевченко

**Н.С. РЕМЕЗ**, докт. техн. наук, профессор, профессор

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (НТУУ «КПИ»), г. Киев

**Г. ДЕНАФАС**, докт. техн. наук, профессор, профессор

Каунасский технологический университет (КТУ), г. Каунас, Литва

## СОДЕРЖАНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ КОМПОНЕНТОВ В СОСТАВЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В УКРАИНЕ

Приведены результаты исследований содержания биоразлагаемых компонентов в составе твердых бытовых отходов (ТБО) в Украине, а также проанализировано влияние изменений в морфологическом составе ТБО на выбросы метана, образующегося в местах их захоронения на полигонах страны.

**Ключевые слова:** биоразлагаемые компоненты, ТБО, метан, парниковые газы.

Наиболее распространенной практикой обращения с ТБО в Украине является их захоронение на полигонах и свалках, которому подвергается около 95 % общего объема образующихся отходов. По данным Государственного агентства экологических инвестиций Украины, в результате анаэробного разложения органических компонентов ТБО в «теле» полигона в окружающую природную среду ежегодно выбрасывается более 300 тыс. т парникового газа (ПГ) метана, что составляет 11,5 % от массы антропогенных выбросов этого газа в стране [1].

Украина в 1996 г. ратифицировала Рамочную конвенцию ООН об изменении климата (РКИК ООН), в соответствии с которой отчетность о количестве выбросов ПГ, в т.ч. от полигонов ТБО, предоставляется ежегодно. Методики и результаты производимых расчетов по всем видам источников выбросов ПГ приводятся в ежегодном «Национальном кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине» (далее Кадастр). Проведенный международной группой экспертов РКИК ООН анализ подтверждает относительно высокое качество отчетности в сфере обращения с ТБО в Украине [2–4]. Тем не менее было рекомендовано повысить достоверность данных о составе ТБО на полигонах Украины.

Согласно [2–4] наиболее сильное влияние на объемы образования метана в процессе разложения ТБО в «теле» полигона оказывают следующие группы факторов:

- а) условия захоронения ТБО (параметры эксплуатации полигона: площадка для складирования отходов, продувка и защита от возгораний, покрытие, прессование, послойное размещение отходов; наличие сточных, дренажных и вентиляционных систем, а также глубина полигона);
- б) масса захороненных ТБО;
- в) климатические особенности местности (среднегодовая температура и соотношение между количеством осадков и испаряемостью воды с поверхности грунтов);
- г) содержание биоразлагаемых компонентов в составе ТБО.

Действие первых трех групп факторов исследовано во многих публикациях и подробно проанализировано и систематизировано в работе [5], содержащей также расчет морфологического состава ТБО в целом по Украине (табл. 1). Однако имеющиеся расчеты отличаются рядом существенных недостатков:

- использованы устаревшие исходные данные о составе ТБО, а за период 2005–2010 гг. учтены показатели, относящиеся лишь к одному городу – Борисполю Киевской обл.;
- не учтены статистические данные об объемах (массе) захороненных ТБО на полигонах населенных пунктов по областям;
- выделено только пять биоразлагаемых компонентов: древесина, бумага, пищевые отходы, текстиль

и садово-парковые отходы, включающие прочие биоразлагаемые компоненты, тогда как в методических указаниях [2] рекомендуется отдельно оценивать выбросы метана, образующегося в процессе разложения садово-парковых отходов, резины и кожи, средств личной гигиены.

Целью данной статьи является оценка содержания основных биоразлагаемых компонентов в составе ТБО в 2013 г. путем систематизации и анализа проведенных в 2008–2013 гг. исследований состава ТБО в городах Украины, а также анализ влияния изменений в морфологическом составе ТБО на выбросы метана в процессе их разложения на полигонах Украины.

Морфологический состав ТБО ежегодно меняется и, кроме того, имеет ярко выраженные сезонные колебания [6]. Тем не менее среднегодовое содержание компонентов в ТБО за пятилетний период можно считать величиной относительно постоянной [7–8]. Исходя из этого для определения морфологического состава ТБО в Украине в 2013 г. были использованы данные исследований, проведенных в 22 городах страны (общая численность их жителей составляет 16 % населения Украины) в 2008–2013 гг.

Данные о составе ТБО в выбранных населенных пунктах представлены тремя источниками:

- материалами исследований, проведенных при разработке предварительного технико-экономического обоснования национального проекта «Чистый город», утвержденного распоряжением Кабинета Министров Украины от 08.08.2012 г. № 695-р в городах Киев, Харьков, Днепрпетровск, Винница, Кировоград, Полтава, Сумы, Хмельницкий, Тернополь, Черновцы [9];
- результатами реализации научно-исследовательского проекта «Изучение сезонных колебаний состава твердых бытовых отходов в зависимости от социально-экономических индикаторов для моделирования систем управления» (SWC-ENV-IND) в г. Борисполе Киевской области [6];
- материалами исследований, предоставленными областными государственными администрациями Украины и Министерством регионального развития и жилищно-коммунального хозяйства АР Крым по городам: Ивано-Франковск, Херсон, Луцк, Энергодар (Запорожская обл.); Острог, Радивилев, Корец (Ривненская обл.); Севастополь, Алушта, Армянск и Симферополь (АР Крым) [10].

Данные об объемах использования населением средств личной гигиены предоставлены Государственной службой статистики Украины [11], о захоронении ТБО – Министерствами регионального развития, строительства

и жилищно-коммунального хозяйства Украины и АР Крым, а также областными госадминистрациями [12–13].

Полученные данные систематизированы авторами по трем уровням – городам, областям и в целом по Украине. В последнем случае состав ТБО рассчитан с учетом объемов их захоронения по областям. Анализ проводился по восьми компонентам: бумага и картон (I), текстиль (II), пищевые отходы (III), древесина (IV), садово-парковые отходы (V), средства личной гигиены (VI), резина и кожа (VII), небiorазлагаемые компоненты (VIII).

Недостающие исходные данные рассчитаны на основе следующих допущений:

- неотсортированные содержащие органику компоненты включают до 15 % садово-парковых и до 25 % пищевых отходов;
- компонент «кости, кожа и резина» на 1/3 состоит из костей;
- содержание средств личной гигиены определяется как сумма их импорта и производства за вычетом экспорта данной группы товаров за исследуемый период;
- состав ТБО в областях определяется как среднее арифметическое показателей по городским населенным пунктам;
- в тех областях, где исследования не проводились, данные о морфологическом составе определяются как среднее арифметическое данных смежных областей.

Сравнение данных о содержании биоразлагаемых компонентов ТБО в разных областях и в целом по стране (табл. 1 и рис. 1) свидетельствует о том, что современный состав ТБО в Украине существенно отличается от показателей, опубликованных в предыдущие годы [5]. В частности, можно отметить следующие изменения:

- увеличение примерно в 3,2 раза (с 4,6 до 14,6 %) объема бумаги в стране; колебания этого показателя по областям – 5,5–27,5 %;
- незначительное увеличение (на 0,4 %) объема текстиля в целом по стране (с 3,6 до 4,0 %); колебания показателя по областям – 0,9–6,9 %;
- увеличение на 2,5 % содержания пищевых отходов в составе ТБО (с 30,6 до 33,1 %); колебания показателя по областям – 25,0–44,2 %;
- увеличение на 0,3 % объема древесины в целом по стране (с 1,4 до 1,7 %); колебания показателя по областям – 0,5–5,0 %;
- более чем четырехкратное (с 15,9 до 3,8 %) уменьшение содержания садово-парковых отходов в целом по стране (вследствие разгруппирования данных по новым компонентам); колебания показателя по областям – 0,8–6,6 %).

Кроме того, появились данные по содержанию в структуре ТБО средств личной гигиены, доля которых



составила 1,1 % в среднем по Украине, а также резины и кожи: 1,7 % в целом по стране и 0,4–3,5 % – по областям. Ранее эти компоненты входили в состав садово-парковых отходов и отдельно не исследовались.

Влияние состава ТБО на выбросы метана в местах захоронения отходов в Украине оценивалось авторами на основе национальной инвентаризации ПГ (Кадастра). В соответствии с Кадастром выбросы метана от полигона по захоронению отходов рассчитывались как сумма выбросов ПГ по каждому из компонентов ТБО [1]:

$$Q(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A \cdot k_j \cdot MWS_{T_{ji}} \cdot DOC_j \times \times DOC_F \cdot F \cdot 16/12 \cdot MCF_i \cdot e^{-k_j(t-x)}, \quad (1)$$

где  $Q(t)$  – количество метана, образующегося за период  $t$ ,  $m^3$ ;

$A = (1 - e^{-k_j})$  – нормализующий множитель, корректирующий суммарное значение выбросов ПГ с учетом ТБО, захороненных в году  $i$ ;

$k_j$  – постоянная скорости полураспада  $j$ -го компонента,  $год^{-1}$ ;

$MWS_{T_{ji}}$  – общее количество  $j$ -го компонента ТБО, захороненного в год  $i$ , т/год;

$x$  – период, за который использованы данные;

$DOC_j$  – доля способного биологически разлагаться органического углерода в компоненте  $j$ , т/т ТБО;

$DOC_F$  – доля углерода, принимающего участие в реакциях распада;

Таблица 1 – Содержание биоразлагаемых компонентов ТБО в Украине, 2013 г.

№	Регион	Города, в которых проводились исследования состава ТБО	Компоненты ТБО (в % по массе)							
			I (бумага)	II (текстиль)	III (пищевые)	IV (древесина)	V (садово-парковые)	VI (средства личной гигиены)	VII (резина и кожа)	VIII (небиоразлагаемые)
1	АР Крым	Алушта (2012), Армянск (2012), Севастополь (2008), Симферополь (2011)	27,5	5,0	30,8	2,0	2,3	–	1,6	29,7
2	Винницкая область	Винница (2011)	6,3	0,9	42,4	0,5	6,6	–	0,6	41,6
3	Волынская	Луцк (2013)	20,0	4,0	25,0	4,0	0,8	–	3,0	42,1
4	Днепропетровская	Днепропетровск (2011)	9,6	2,2	29,5	0,7	4,3	–	1,4	51,1
5	Донецкая	расчетные данные	15,1	4,6	31,4	1,2	3,9	–	1,6	41,1
6	Житомирская	– « –	10,1	3,1	35,3	2,9	4,7	–	2,0	40,9
7	Закарпатская	– « –	10,5	5,3	28,8	2,9	2,8	–	3,1	45,6
8	Запорожская	Энергодар (2008)	22,0	5,5	37,6	1,5	4,1	–	1,5	26,7
9	Ивано-Франковская	Ивано-Франковск (2009)	7,9	6,9	26,4	2,0	2,3	–	3,5	49,9
10	Киевская	Борисполь (2011)	8,9	7,7	28,4	1,5	3,1	–	3,5	45,7
11	Кировоградская	Кировоград (2011)	9,3	2,5	28,7	1,1	4,2	–	1,5	51,6
12	Луганская	расчетные данные	14,5	5,3	29,3	1,2	3,5	–	1,8	43,3
13	Львовская	– « –	13,1	3,7	31,2	3,9	3,2	–	2,6	41,2
14	Николаевская	– « –	15,6	2,6	29,0	2,3	3,9	–	1,3	44,2
15	Одесская	– « –	15,0	3,0	27,5	2,5	3,0	–	1,9	46,0
16	Полтавская	Полтава (2011)	7,2	1,9	43,0	0,5	5,2	–	2,0	39,1
17	Ривненская	Корец (2009), Острог (2008), Радивилы (2012)	19,0	1,8	29,4	9,0	3,2	–	3,3	33,1
18	Сумская	Сумы (2011)	4,3	3,5	38,7	1,2	3,0	–	1,8	46,3
19	Тернопольская	Тернополь (2011)	5,5	2,1	44,2	0,5	6,4	–	0,6	39,6
20	Харьковская	Харьков (2011)	13,8	6,0	27,1	1,3	3,2	–	2,0	45,5
21	Херсонская	Херсон (2009)	28,0	3,0	28,8	5,0	3,2	–	1,0	31,0
22	Хмельницкая	Хмельницкий (2011)	6,1	2,2	40,9	0,4	5,9	–	0,5	43,0
23	Черкасская	расчетные данные	7,9	3,2	35,6	0,9	4,8	–	1,9	44,5
24	Черновицкая	Черновцы (2011)	10,6	2,7	31,5	1,1	5,3	–	1,8	45,9
25	Черниговская	расчетные данные	6,8	4,4	36,7	1,1	3,8	–	2,4	43,7
26	г. Киев	Киев (2011)	16,7	1,9	38,7	1,5	1,5	–	0,4	38,1
	Украина	данные авторов	14,6	4,0	33,1	1,7	3,8	1,1	1,7	40,0
	Украина [5]		4,6	3,6	30,6	1,4	15,9	–	–	43,4

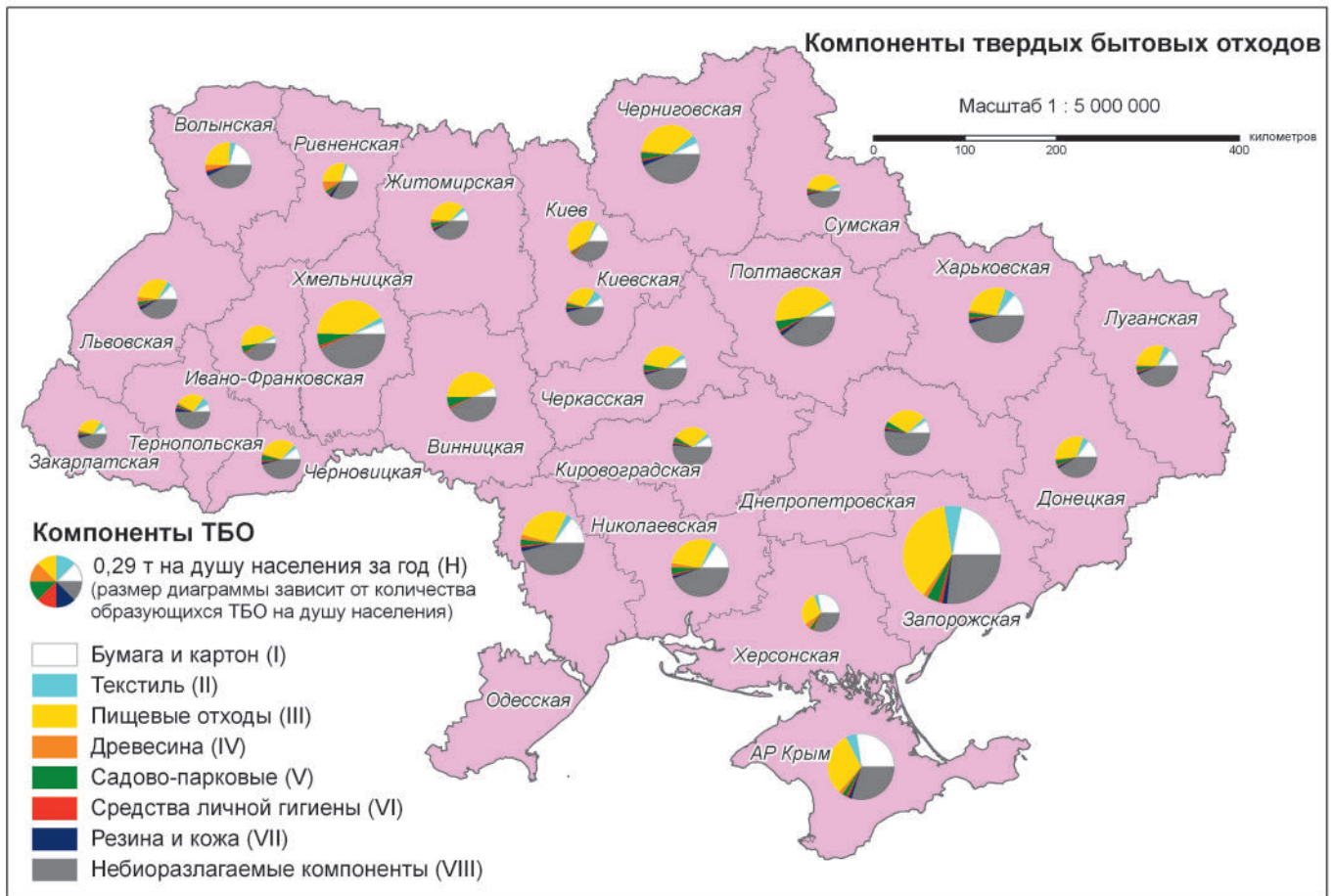


Рисунок 1 – Распределение компонентов ТБО по административным областям

F – содержание метана в биогазе, 16/12 – коэффициент пересчета углерода в метан;

$MCF_i$  – фактор корреляции метана за год i.

Для определения выбросов метана от мест захоронения ТБО (с учетом полученных сведений о составе ТБО) в качестве исходных взяты данные из Кадастра. Влияние состава ТБО на их усредненное содержание и кинетику распада отражено в формуле (1) в параметрах DOC и k, недостающие данные о которых (для резины, кожи и средств личной гигиены) взяты из [3].

Расчеты выбросов метана от мест захоронения ТБО в 1990–2011 гг. представлены на рис. 2. Кривая а описывает динамику выбросов метана с учетом полученных данных о содержании биоразлагаемых компонентов, кривая б – выбросы метана согласно Кадастру 2013 г. Сравнение этих кривых позволяет сделать следующие выводы:

- в 1990 г. рассчитанное авторами количество выбросов составило 5,83 млн т в  $CO_2$ -экв, что на 0,04 млн т (или на 0,7 %) больше показателя, указанного в Кадастре;
- в период с 1990 по 2002 г. расчетные значения оставались выше кадастровых на 0,6–4,6 %, а в 2003–2007 гг. они снизились на 0,1–0,8 %;

- с 2008 г. расчетные выбросы опять начали расти, достигнув 7,47 млн т в  $CO_2$ -экв в 2011 г., что на 3,1 % выше соответствующего показателя (7,25 млн т) в Кадастре.

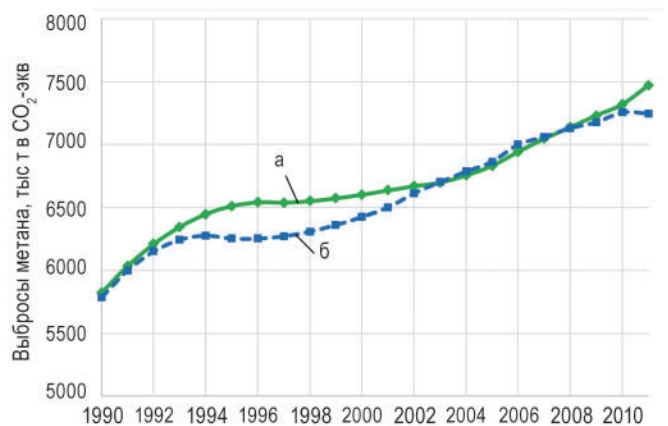


Рисунок 2 – Выбросы метана от мест захоронения ТБО в Украине

**ВЫВОДЫ**

Состав твердых бытовых отходов является ключевым показателем при инвентаризации выбросов ПГ



от свалок и полигонов ТБО. Он влияет как на содержание биоразлагаемого углерода в составе ТБО, так и на скорость образования метана.

Для поддержания надлежащего уровня достоверности национальной инвентаризации выбросов ПГ от свалок и полигонов ТБО страны данные морфологического состава должны периодически обновляться и уточняться.

Анализ проведенных авторами исследований состава ТБО в городах Украины показал, что данные по содержанию бумаги в целом по стране (14,6 %) существенно отличаются от опубликованных ранее данных (4,6 %). Содержание текстиля, пищевых отходов и древесины изменилось незначительно и составляет 4,0, 33,1 и 1,7 % соответственно. Из компонента «садово-парковые отходы» были выделены три составляющие – собственно садово-парковые отходы, резина и кожа, а также средства личной гигиены (3,8, 1,1 и 1,7 % соответственно).

Расчетные выбросы парниковых газов от мест захоронения ТБО в Украине с учетом полученных данных составили в 1990 г. 5,83 млн т в  $\text{CO}_2$ -экв. Они ежегодно увеличивались и в 2011 г. достигли 7,47 млн т в  $\text{CO}_2$ -экв. Эти результаты хорошо коррелируют с данными последней официальной инвентаризации ПГ: отклонения от них для периода 1990–2011 гг. составляют 0,8–4,6 %. Несовпадения наших результатов с данными Кадастра связаны с повышением содержания бумаги, выделением двух новых компонентов («средства личной гигиены», «кожа и резина»), а также снижением доли садово-парковых отходов в составе ТБО.

Обработка исходных данных и учет выбросов парниковых газов проводились в этом исследовании в соответствии с международной практикой инвентаризации ПГ, поэтому его результаты могут быть использованы в ежегодных Кадастрах Украины по учету выбросов ПГ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1990–2011 гг. / Государственное агентство экологических ресурсов Украины. – К., 2013. – 642 с. – Режим доступа: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/7383.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/7383.php)

2. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories / edited by Jim Penman [et. all.]. – Hayama: IGES, 2000. – ISBN 4887880006.
3. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: 5 Volumes / [TFI IPCC]; edited by H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe – Hayama: IGES, 2006. – Vol. 5: Waste / [R. Pipatti and S.M. Manso Vieira]; edited by D. Kruger, K. Parikh. – 2006. – ISBN 4887880324.
4. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: 3 Volumes / IPCC. – 1996. – Vol. 2: Greenhouse Gas Inventory: Workbook. – 1996.
5. Исследование газообразования на наиболее крупных полигонах ТБО и переход на трехкомпонентную национальную модель расчетов выбросов ПГ от свалок ТБО в Украине: отчет о НИР / Институт технической теплофизики НАН Украины; рук. Матвеев Ю.Б.; исп.: Клименко В.М. [и др.]. – К., 2012. – 82 с. – № ГР 0112U001577.
6. Второй промежуточный отчет о ходе выполнения международного научно-исследовательского проекта «Изучение сезонных колебаний состава твердых бытовых отходов в зависимости от социально-экономических индикаторов для моделирования систем управления» в Украине / Ассоциация городов Украины, Киевское региональное отделение. – К., 2011. – Режим доступа: <http://www.auc.org.ua>
7. Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 16 лютого 2010 року N 39 «Про затвердження Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів».
8. Наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 10 січня 2006 № 7 «Про затвердження Норм утворення твердих побутових відходів для населених пунктів України».
9. Письмо Госэкоинвестагентства Украины от 23.08.2013 № 24/8/7.
10. Письмо Госэкоинвестагентства Украины от 13.08.2013 № 2721/8/6.
11. Письмо Госэкоинвестагентства Украины от 25.09.2013 № 2739/8/6.
12. Письмо Госэкоинвестагентства Украины от 25.09.2013 № 2715/8/6.
13. Письмо Госэкоинвестагентства Украины от 25.09.2013 № 2719/8/6.

Поступила в редакцию 12.02.2014

Наведено результати досліджень вмісту біорозкладених компонентів у складі твердих побутових відходів (ТПВ) в Україні, а також проаналізовано вплив змін у морфологічному складі ТПВ на викиди метану, що утворюється в місцях їх захоронення на полігонах країни.

This article presents research results of content of biodegradable components in municipal solid waste (MSW) in Ukraine, as well as one be analyzed influence of changes in MSW morphologic composition on methane emissions forming in waste lands of country during its landfilling.