

УДК 658.567 + 550.832

**В.В. КУЛИК**, канд. фіз.-мат. наук, провідний науковий співробітник Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Київ, Україна

**А.Ю. КЕТОВ**, канд. геол. наук, науковий співробітник Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Київ, Україна

**О.В. КАМІЛОВА**, молодший науковий співробітник Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Київ, Україна

**З.М. ЄВСТАХЕВИЧ**, провідний інженер Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Київ, Україна

**О.В. ДМИТРЕНКО**, студент Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

## ОПЕРАТИВНІ ВИМІРЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ МЕТАНУ НА ПОЛІГОНАХ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Розроблено новий прилад для оперативного визначення концентрації метану у польових умовах на полігонах твердих побутових відходів (ТПВ). Запропоновано способи вимірювань новим приладом при проведенні польових досліджень: поверхневий, шпуровий та свердловинний. Приведено результати досліджень розподілу метану по площі полігону на поверхні та у підповерхневому шарі.

**Ключові слова:** полігони твердих побутових відходів, метан, польовий вимірювач концентрації метану, видобуток біогазу.

### Вступ

За останні півстоліття маса накопичених твердих побутових відходів (ТПВ) у світі набула катастрофічних значень. Щорічно маса світового потоку ТПВ складає приблизно 400 млн т, в середньому по 1 кг на людину в день. На кожного мешканця США щоденно припадає близько 2 кг відходів [1]. Для держав Європейського союзу (EU-27) за даними [2] одна людина генерує у середньому 524 кг ТПВ у рік (максимальний показник для Данії 800 кг/рік і мінімальний для Чехії 300 кг/рік).

В Україні одна людина виробляє приблизно 300 кг/рік побутових відходів, що в цілому по країні становлять ~ 12 млн т на рік накопичення ТПВ. Середній щорічний приріст об'ємів побутових відходів складає 5–6 % [1]. В нашій державі нараховується близько 4,5 тис. полігонів ТПВ, які займають значну площу (~ 7,5 тис. га) [3].

Полігони ТПВ створюють небезпечну екологічну ситуацію, яка впливає на здоров'я людини і стан довкілля. Фільтрат, що

утворюється в тілі полігону, забруднює ґрунтові води сполуками важких металів, токсичними речовинами, хвороботворними бактеріями та ін. Крім того, з накопиченням відходів починається їх хіміко-біологічне перетворення. В результаті анаеробних процесів утворюється біогаз, який складається з метану ( $\text{CH}_4 \sim 50 \div 80 \%$ ), вуглекислого газу ( $\text{CO}_2 \sim 20 \div 50 \%$ ) та незначних домішок кисню, азоту, сірководню і водяної пари. При розкладанні однієї тони побутових відходів виділяється  $120 \div 200 \text{ м}^3$  біогазу [4]. Емісія біогазу в атмосферу вносить свій вклад у глобальне потепління (при цьому  $\text{CH}_4$  дає у 21 раз більший парниковий ефект, ніж  $\text{CO}_2$ ), а при загоранні полігонів у атмосферу потрапляють особливо токсичні речовини – діоксини та фурані [5].

Разом з тим, полігони ТПВ містять у собі значні енергетичні та матеріальні ресурси, які можна утилізувати. Серед багатьох методів утилізації та переробки ТПВ одним з перспективних є утилізація біогазу. У США, наприклад, з початку 80-х років ХХ століття на всіх полігонах ТПВ організовано вилучення біогазу та спалювання його основного компонента – метану, а отримане тепло ви-

користується безпосередньо або переробляється в електроенергію [6].

### Загальна постановка задачі

В Україні видобуток біогазу на полігонах ТПВ знаходиться у зародковому стані, тому дослідження цих техногенних джерел метану є актуальною задачею. Техніко-економічне обґрунтування проєктів утилізації біогазу з ТПВ передбачає проведення попередньої оцінки виходу метану та потенціалу газоутворення на полігоні. На даний час для таких досліджень застосовуються методи математичного моделювання процесів у тілі полігону, польові вимірювання газоутворення, відбір та лабораторний аналіз проб газу для визначення його хімічного складу та ін. [7 – 9]. Разом з тим експериментальні дослідження, пов'язані з газом, що утворюється на полігонах ТПВ, потребують значних фінансових, матеріальних і часових затрат.

Тому існує необхідність мати інформативні та недорогі засоби для оперативної оцінки в польових умовах емісії основних компонентів – метану і вуглекислого газу з поверхні полігону; для визначення просторового розподілу концентрації цих газів у підповерхневому шарі на місці залягання; для каротажного вивчення виходу  $\text{CH}_4$  і  $\text{CO}_2$  у вертикальному розрізі «газоносних» горизонтів зони аерації. Іншими словами, необхідна оперативна оцінка двовимірного (2D) і тривимірного (3D) розподілу концентрації метану для всього масиву досліджуваного полігону.

### Поверхневі, шпурові та свердловинні вимірювання

При проведенні польових досліджень для визначення концентрації метану широко застосовуються портативні газоаналізатори, наприклад, фірм Landtec (США), Dräger (Німеччина) та RS DYNAMICS (Чехія). Вартість таких газоаналізаторів перевищує 1 тис. євро.

Нами розроблено недорога і ефективна польова апаратура для оперативної оцінки концентрації метану на полігонах ТПВ, модифікації якої визначаються умовами конкретних вимірювань.

Основою апаратури є прилад типу ПВКМ - 1 (польовий вимірювач концентрації метану), що складається з пристрою, в якому знаходиться детектор метану (надалі – «датчик»), пульта управління та ресстрації і

Для дослідження проблем газоутворення і можливого просочування фільтрату в природні води потрібні комплексні свердловинні визначення петрофізичних параметрів і температури вздовж всього вертикального розрізу тіла полігону і його природної основи, а також кількісна оцінка речовинного складу твердої фази техногенної речовини і фільтрату у вертикальному розрізі тіла полігону.

Крім того, для вирішення поточних проблем, пов'язаних з небезпекою самозагорання полігонів, необхідне оперативне виявлення місць підвищеної концентрації метану на поверхні, в підповерхневому шарі та по глибині.

Для мінімізації загальної екологічної небезпеки полігонів важливою є оперативна оцінка надійності покрівлі полігону при його закритті шляхом визначення емісії газу з поверхні ізолюючого шару.

На даний період нами проведені перші випробування розроблених експериментальних зразків нової апаратури для оперативного вимірювання емісії (виходу) метану з поверхні полігону, а також для вимірювання концентрації метану в підповерхневому шарі (до глибини ~ 1 м). Розроблені методичні підходи для ефективного використання створеної апаратури.

з'єднувального кабелю. Детектором приладу служить адсорбційний чутливий елемент (АЧЕ-01М) (розробник – ДВНЗ «Ужгородський національний університет»).

Принцип роботи АЧЕ полягає у зміні опору плівки напівпровідника в залежності від кількості адсорбованого газу. Напівпровідниковий матеріал – тонка плівка оксиду олова (IV) (сенсор), яка підігривається платиною спіраллю до температури 350° – 400° С. При адсорбції кисню з повітря поверхнева зона напівпровідника збіднюється вільними електронами, внаслідок чого електрична провідність плівки зменшується. При потраплянні метану на сенсор відбувається відновлення поверхні напівпровідника внаслідок реакції

газу з киснем. Встановлюється динамічна рівновага між кількістю молекул кисню, що адсорбуються, та кількістю молекул кисню, що реагують з метаном. При відновленні напівпровідника його електричний опір зменшується, що дає змогу визначати концентрацію метану у повітрі. Особливість датчику типу АЧЕ-01М полягає у його високій чутливості до концентрації метану в області низь-

ких значень (від  $\sim 0,00005\%$  до  $\sim 3\%$   $\text{CH}_4$ ).

Для приладу ПВКМ-1 отримано градувальну залежність показань від концентрації метану в повітрі. Градування приладу проводилось з використанням атестованих стандартних зразків концентрації метану. Градувальна залежність представлена на рисунку 1.

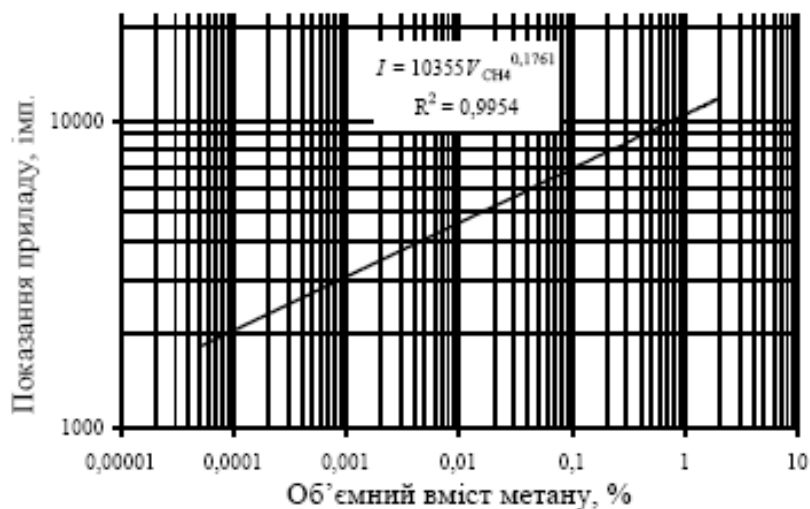


Рисунок 1 – Градувальна залежність приладу ПВКМ-1

При проведенні польових досліджень можна використовувати декілька способів вимірювань. Схематично їх можна поділити на поверхневі, шпурові та свердловинні. На рисунку 2 зображено схеми вимірювань приладом ПВКМ-1 на поверхні (а), у шпурі (б) та у свердловині (в).

За поверхневим способом (рисунку 2а), який є найпростішим у виконанні, зйомка по площі полігону може бути використана для пошуку місць аномального виходу метану (наприклад, над глибокими «тріщинами» в тілі полігону), при оцінці надійності покрівлі полігону після його закриття, при екологічних дослідженнях тощо.

Шпуровий спосіб вимірювань (рисунку 2б) призначений для вимірювань концентрації метану на глибинах до  $\sim (1 - 1,5)$  м.

### Розподіл метану на поверхні та в підповерхневому шарі полігону ТПВ

Інститутом геофізики НАН України у серпні 2013 року було проведено науково-виробничі роботи на нижній площадці одного з полігонів твердих побутових відходів Києва.

Метою досліджень було виявлення місць підвищеної концентрації метану, пов'язаних

зокрема, цей спосіб дозволяє визначати вміст метану, який накопичується під поверхневим ізолюючим переkritтям полігону.

По свердловинній схемі (рисунку 2в) проводять детальні дослідження розподілу метану в розрізі тіла полігону до рівня рідкого фільтрату. При цьому за наявності проміжних ізолюючих шарів можна визначити «пласти» з підвищеною концентрацією метану. Одночасно свердловинні вимірювання дають можливість визначити пористість, вологість, загальну густину вздовж розрізу полігону разом з його природною основою, а також оцінити вміст аномальних поглиначів нейтронів, густину, водневий індекс фільтрату, виявити можливе попадання фільтрату в природний ґрунт нижче тіла полігону.

з небезпекою його загорання, шляхом оцінки виходу метану з тіла полігону за допомогою оперативного визначення концентрації метану на поверхні та в приповерхневому шарі полігону.

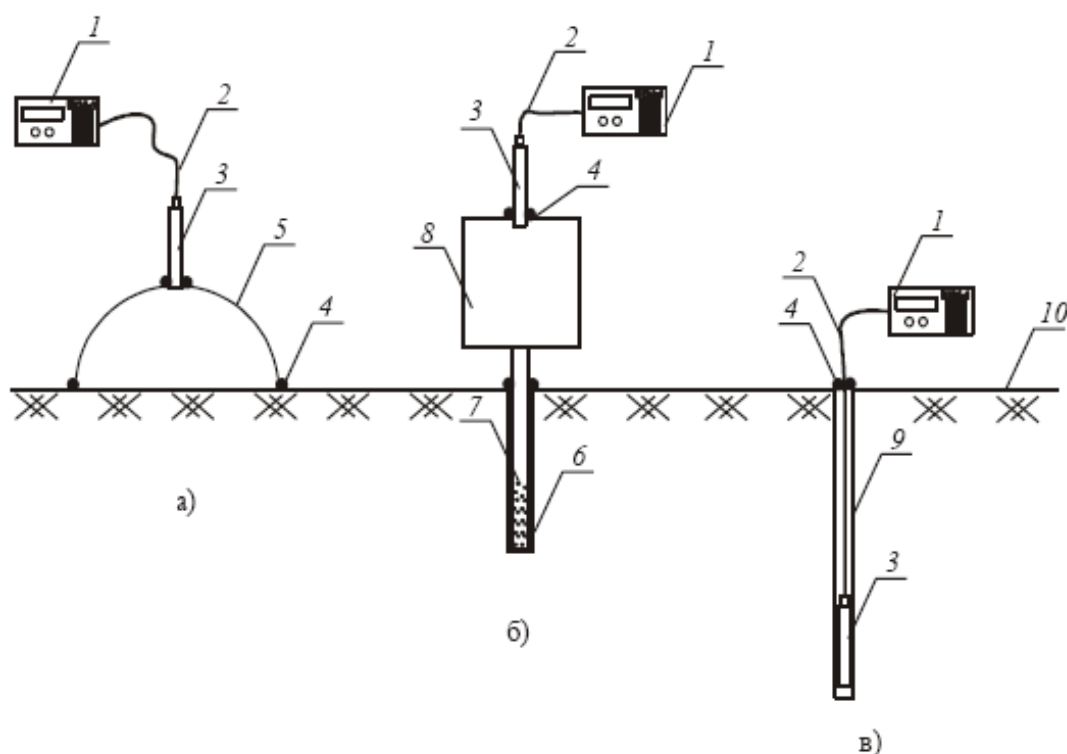


Рисунок 2 – Схеми польових вимірювань а) поверхнева; б) шпурова; в) свердловинна  
 Прилад ПКМ-1: 1 – пульт управління і реєстрації; 2 – з’єднувальний кабель; 3 – датчик;  
 4 – ущільнення з’єднань; 5, 8 – смінь для збору газу; 6 – шпур; 7 – перфорована труба;  
 9 – свердловина; 10 – денна поверхня

На рисунку 3 представлено супутникове зображення полігону, на якому виділено ділянку досліджень (світле коло) та точки вимірювань. Останні були прив’язані до координатної мережі за глобальною системою позиціонування (GPS).

Дослідження проводились на площі приблизно 7500 м<sup>2</sup>, з мережею точок спостережень 25 м × 25 м, кількість точок вимірювань – 18.

Вимірювання проводились за поверхневою (рисунок 2а) та шпуровою (рисунок 2б) схемами у визначених точках. Отримані результати було використано для побудови просторових карт та карт тривимірних зображень розподілу вмісту метану на поверхні полігону (рисунок 4) та у підповерхневому шарі (рисунок 5).

З рисунку 4 видно, що аномально високі концентрації метану припадають на 15-ту та 18-ту точки вимірювань. Тут зафіксована концентрація метану досягає 1,87 та 0,65 %

відповідно. Це пов’язано з тим, що в цих місцях виявлено розтріскування поверхневого ізолюючого шару полігону, через що метан, який накопичується у нижчезалегаючих шарах, легше потрапляє на денну поверхню. У цих місцях зафіксовані продукти горіння, дим, підвищена температура.

На рисунку 5 зображено розподіл концентрації метану в підповерхневому шарі полігону (вимірювання у шпурах проводились на глибині 70 см). З рисунку 5 видно, що аномальні концентрації метану припадають на точки 10–12 та 15–18. У точках 15 та 18 аномалії пов’язані з вільним проникненням метану з тіла полігону у підґрунтовий шар за рахунок тріщин, які були тут зафіксовані.

В інших точках (10 – 12, 16 та 17) аномальні концентрації метану можуть бути пояснені розущільненням підповерхневих шарів полігону, що призводить до полегшої міграції метану в поверхневі шари.

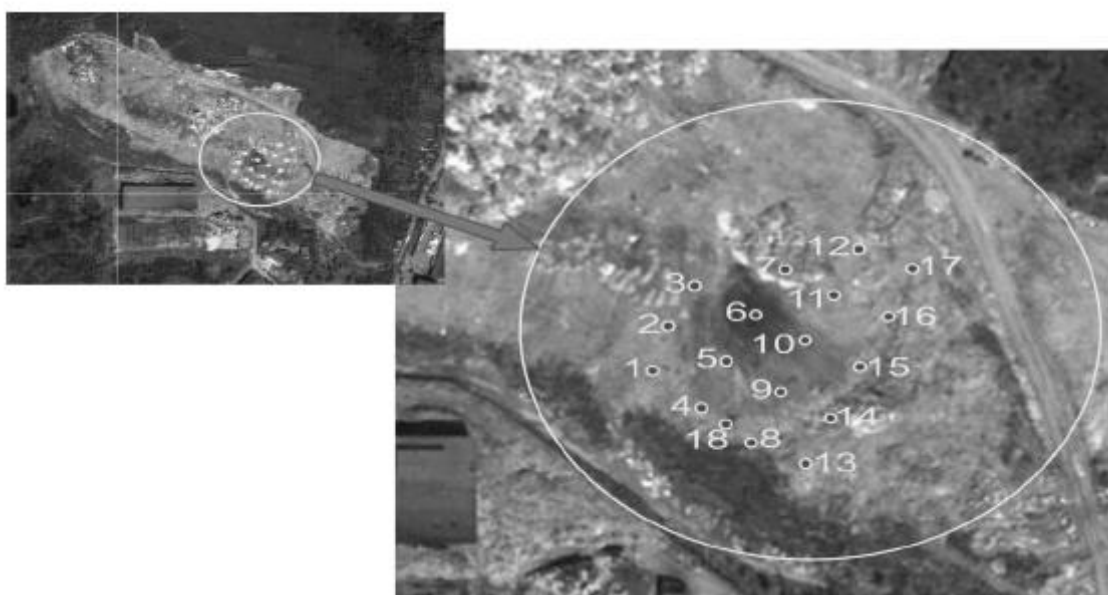


Рисунок 3 – Супутникове зображення полігону твердих побутових відходів

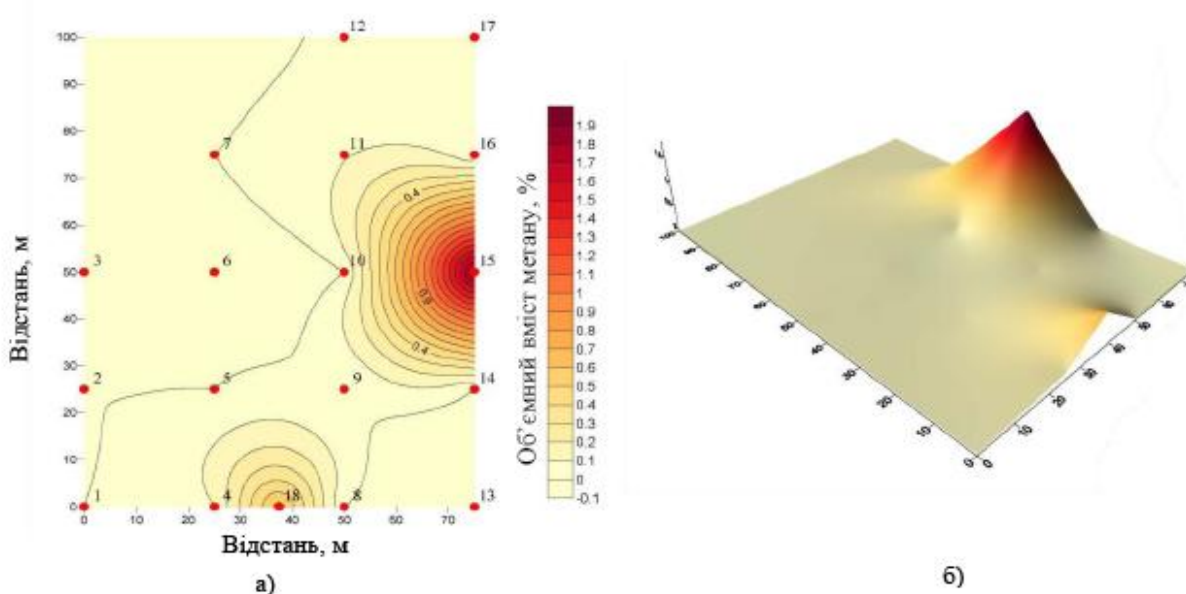


Рисунок 4 – Розподіл вмісту метану на поверхні полігону: а – просторова карта; б – тривимірне зображення. Чорними крапками позначені точки вимірювань

### Висновки

Проведені випробування показали, що розроблений прилад – польовий вимірювач концентрації метану ПВКМ-1 – може бути застосований для оперативної кількісної оцінки концентрації метану при розв’язанні задач, пов’язаних з дослідженнями полігонів ТПВ.

Запропоновано способи вимірювань концентрації метану приладом ПВКМ-1 – поверхневий, шпуровий, свердловинний.

Розроблено методики застосування цих способів з урахуванням можливостей приладу ПВКМ-1.

Вимірювання поверхневим і шпуровим способами на конкретному полігоні ТПВ дозволили побудувати поверхневий і підповерхневий розподіли метану, виявити місця з аномально високою концентрацією метану. Зокрема, такі дослідження направлені на попередження самозагорання полігонів.

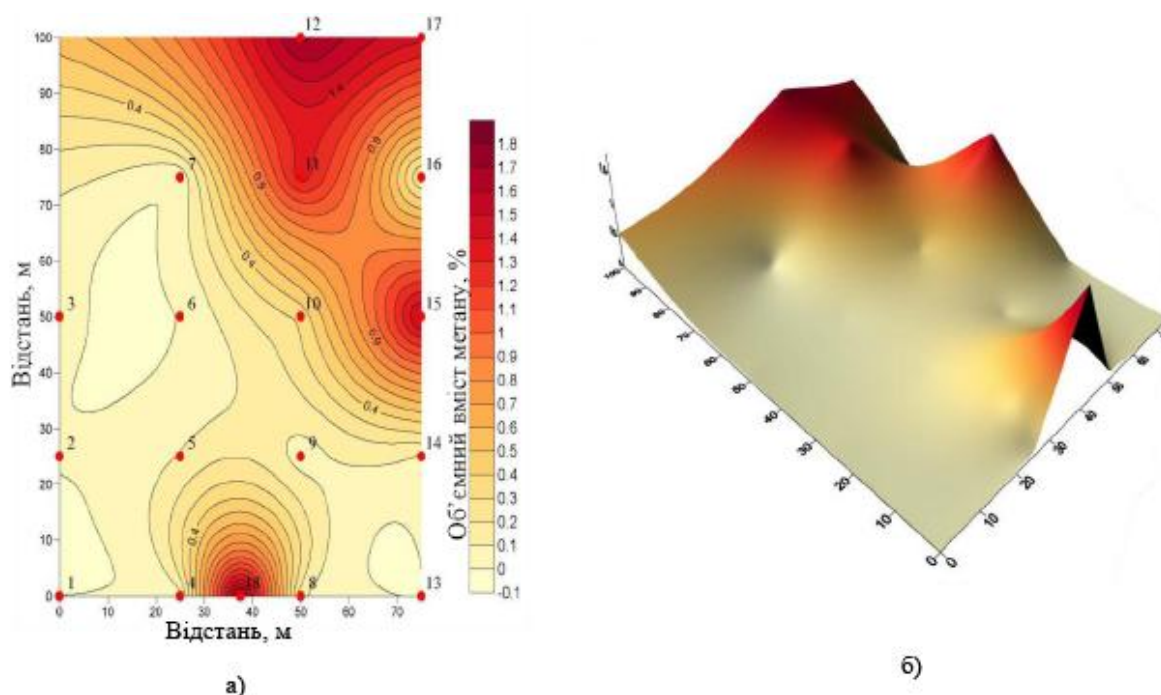


Рисунок 5 – Розподіл вмісту метану у підповерхневому шарі полігону: а – просторова карта; б – тривимірне зображення . Червоними крапками позначені точки вимірювань

Показана необхідність проведення каротажних робіт з застосуванням комплексу геофізичних методів для визначення складу, густини, вологості, пористості, температури, властивостей фільтрату та ін. Більшість цих параметрів можна визначити за результатами комплексу радіоактивного каротажу (ННК, ГК, ГТК, НГК-С).

Використання результатів вимірювань розподілу метану разом з даними комплексу каротажних методів дає можливість визначити оптимальне розміщення свердловин для видобутку газу на полігонах ТПВ. Розв'язання цих задач є найближчою перспективою досліджень таких специфічних техногенних геологічних об'єктів, як полігони ТПВ.

#### Перелік посилань

1. Немировский И.А. Методы утилизации твердых бытовых отходов и оценка потенциала их использования / И.А. Немировский, Н.Ю. Юрин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ» – 2011. – №3. – 196 с.
2. Environmental statistics and accounts in Europe. // Eurostat Statistical books. European Commission. Luxembourg: Publications Office of the European Union. – 2010. – 342 p.
3. Бондаренко Б.І. Проблема утилізації твердих побутових відходів та знешкодження небезпечних відходів в Україні: Від проекту концепції – до державної науково-технічної програми / Б.І.Бондаренко, В.А. Жовтянський // Енерготехнологии и ресурсосбережение. – 2008. – № 4. – С. 63 – 69.
4. Пятничко А.И. Утилизация биогаза закрытых полигонов ТБО / А.И.Пятничко, В.Е. Баннов // Екологія плюс. – 2009. – №4. – С. 12 – 14.
5. Пятничко А.И. Результаты обследования полигонов ТБО Украины для установления объемов добычи и состава биогаза / А.И.Пятничко, Г.В.Жук, В.Е. Баннов // Технические газы. – 2010. – №2. – С. 63 – 66.
6. Волынкина Е.П. Свалочный метан с американских полигонов: извлечение и использование / Е.П. Волынкина / Твердые бытовые отходы. – 2010. – №4. – С. 66 – 70.
7. Пухнюк А.Ю. Полевые исследования для оценки потенциала образования биогаза на полигонах твердых бытовых отходов Украины / А.Ю.Пухнюк, Д.В.Куций, Ю.Б. Матвеев // Кому-

нальне господарство міст: Наук.-техн. зб. Вип.105. Серія: технічні наука та архітектура. – Харків: ХНАМГ. – 2012. – С.482-495.

8. Матвеев Ю.Б. Методы и опыт оценки потенциала газообразования на украинских полигонах ТБО / Ю. Б. Матвеев, А. Ю. Пухнюк [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://waste.ua/cooperation/2007/theses/matveev.html>.

9. Багрій І.Д. Прогнозування геодинамічних зон та перспективних площ для видобутку шахтного метану вугільних родовищ Донбасу / І.Д. Багрій, П.Ф. Гожик, В.І. Почтаренко та ін. – К.: Фоліант, 2011. – 236 с.

*Стаття надійшла до редколегії 21.10.2013 р. українською мовою  
Стаття рекомендована членом редколегії канд. техн. наук М.А. Ємцем*

**В.В. КУЛИК\*, А.Ю. КЕТОВ\*, О.В. КАМИЛОВА\*,  
З.М. ЕВСТАХЕВИЧ\*, А.В. ДМИТРЕНКО\*\***

*\*Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев, Украина,  
\*\*Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, г. Киев, Украина*

### **ОПЕРАТИВНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАНА НА ПОЛИГОНАХ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Разработан новый прибор для оперативного определения концентрации метана в полевых условиях на полигонах твердых бытовых отходов (ТБО). Предложены способы измерения новым прибором при проведении полевых исследований: поверхностный, шпуровый и скважинный. Приведены результаты исследований распределения метана по площади полигона на поверхности и в подповерхностном слое.

**Ключевые слова:** полигоны твердых бытовых отходов, метан, полевой измеритель концентрации метана, добыча биогаза.

**V.V. KULYK\*, A.YU. KETOV\*, O.V. KAMILLOVA\*,  
Z.M. EVSTACHEVICH\*, O.V. DMYTRENKO\*\***

*\*The Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine,  
\*\*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kiev, Ukraine*

### **OPERATIONAL MEASUREMENTS OF METHANE DETERMINATION AT LANDFILLS OF MUNICIPAL SOLID WASTE**

A new instrument for the operational determination of the concentration of methane in the field at landfills of municipal solid waste (MSW) is developed. The methods of measuring with the new instrument for field studies are proposed: surface, blast-hole and borehole. The results of investigations of the distribution of methane on the surface area of the landfill and in the sub-surface are represented.

**Keywords:** municipal solid waste landfills, methane, field measuring the concentration of methane, biogas production.