

year study period 1986-2007 months, his ten-year and five-year time intervals relative to standards of the period of more than 75 years, the climatological standard 1961-1990 and period of 1961-2005. Determine the sign of deviation monthly precipitation for each year of the study period and set the frequency of positive and negative deviation for selected time intervals. Was obtained by the frequency of positive and negative deviations of monthly precipitation relative to the standards in the western part of the Crimean Mountains in the cold period at the current stage of climate changes.

*Keywords:* monthly precipitation, precipitation standards, positive and negative deviations, spatial-temporal distribution of the frequency of positive and negative of monthly precipitation, macroslopes, the Crimea Mountains.

**Пясецкая С. И. Структура изменений в ходе выпадения осадков в месяцы холодного периода года (XI-III) и центральные месяцы весеннего и осеннего сезонов (IV, X) на протяжении конца XX – начала XXI столетия в Крыму (период 1986-2007 и его десятилетия).** Рассмотрены особенности хода выпадения осадков в месяцы холодного периода года и центральные месяцы весеннего и осеннего сезонов в западной части Крымских гор на протяжении конца XX – начала XXI столетия. Произведено сравнение количества осадков по каждому отдельному году исследуемых месяцев периода 1986-2007 гг., и его десятилетних отрезков времени относительно норм периода более 75 лет, климатологического стандарта 1961-1990 гг. и периода 1961-2005 гг. Определен знак отклонений месячного количества осадков по каждому году исследуемого периода и установлена повторяемость положительных и отрицательных отклонений по отдельным промежуткам времени. Получено пространственно-временное распределение повторяемости положительных и отрицательных отклонений месячного количества осадков относительно норм по территории западной части Крымских гор в холодный период года на современном этапе изменения климата.

*Ключевые слова:* месячное количество осадков, нормы количества осадков, положительные и отрицательные отклонения, пространственно-временное распределение повторяемости положительных и отрицательных отклонений месячного количества осадков, макросклон, Крымские горы.

**Надійшла до редколегії 23.04.2014**

УДК 504:(054+056)

**Шмарін С. Л., Слівінська В. В.**  
*Національний центр обліку  
викидів парникових газів*

**Ремез Н. С.**  
*Національний технічний університет  
України «Київський політехнічний інститут»*

**Філозоф Р. С., Нахшина А. Д., Михайленко В. П.**  
*Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка*

## **ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОЦЕНКУ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ С МЕСТ ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В УКРАИНЕ**

*Ключевые слова:* выбросы метана, парниковые газы, твердые бытовые отходы, климатические зоны

**Введение.** Сегодня факт глобального потепления не вызывает сомнений и считается экспериментально доказанным: рост глобальной температуры воздуха и океанов, уменьшение площади морского льда, повышение уровня Мирового океана подтверждено длительными инструментальными измерениями [1–3]. В связи с этим, активно развиваются методы прогнозирования глобальных изменений

климата и возможных сценариев последствий, среди которых на первый план выступают оценочные методы выбросов парниковых газов (ПГ) в атмосферу. Международное сотрудничество в вопросах предотвращения изменения климата в рамках Киотского протокола к Рамочной Конвенции ООН по изменению климата (РКИК ООН) позволяет привлекать Украину инвестиции в модернизацию энергоемких предприятий. Одним из необходимых условий для обеспечения участия в этих мероприятиях является наличие подробной информации о количестве выбросов ПГ в атмосферу. Украина как Сторона РКИК ООН ежегодно публикует методики и результаты расчетов выбросов ПГ в международном отчете «Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине» (далее Кадастр) [4].

**Актуальность работы.** Инвентаризация выбросов ПГ является одним из важнейших условий выполнения взятых Украиной обязательств по их сокращению. Согласно требованиям РКИК ООН Украина обязана улучшать качество расчетов путем совершенствования существующих и разработки национальных методик учета выбросов ПГ из разных источников. Данное исследование направлено на оценку выбросов ПГ с учетом новых количественных данных о климатических факторах для различных климатических зон Украины.

**Оценка выбросов ПГ.** Одним из ключевых источников выбросов ПГ являются полигоны ТБО. Биогаз, состоящий в основном из диоксида углерода и метана, попадает в атмосферу в результате биоразложения органических компонентов. По данным Министерства регионального развития и жилищно-коммунального хозяйства Украины в 2011 г. в Украине захоронено порядка 14,4 млн. т ТБО на шести тысячах свалок и полигонов, занимающих площадь порядка 9 тыс. га. [5]. В результате анаэробного разложения бытовых отходов в атмосферу ежегодно выбрасывается более 300 тыс. т метана, что составляет около 11,5 % от национальных антропогенных выбросов  $CH_4$  [4].

Для оценки возможных объемов образования метана наиболее часто используется математическая модель, рекомендованная Агентством охраны окружающей среды США, — так называемая модель разложения первого порядка [6]. Модель учитывает морфологический состав, время захоронения отходов и целый ряд физико-химических параметров, среди которых климатические условия мест захоронения ТБО, в особенности количество атмосферных осадков и температурный режим полигонов. Влияние климатических факторов на динамику образования ПГ оценивалось в работах А. Ю. Пухнюк, Ю.Б. Матвеева, М.В. Березницкой [7-11]. Авторы показали, что количество осадков, испаряемость и температурный режим полигонов являются важными факторами метанообразования.

Ряд областей Украины имеет довольно значительные отличия во влажности и температурном режиме, что позволяет выделить четыре агроклиматические зоны, постепенно переходящие одна в другую. В [12] предложен алгоритм, позволяющий учесть особенности климата отдельных регионов Украины при оценке выбросов ПГ. Практически, действующая методика учитывает климатические особенности территории Украины косвенным образом, с помощью коэффициента выбросов, взятого по умолчанию [4, 12].

**Целью исследования** является оценка возможности улучшения национальной системы инвентаризации ПГ путем учета в статистической отчетности климатических особенностей территории – температуры и количества атмосферных осадков в местах расположения полигонов ТБО.

**Методы.** Оценка выбросов  $\text{CH}_4$  выполнялась в соответствии с национальной многокомпонентной моделью газообразования, разработанной в 2012 году и описанной в [5]. В ее основе лежит алгоритм затухания первого порядка [11], который базируется на коэффициентах, учитывающих морфологический состав определенных для семи органических фракций ТБО, характерных для Украины [13].

В соответствии с моделью, суммарные выбросы метана с полигонов ТБО учитывают органические отходы, вывезенные в текущем году и в течение предыдущих лет:

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

где:  $Q(t)$  – количество метана, образующегося за период  $t$ ,  $\text{м}^3$ ;  $k_j$  – постоянная темпов образования метана для  $j$ -го компонента,  $\text{год}^{-1}$ ;  $A$  – нормализующий множитель, определяется по формуле:

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

где  $MWS_i$  – общее количество ТБО, захороненных за год  $i$ ,  $\text{т/год}$ ;  $MWS_{j,i}$  – содержание компонента  $j$  в ТБО за год  $i$ , в % по массе;  $t$  – индекс расчетного года;  $x$  – период в годах, за которые вносятся данные;  $L_{0,j,i}$  – потенциал образования метана за год  $i$ , характеризующий удельное образование метана на единицу массы захороненных ТБО, определяемый по формуле:

$$DOC_j \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12 \cdot MCF_i \quad (3)$$

где  $DOC_j$  – содержание биоразлагаемого органического углерода;  $DOC_F$  – доля углерода, принимающая участие в реакциях распада;  $F$  – содержание метана в свалочном газе, в долях %;  $16/12$  – коэффициент пересчета углерода на метан;  $MCF_i$  – фактор коррекции метана за год  $i$ , характеризующий влияние условий захоронения ТБО на процессы метанообразования (глубина полигона, изолирующий слой и др.).

Выбросы метана в атмосферу определяются за вычетом рекуперируемого газа за счет окисления в верхнем слое:

$$Q(t)^{sm} = [Q(t) - R] \cdot (1 - OX) \quad (4)$$

где:  $R$  – собранный метан,  $\text{т}$ ;  $OX$  – фактор окисления метана.

В модели проводится индивидуальный расчет для каждой категории органических отходов ( $DOC_j$ ,  $k_j$ ), которые сгруппированы по скорости разложения и содержанию в них органического углерода, значения которых взяты по умолчанию [11] и приведены в табл. 1. Согласно [11] учет выбросов метана должен вестись, начиная с 1900 г., поскольку период полуразложения отдельных компонентов может достигать 27 лет [5].

Авторы [12] выделяют четыре климатических региона, для каждого из которых установлены значения постоянной темпов образования метана фракций ТБО (см. табл. 2).

Таблица 1 – Параметры биоразлагаемых компонентов ТБО

№	Компонент	Постоянная темпов образования метана ( $k_j$ ), год <sup>-1</sup>	Биоразлагаемый углерод (DOC <sub>j</sub> )
I	Бумага и картон	0,048	0,40
II	Текстиль	0,048	0,24
III	Пищевые отходы	0,110	0,15
IV	Древесина	0,024	0,43
V	Садово-парковые отходы	0,070	0,20
VI	Средства личной гигиены	0,048	0,24
VII	Резина и кожа	0,048	0,39

Таблица 2 – Значение постоянной темпов образования метана  $k$  в зависимости от компонента ТБО и климатического региона[12]

Компонент	$k_j$ , год <sup>-1</sup>			
	Регион 1**	Регион 2**	Регион 3**	Регион 4**
III, VI*	0,110	0,120	0,140	0,150
V	0,055	0,060	0,070	0,075
I, II	0,022	0,024	0,028	0,030
IV, VII	0,011	0,012	0,014	0,015

\*I- бумага и картон, II-текстиль, III - пищевые отходы, IV–древесина, V–садово-парковые отходы, VI–средства личной гигиены, VII–резина и кожа.

\*\* **Регион 1** – Херсонская и Луганская области; **Регион 2** – АР Крым (включая г. Севастополь), Кировоградская, Николаевская, Одесская и Запорожская области; **Регион 3** – Черкасская, Черниговская, Днепропетровская, Донецкая, Харьковская, Киевская, Ривненская, Сумская, Винницкая и Волынская области, г. Киев; **Регион 4** – Черновицкая, Ивано-Франковская, Хмельницкая, Львовская, Полтавская, Тернопольская, Закарпатская и Житомирская области.

Для проведения расчетов выбросов метана с полигонов страны с учетом климатических регионов данные о захоронении ТБО на уровне областей Украины были дезагрегированы как описано в [13].

Расчеты проводились для каждого климатического региона отдельно по формуле (1) с учетом региональных данных о постоянной образования метана (табл. 2), остальные коэффициенты выбросов были приняты как средние по Украине согласно Кадастру [4].

**Результаты.** Расчеты выбросов метана с учетом метеоусловий выделенных климатических зон показали возможность улучшения существующей методики расчета выбросов ПГ и коррекции значений выбросов метана в сторону уменьшения. Так, полученные значения выбросов по годам были ниже на 10,2–18,1 %, в сравнении с опубликованными в Кадастре данными за период с 1990 по 2012 гг.

По нашим расчетам выбросы метана в 2012 г. составили 6,82 млн. т в CO<sub>2</sub>-экв. против опубликованных 7,61 млн. т в CO<sub>2</sub>-экв. Данные, полученные по годам, представлены на диаграмме (рис. 1).

Снижение выбросов метана объясняется тем, что величина национальных коэффициентов темпов образования метана  $k_j$  значительно ниже используемых значений по умолчанию, а количество ТБО, захороняемых в Украине, ежегодно увеличивается. Таким образом, рис. 1 свидетельствует, что вследствие более медленного разложения органических компонентов в составе ТБО в предыдущие годы объемы выбросов метана были ниже не менее, чем на 10 % и, соответственно, значительно возрастут в будущее даже при учете того, что интенсивность деятельности по захоронению ТБО не увеличится.

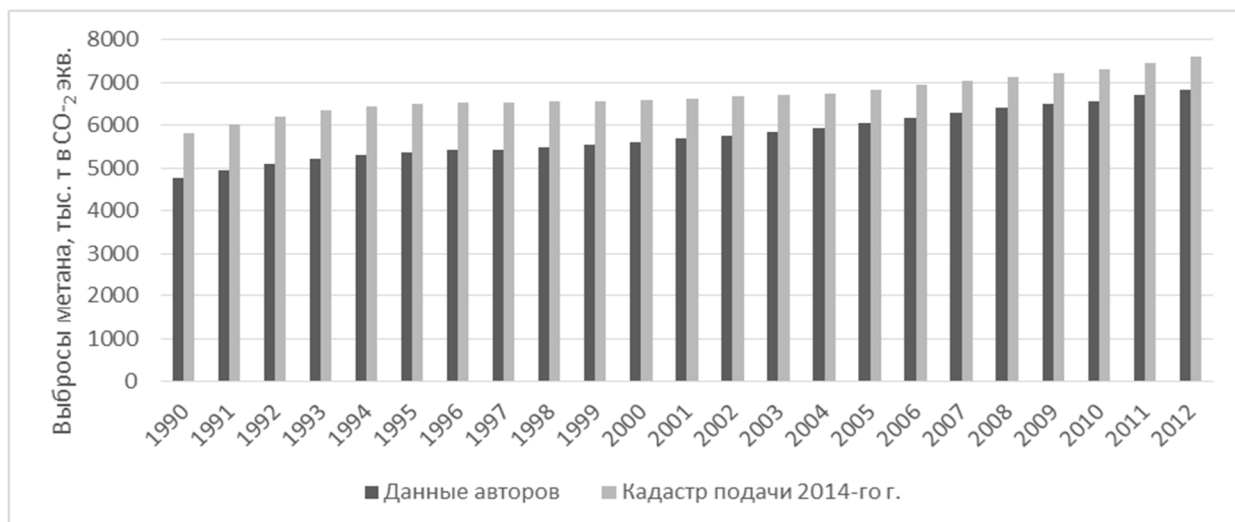


Рис. 1 – Выбросы метана от захоронения ТБО в Украине, 1990-2012 гг.

Качество расчетов можно оценить неопределенностью их результатов [2], низкие значения которой свидетельствуют о высоком качестве выбранной расчетной методики.

Неопределенность выбросов рассчитывается по формуле [2]:

$$\beta = \sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \dots + \alpha_i^2} \quad (5)$$

где  $\beta$  – общая неопределенность выбросов метана;  $\alpha_1, \dots, \alpha_i$  – факторы неопределенности, установлены в [4].

В соответствии с Кадастром общая неопределенность выбросов метана составляет от -46,4 до 30,5 %. Проведение расчета по климатическим регионам позволит снизить неопределенность по отдельно взятым факторам. Так, неопределенность данных о захоронении ТБО снизится до 20%, что объясняется сбором данных непосредственно в областных администрациях, а неопределенность постоянной темпов образования метана – до 10 % в виду внедрения ее национального значения. Общий диапазон неопределенности снизится и составит от -32,3 до 32,3 %. Детально значения неопределенностей представлены в табл. 3.

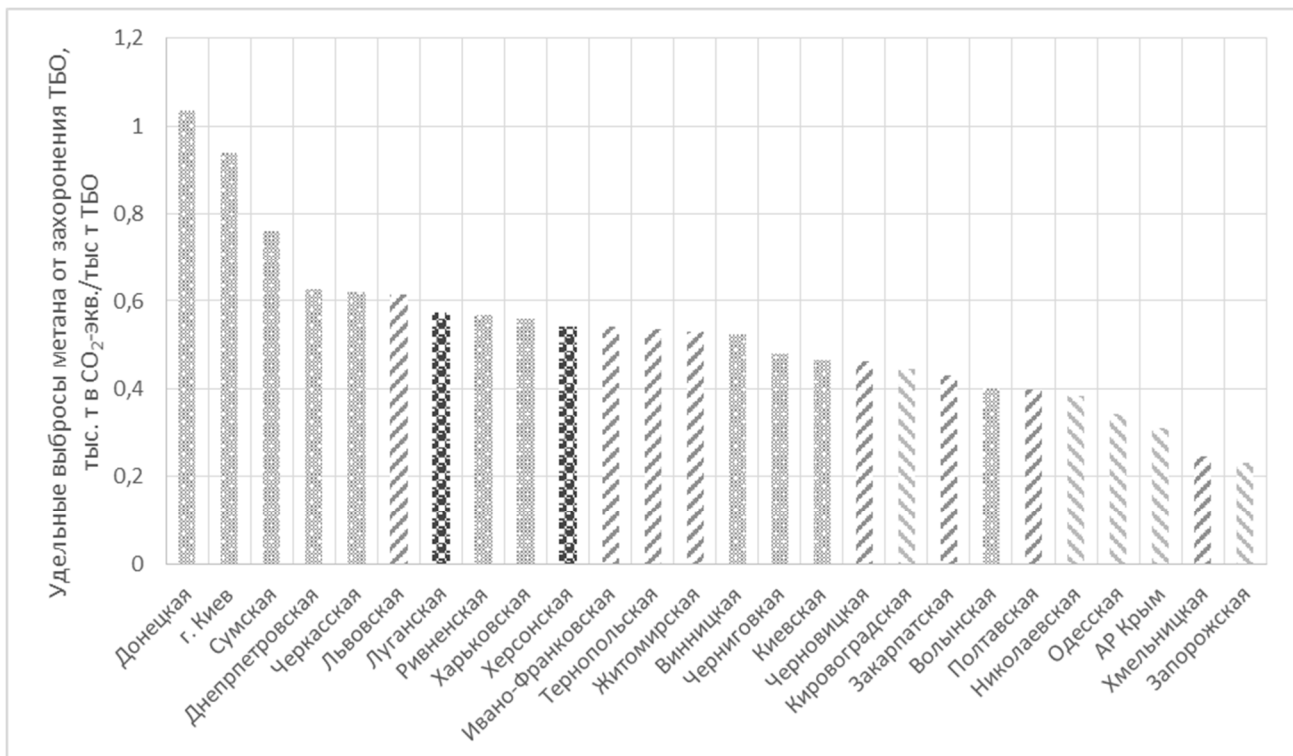
Таблица 3 – Неопределенность параметров выбросов метана от захоронения ТБО

Фактор	Расчетная неопределенность			
	Кадастр		Расчет по климатическим регионам	
	«-»	«+»	«-»	«+»
Количество городского населения	5	5	0	0
Удельная норма образования ТБО	12	12	20	20
Доля ТБО, захороненных на полигонах	35	0	0	0
DOC	15	15	10	10
DOC <sub>F</sub>	10	10	10	10
MCF	20	20	20	20
F	5	5	5	5
R	3	3	3	3
OX	Не включено в анализ			
k	20	20	10	10
Общая неопределенность выбросов	46,4	30,5	32,3	32,3

**Практическая значимость исследования.** В условиях постоянного увеличения массы захороняемых ТБО, что характерно для Украины [4], показатель удельного образования метана на единицу захороняемых ТБО ( $i$ ), имеет важное практическое значение. Чем больше его величина, тем интенсивнее происходит разложение органических компонентов ТБО.

Внедрение постоянной темпов образования метана  $k_j$  в методику расчета выбросов ПГ может привести к снижению расчетных выбросов метана на 10,2–18,1% за период 1990-2012 гг. Предложенный механизм улучшения национальной модели расчета выбросов ПГ позволит в дальнейшем снизить диапазон неопределенности расчетных данных с -46,4...30,5% до -32,3...32,3% и улучшить показатели национальной отчетности в последующих Кадастрах.

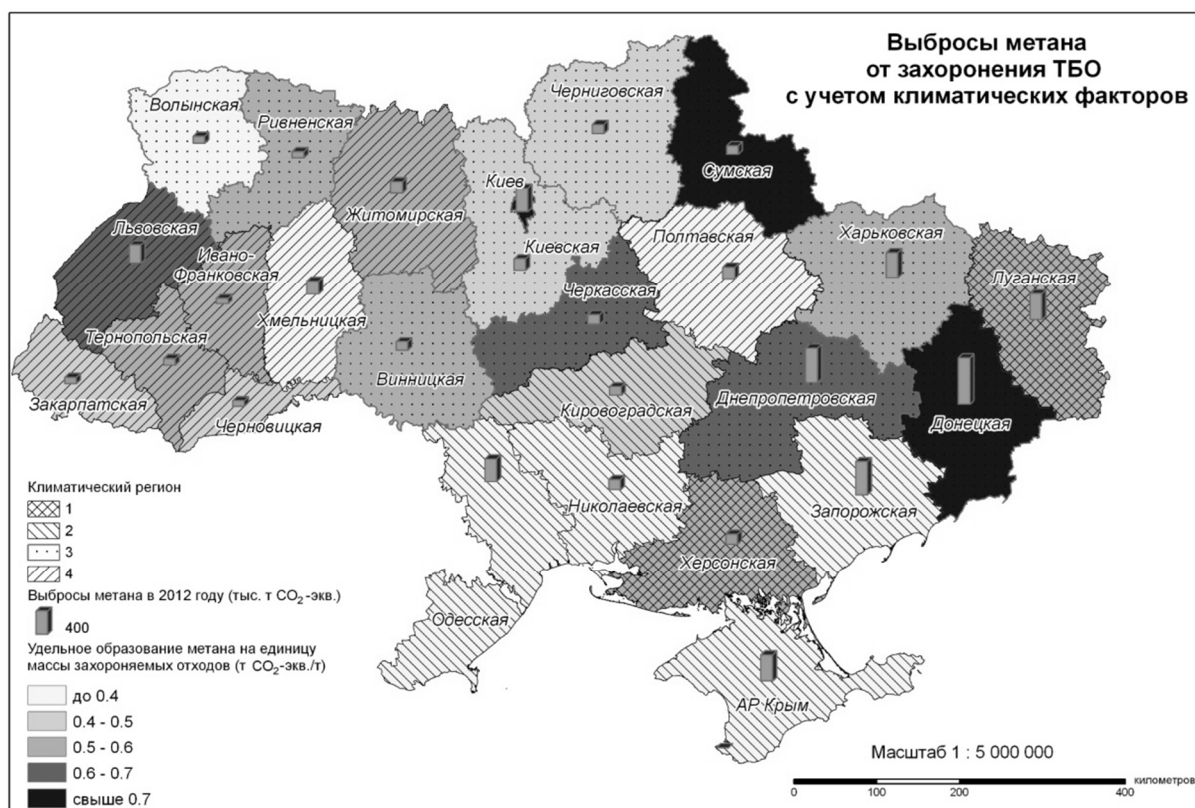
Удельные выбросы метана от захоронения ТБО на уровне областей с учетом климатических регионов за период 1998-2012 г.( $i_{1998-2012}$ ) представлены на рис. 2.



**Рис. 2 – Средние удельные выбросы метана на единицу захоронения ТБО за период 1998-2012 гг., т в CO<sub>2</sub>-экв./т ТБО**

Величина и для Украины составляет 0,48 т в CO<sub>2</sub>-экв./т ТБО. Его наибольшее значение отмечено для Донецкой обл. – 1,04, г. Киева – 0,94, и Сумской обл. – 0,76 т в CO<sub>2</sub>-экв./т ТБО. Наименьшее значение и – для АР Крым, Хмельницкой и Запорожской областей – соответственно 0,31, 0,025 и 0,23 т в CO<sub>2</sub>-экв./т ТБО.

Сводная информация по выбросам метана с полигонов ТБО, полученная нами в результате учета климатических особенностей областей Украины приведена на рис. 3.



**Рис. 3 – Выбросы метана от захоронения ТБО в Украине, 2012 г. с учетом особенностей климатических регионов**

**Выводы.** Региональные климатические факторы в условиях Украины влияют в сторону уменьшения количественной оценки выбросов метана с полигонов ТБО. Расчет выбросов метана на уровне административных областей показал, что удельные выбросы на единицу захороняемых отходов, сильно изменяются в зависимости от климатических особенностей области. Так минимальное значение 0,23 т СН<sub>4</sub> в СО<sub>2</sub>-экв./т ТБО получены для Запорожской области, в то время как в соседней Донецкой области этот показатель составляет 1,04 т в СО<sub>2</sub>-экв./т ТБО. Предлагаемая модель согласования климатических особенностей метанообразования в расчетной формуле дает более низкие значения выбросов ПГ по сравнению с опубликованными данными статистической отчетности Украины [4]. Полученные данные подтверждают мнение авторов [7-11] о том, что прогностические модели часто приводят к переоценке газообразования, особенно в странах с низкими стандартами эксплуатации полигонов.

#### Список литературы

1. Климат России в XXI веке. Ч.I. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета / Мелешко В. П., Катцов В. М., Мирвис В. М. и др. // Метеорология и гидрология. – 2008. – №6. – С.5-19.
2. Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P.D., et al. A comprehensive set of high resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: The observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100) // Tynd all Centre Working Paper No.55, Tynd all Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, UK, 2004.
3. Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje and all., 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge and NY.
4. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников

и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1990-2012 гг. / Гос. агентство экол. ресурсов Украины. – К., 2014. – 577 с. [электронный ресурс]. [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/8108.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/8108.php). 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 / Матвеев Ю. Б. [и др.]. № госрегистрации 0112U001577. – К., 2012. – 141 с. 6. Пухнюк А. Ю. Утворення біогазу на полігонах твердих побутових відходів України та оцінка потенціалу його енергетичного використання. : автореф. дис. канд. тех. наук / А.Ю. Пухнюк. – К., 2013. – 19 с. 7. Пухнюк А. Ю. Исследование газообразования на старых полигонах твердых бытовых отходов / А. Ю. Пухнюк // Промышленная теплотехника. – 2012.- Т. 34, №4. – С. 83-93. 8. Пухнюк А. Ю. Моделирование газообразования на полигонах твердых бытовых отходов / А. Ю. Пухнюк, Ю. Б. Матвеев // Промышленная теплотехника. – 2012.- Т.34, №7. – С. 108-122. 9. Матвеев Ю. Б. Методы и опыт оценки потенциала газообразования на украинских полигонах ТБО / Ю.Б. Матвеев // ВейстТэк-2007 : Пятый международный конгресс по управлению отходами и природоохранными технологиями (Москва, 29 мая -1 июня 2007). – М., 2007 – С. 349-251. 10. Дмитренко Л. В. Результаты инвентаризации парниковых газов в секторе "Отходы" для Национального кадастра парниковых газов / Дмитренко Л. В., Березницкая М. В., Барандич С. Л. // Научные труды УкрНИИ гидромет. ин-та. – 2007. – Вып. 256. – С. 331-345. 11. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / [TFI IPCC]; edited by H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa and all. – 2006. – Vol. 5: Waste / [R. Pipatti and S.M. Manso Vieira]. 12. Ukraine Landfill Gas Model: User's Manual / [U.S. EPA]; edited by A. Stege, – Ver. 1.0, – Washington: U.S. EPA Landfill Methane Outreach Program, 2009. – 28 p. 13. Содержание биоразлагаемых компонентов в составе твердых бытовых отходов в Украине / Шмарин С. Л., Алексеевец И. Л., Филозоф Р. С. и др. // Экология и промышленность. – 2014.– № 1. – С. 79-83.

**Шмарин С. Л., Слівінська В. В., Ремез Н. С., Філософ Р. С., Нахшина А. Д., Михайленко В. П.** Вплив кліматичних факторів на оцінку викидів парникових газів з місць поховання твєдого побутових відходів в Україні. Досліджено вплив кліматичних чинників на процес метаноутворення від захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) по областях України. Запропоновано механізм вдосконалення національної методики з обліку викидів парникових газів з полігонів ТПВ в Україні шляхом впровадження національних значень темпів утворення метану для чотирьох кліматичних зон країни.

*Ключові слова:* викиди метану, парникові гази, тверді побутові відходи, кліматичні зони.

**Shmarin S. L., Slivinskaya V. V., Remez N. S., Filozof R. S., Nakhshina A. D., Mykhaylenko V. P.** Influence of climatic factors on estimation of greenhouse gas emissions from the burial place solid waste in Ukraine. The paper aimed at study of climatic factors influence on methane emission from municipal solid waste (MSW) disposals located at each region of Ukraine. Quantitative method is proposed to improve the methodology of national accounting of greenhouse gas emissions through the implementation of national rates of methane generation at four climatic zones of Ukraine.

*Keywords:* methane emissions, greenhouse gases, solid waste, climatic zones.

**Шмарин С. Л., Сливинская В. В., Ремез Н. С., Филозоф Р. С., Нахшина А. Д., Михайленко В. П.** Влияние климатических факторов на оценку выбросов парниковых газов с мест захоронения твердых бытовых отходов в Украине. Исследовано влияние климатических факторов на процесс метанообразования от захоронения твердых бытовых отходов (ТБО) в областях Украины. Предложен механизм улучшения национальной методики по учету выбросов парниковых газов с полигонов ТБО в Украине путем внедрения национальных значений постоянных темпов образования метана для четырех климатических зон страны.

*Ключевые слова:* выбросы метана, парниковые газы, твердые бытовые отходы, климатические зоны

**Надійшла до редколегії 16.04.2014**