

УДК 504.064.4

ОЦІНКА УТВОРЕННЯ ОКРЕМИХ ПОЛЮТАНТІВ В ТІЛІ ПОЛІГОНУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

В. Ю. Приходько, В. І. Михайленко, Т. А. Сафранов

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, vks26@ua.fm

Місця захоронення твердих побутових відходів являють собою джерела вторинного забруднення довкілля продуктами деструкції відходів, які піддаються подальшим фізико-хімічним трансформаціям. В роботі розглянуті питання кількісної оцінки утворення парникових газів та стійких органічних поллютантів на полігонах твердих побутових відходів. Методи дослідження: математичні моделі утворення забруднюючих речовин в тілі полігону твердих побутових відходів, зокрема метану та стійких органічних поллютантів. Біоорганічні відходи, які складають основну масу твердих побутових відходів, генерують метан, вуглекислий газ та інші сполуки; наявність хлору у різних сполуках в складі відходів спричиняє ненавмисне утворення стійких органічних поллютантів, зокрема поліхлорованих дибензо-*p*-діоксинів та дибензофуранів (ПХДД/Ф). В статті наведені результати розрахунків утворення метану (за Національною моделлю газоутворення), вуглекислого газу та неметанових летких органічних сполук (за моделлю LandGEM) для умов полігону твердих побутових відходів «Дальницькі Кар'єри», де розміщуються відходи Одеської промислово-міської агломерації. Показано, що полігон твердих побутових відходів є суттєвим джерелом утворення парникових газів, кількість яких стрімко зростає в умовах тривалої експлуатації та постійного надходження відходів. Розбіжність результатів розрахунків генерації метану вказує на необхідність адаптації моделі LandGEM до українських умов, оскільки вона дозволяє визначати широкий спектр забруднюючих атмосферний басейн речовин. За авторською розробкою визначено утворення стійких органічних поллютантів на прикладі ПХДД/Ф. Розрахунки показали, що полігони є значним джерелом ненавмисного утворення ПХДД/Ф, 99% якого накопичується у тілі полігону. Показано, що за умов постійного надходження відходів на полігон відбувається стрімке зростання кількості утвореного ПХДД/Ф, навіть з урахуванням періоду напіврозпаду. А сам полігон розглядається як основне джерело ненавмисного утворення ПХДД/Ф в межах Одеського регіону.

Ключові слова: полігон твердих побутових відходів; модель; парникові гази; стійкі органічні поллютанти.

1. ВСТУП

Захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) на сьогодні є основним методом поводження з ними в багатьох країнах, зокрема, в Україні. Так, за даними Мінрегіону України [1], в 2021 р. на полігонах і звалищах було розміщено 92,4% утворених ТПВ (для 2011 р. цей показник становив 94%).

Відомо, що ТПВ являють собою суміш багатьох компонентів та речовин (наприклад, дослідження морфологічного стану ТПВ Нью-Йорка, проведені у 2013 р., показали наявність серед відходів більше як 70 компонентів, більше 35 компонентів виділяють при проведенні досліджень морфологічного складу ТПВ українських міст). Захоронення цієї «суміші»

призводить до неконтрольованого проходження хімічних та біохімічних реакцій, пов'язаних з деструкцією, перетворенням та взаємодією речовин між собою. В зв'язку з цим місця захоронення відходів наразі розглядаються як об'єкти негативного впливу на довкілля, які потребують особливої уваги. Так, за даними доповіді “What a Waste (2018)” доля полігонів і звалищ світу у загальній емісії парникових газів (ПГ) від антропогенних джерел складає 5%, в США – 15% (дані Агентства із захисту довкілля США за 2022 р.), в Україні – 4% (дані Національного Кадастру [2] за 2019 р.). Ключовою проблемою, пов'язаною із функціонуванням місць захоронення ТПВ, є фільтрат – рідина, збагачена органічними речовинами, важкими металами [3] та стійкими

органічними поллютантами (СОП) [4]. За даними Мінрегіону України [1], лише на 56 полігонах ТПВ України влаштована система збору фільтрату, а за умови, що всього нараховується близько 6 тис. полігонів і звалищ, можна дійти висновку про значний, але невизначений, внесок місць захоронення ТПВ у забруднення довкілля через фільтрат. Навіть якщо виведення поллютантів за межі систему полігону не відбувається, такі об'єкти є накопичувачами речовин. Так, мова йде про мобілізацію в тілі полігона майже 70% вуглецю і 100% азоту і фосфору з біоорганічних відходів у складі ТПВ [5], концентрування важких металів (від десятків до тисяч разів) [3] та СОП. Аналіз опублікованих джерел інформації показує, що відсутні дослідження щодо накопичення СОП у ТПВ з врахуванням кумулятивного ефекту розрахунковим шляхом [4]. Внаслідок цього наявність такої кількості СОП у навколишньому середовищі не фіксується при інвентаризації як відходів, що містять СОП так і джерел ненавмисного утворення ПХДД/Ф.

Враховуючи постійне зростання питомого утворення відходів, а також стан сфери із захоронення ТПВ, можна стверджувати, що дослідження, пов'язані із впливом місць захоронення ТПВ на довкілля, є актуальними. Метою дослідження є характеристика комплексного впливу та оцінка утворення окремих ЗР в місцях захоронення ТПВ (на прикладі окремого полігону).

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як і будь-яка складна система, «полігон-довкілля» характеризується значною невизначеністю вхідних і вихідних потоків речовин. Попри це, ми можемо розглянути та оцінити утворення та надходження двох груп речовин – ПГ у складі біогазу (або звалищного газу) та СОП.

Вихідними даними для проведення дослідження є інформація щодо утворення та захоронення ТПВ Одеської ПМА на полігоні «Дальницькі Кар'єри» за період 2007-2017 рр., морфологічний склад відходів.

2.1 Оцінка емісії метану від полігонів ТПВ

Оцінка емісії CH_4 з місць захоронення ТПВ визначається за Національною багатокомпонентною моделлю на основі метода затухання першого порядку третього рівня деталізації (далі – Національна модель). Утворення CH_4 з місць захоронення ТПВ

визначається як

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

де A – нормалізуючий множник, визначається за формулою (2)

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

де k_j – постійна темпів утворення CH_4 для j -го компонента ТПВ, рік⁻¹; MWS_i – загальна маса ТПВ, захоронених в рік i , т/рік; $MWS_{j,i}$ – вміст j -го компонента в ТПВ в i -му році, %; t – розрахунковий рік; x – період, за який внесені дані, рік; $L_{0i,j}$ – потенціал утворення CH_4 за рік i , т CH_4 /т ТПВ:

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

де DOC_j – загальна маса органічного вуглецю, здатного до біологічного розкладання, в j -ой фракції, тС/тТПВ; DOC_F – частина вуглецю, що приймає участь в реакціях розкладання ($DOC_F = 0,5$); F – вміст метану в біогазі ($F = 0,5$); $16/12$ – коефіцієнт перерахунку вуглецю в метан; MCF_i – фактор корекції утворення метану, який визначається умовами захоронення ТПВ [2]. Уточнення параметрів моделі для Одеської області міститься в нашій попередній роботі [6].

2.2 Оцінка емісії ПГ за допомогою моделі LandGEM

Для визначення інших ПГ та поллютантів, які утворюються в місцях захоронення ТПВ, зручно скористатися додатком (автоматизованим інструментом) LandGEM Version 3.02, створеним на основі електронних таблиць MS Excel. В основі додатку є модель LandGEM, запропонована Агентством із захисту довкілля США [7]. Основне рівняння цієї моделі в адаптованому для України вигляді [8]:

$$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 2kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_j} \cdot MCF \cdot F, \quad (4)$$

де F – поправочний коефіцієнт для возгоряння. Параметри k , L_0 , MCF з формули (4) аналогічні попередній моделі. За результатами попередніх досліджень моделей

газоутворення в тілі полігону [6], нами визначені параметри моделі LandGEM для умов Одеської області. Зауважимо, що результати розрахунків метану за Національною та LandGEM моделями відрізняються, сама модель LandGEM розроблялася для внутрішнього використання. Тим не менш, використання додатку LandGEM Version 3.02 в даному дослідженні дозволяє проілюструвати утворення інших, окрім метану, ПГ та ЗР (до 50 найменувань).

2.3 Оцінка ненавмисного утворення СОП від полігонів ТПВ

Для визначення ненавмисного утворення СОП від місць захоронення ТПВ, скористалися формулою, представленою у методиках [9, 10]:

$$E_{СОП} = M_{ТПВ} \cdot \Phi E_{СОП}, \quad (5)$$

де $E_{СОП}$ – ненавмисне утворення СОП у одиницях маси; $M_{ТПВ}$ – маса ТПВ, яка складається на місцях захоронення відходів; $\Phi E_{СОП}$ – фактор емісії для представника класу СОП.

У наших попередніх роботах [11, 12] наочно продемонстровано, що лише одночасне використання методик дає змогу отримати повну картину емісії всіх представників СОП з врахуванням всіх напрямків надходження цих речовин у довкілля.

Накопичення СОП розраховувалося на основі запропонованої нами вдосконаленої методики, яку запатентовано у вигляді твору науково-практичного характеру [13]. Розрахунок має вигляд (6):

$$A_t = A \cdot e^{-t/\tau} \quad (6)$$

де A_t – маса СОП після напіврозпаду за період часу t ; A – вихідна маса СОП; t – проміжок часу, що розглядається; τ – період часу, за який концентрація зменшиться у e разів.

Зауважимо, що період напіврозпаду СОП у довкіллі прийнято за 10 років.

Доцільно зауважити, що методики кількісного розрахунку ненавмисного утворення СОП [9] та [10] є інвентаризаційними і дозволяють отримати річні маси СОП на основі даних річного утворення ТПВ у одиницях маси. Але, на жаль, цей підхід не дає інформації про часову динаміку продукування СОП і не дозволяє визначити, в який період часу утворювалася найбільша або найменша маса цих речовин. Такий розрахунок дозволяє

представити загальну інформацію про генерацію СОП у довкіллі згідно до вимог Стокгольмської конвенції, проте обмежує можливість отримання інформації для характеристики динаміки утворення та розповсюдження цих речовин у довкіллі.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Взаємодію місць захоронення ТПВ з довкіллям у вигляді потоку політантів можна описати такими напрямками: емісія газів до атмосферного повітря; утворення фільтрату і виведення забруднюючих речовин (ЗР) з ним, депонування ЗР у тілі полігону.

З позицій трансформації в тілі полігону, компоненти ТПВ можна класифікувати на такі групи:

- біоорганічні відходи, які достатньо швидко розкладаються в тілі полігону внаслідок процесів біохімічної деструкції органічних речовин;

- хімічно інертні відходи, які зберігають свої властивості протягом достатньо тривалого часу;

- хімічно нестійкі речовини, переважно у рідкій фазі, здатні до взаємодії та переходу за межі системи.

Враховуючи широкий спектр вихідного матеріалу для утворення нових сполук і варіативність процесів розкладу та утворення нових речовин в системі «полігон – довкілля», задача комплексної оцінки впливу місць захоронення ТПВ є достатньо невизначеною. Попри це, ми можемо кількісно оцінити утворення метану (та інших ПГ) і СОП.

3.1 Оцінка утворення метану за Національною моделлю

Дослідження щодо вмісту у ТПВ біоорганічних відходів (тобто тих, що містять біодоступний вуглець і здатні до розкладання мікроорганізмами в природних або наближених до цього умовах), показало, що на ці відходи припадає майже 60% від загальної маси ТПВ, з них 50% - це харчові відходи, 22% – папір і картон, 15% – садово-паркові відходи [14]. Саме ці відходи є джерелом утворення в тілі полігону біогазу, який складається, в основному, з метану (50-60%) і вуглекислого газу (30-40%), нелетких метанових органічних сполук (НЛОС), які є ПГ, що відрізняються парниковим потенціалом. Наприклад, 1 т CH_4 еквівалентна 21 т CO_2 , а 1 т N_2O – 298 т CO_2 .

Використовуючи формули (1)-(3) та уточнені для умов «Дальницьких Кар'єрів» параметри Національної моделі, визначили утворення метану від річної маси захоронених у 2007-2017 рр. ТПВ. Результати представлені на рис. 1.

Як бачимо, маса ТПВ, яка утворюється за рік в Одеській ПМА та захоронюється на полігоні «Дальницькі Кар'єри», продукує майже 1,2 тис. т метану на наступний рік розміщення відходів. Але фактичне утворення метану, враховуючи захоронені за попередні роки відходи, буде значно вища. Наприклад, маса метану від

захоронених за десятирічний період ТПВ майже у 8 разів вища за утворення метану від річної маси ТПВ.

3.2 Оцінка утворення ПГ за моделлю LandGEM

Використання додатку LandGEM Version 3.02 дозволило нам отримати величини утворення метану, вуглекислого газу та НМЛОС від річних мас захоронених ТПВ на перший рік розміщення цих відходів (рис. 2).

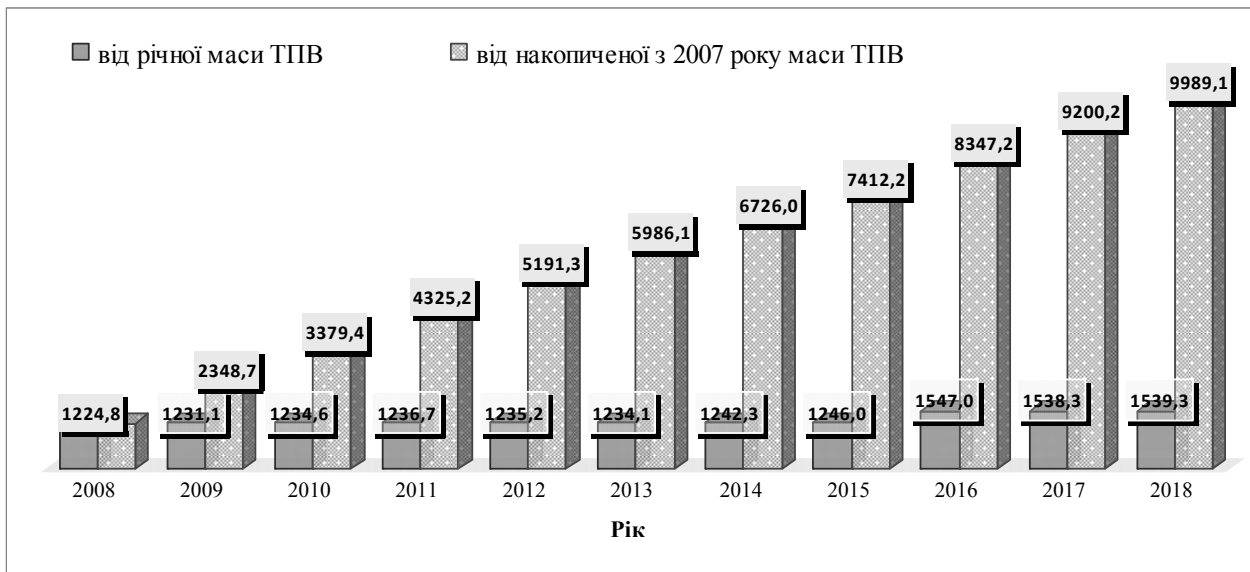


Рис. 1 – Утворення метану (т/рік) від річної маси захоронених на «Дальницьких Кар'єрах» ТПВ (2007-2017 рр.)
 Fig. 1 – The methane generation (mg/year) from the annual MSW mass disposed on “Dalnytsky Kariery” (2007-2021)

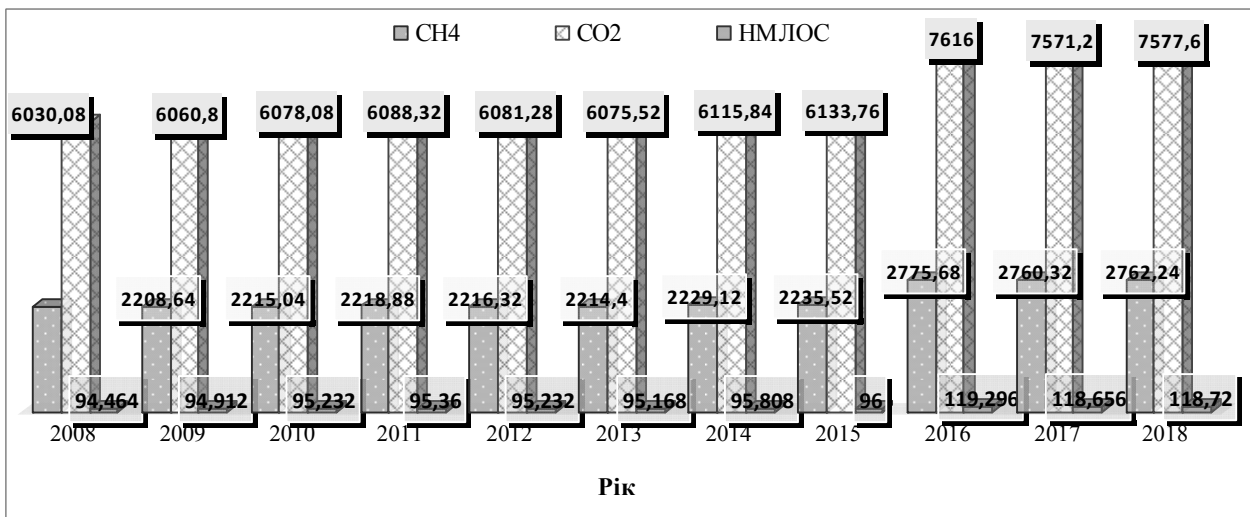


Рис. 2 – Оцінка емісії метану, вуглекислого газу та НМЛОС (т/рік) при захороненні ТПВ на «Дальницьких Кар'єрах»
 Fig. 2 – The methane, carbon dioxide and NMVOC emission (mg/year) from the MSW disposal on “Dalnytsky Kariery”

Як бачимо, захоронення ТПВ є джерелом утворення і надходження до атмосфери ПГ. Так, в середньому, на 1 т захоронених ТПВ утворюється 4 кг метану, 11,2 кг вуглекислого газу та 176 г НМЛОС за перший рік розміщення відходів на полігоні. Загальна продукція та емісія полютантів триває протягом 50-80 років. Також відмітимо, що є розбіжності в отриманих оцінках емісії метану за Національною моделлю та за моделлю LandGEM (в адаптованому для України варіанті), що визначає необхідність подальшої роботи у напрямку національної адаптації другої моделі. Про це більш детально показано в нашій попередній роботі [6]. Тим не менш, модель LandGEM дозволяє проілюструвати широкий спектр впливу полігонів ТПВ на атмосферне повітря.

3.3 Оцінка утворення СОП

Різноманітний морфологічний склад ТПВ, зокрема – наявність компонентів, що містять хлор у різних формах, робить їх потенційним джерелом ненавмисного утворення СОП. Джерелом хлору у загальному потоці ТПВ є, головним чином, медичні відходи, антисептичні засоби та хлормісні види пластмас. Зокрема, великий внесок за рахунок матеріалів з поліхлорвінілу, які надходять у складі будівельного сміття (натяжні стелі, лінолеуми, термостійкі пластмаси тощо) і взуттєвих пластикатів. Наявність у ТПВ важких металів у складі батарейок, акумуляторів та інших електричного і електронного обладнання прискорює процес утворення ПХДД/Ф (але уповільнює процеси розкладання біоорганічних відходів). Використовуючи дані нами була визначена кількість ПХДД/Ф, яка утворюється внаслідок видалення ТПВ Одеської ПМА. Слід зазначити, що надходження ПХДД/Ф у навколишнє середовище іде двома шляхами: у воду – у складі фільтрату, який потрапляє у ґрунти і, як наслідок, у ґрунтові води, та залишку, який накопичується у тілі полігону. Схему надходження СОП у довкілля від полігону ТПВ Одеської ПМА наведено на рис. 3.

Наприклад, маса відходів, утворених в Одесі у 2017 р. склала 674,1 тис. т, а відповідне надходження ПХДД/Ф у довкілля: 0,34 г ТЕ (токсикологічний еквівалент – величина, яка виражає кумулятивну токсичність складних сумішей ПХДД/Ф через токсичність 2,3,7,8-ТХДД) – ПХДД/Ф у складі фільтрату та 33,71 г ТЕ – ПХДД/Ф у складі залишку, що

накопичується у тілі полігону ТПВ. Таким чином, щорічне утворення ПХДД/Ф у тілі полігону в 100 разів перевищує вміст ПХДД/Ф у рідкій фазі. Це можна пояснити тим, що перед потраплянням у ґрунтові води фільтрат проходить своєрідний процес очищення через ґрунтовий профіль, на якому сформовано тіло полігону.



Рис. 3 – Схема надходження СОП у довкілля від полігону ТПВ «Дальницькі Кар'єри»

Fig. 3 – The scheme of POPs entering to the environment from the “Dalnitsky Kariery” landfill

з використанням запропонованого нами алгоритму [13], було визначено річне утворення та накопичення ПХДД/Ф у довкіллі при відкритому складуванні ТПВ на «Дальницьких кар'єрах», зокрема – у тілі полігону та у рідкій фазі (фільтраті), отримані результати представлено на рис. 4 та 5.

Отже, встановлені обсяги ПХДД/Ф з врахуванням кумулятивного ефекту цих речовин є значно більшими, ніж річна маса цих речовин на 2017 рік. Також важливо відмітити, що тенденція накопичення ПХДД/Ф при складуванні ТПВ у Одеській ПМА є постійною, а швидкість накопичення ПХДД/Ф майже не зменшується за весь період з 2007 по 2017 рік. Це вказує на те, що збільшення швидкості утворення відходів у Одеській ПМА та їх накопичення на «Дальницьких кар'єрах» є настільки стрімким, що не дає змоги навіть сповільнити швидкість накопичення ПХДД/Ф у довкіллі Одеської ПМА навіть з врахуванням періоду напіврозпаду цих речовин.

4. ВИСНОВКИ

Таким чином, складна суміш різних компонентів, якою є маса ТПВ, є джерелом утворення широкого спектру речовин, які

мігрують у довкілля через викиди, фільтрат, або депонуються у тілі полігону. Безумовно, актуальними є питання комплексної оцінки впливу полігонів ТПВ на довкілля з позицій вивчення утворення окремих ЗР. Нами досліджені найбільш вивчені аспекти функціонування полігонів ТПВ — утворення ПГ та СОП.

На прикладі найбільшого полігону Одеської області – «Дальницьких Кар'єрів» показано, що річна маса захоронених на них ТПВ Одеської ПМА продукує від 1,2 до 2,2 тис. т метану (за різними моделями розрахунку). А з урахуванням

захоронених за попередні роки ТПВ фактичне утворення метану зростає у десятки разів.

Також варто відмітити, що маса накопичених ПХДД/Ф при відкритому складуванні відходів, які утворилися на території Одеської ПМА, складає приблизно 0.24 кг ТЕ – це єдине джерело в Одеській ПМА, при якому маса ненавмисно утворених ПХДД/Ф може розглядатися у таких одиницях вимірювання, як кг, що майже не зустрічається при інвентаризації джерел ненавмисного утворення ПХДД/Ф у країнах ЄС.

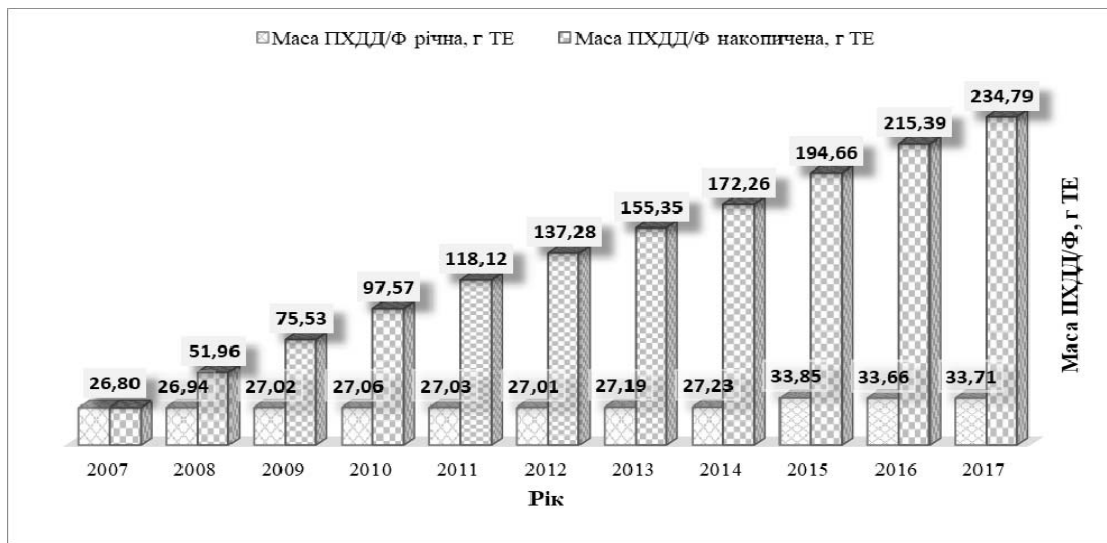


Рис. 4 – Річні та накопичені маси ПХДД/Ф, які утворюються та накопичуються у тілі полігону «Дальницькі Кар'єри»
Fig. 4 – The annual and accumulated masses of PCDD/F, which are generated and accumulated in the body of the “Dalnytsky Kariery” landfill

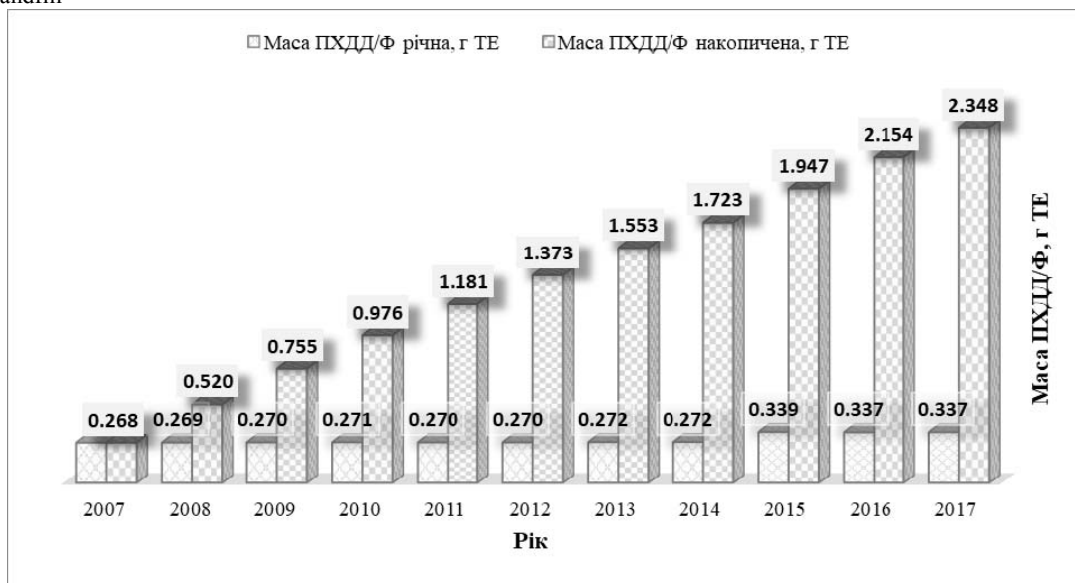


Рис. 5 – Річні та накопичені маси ПХДД/Ф, які утворюються, транспортуються у складі фільтрату та накопичуються у довкіллі
Fig. 5 – The annual and accumulated masses of PCDD/F, which are generated, transported as a part of leachate and accumulated in environment

В умовах відсутності можливостей інструментального моніторингу ЗР, особливо таких як СОП, застосування розрахункових методик визначення емісії поллютантів може бути ефективним вирішенням питання моніторингу забруднення довкілля в Україні. Саме тому удосконалення та/або адаптація методичного апарату ЄС під українські умови є важливим завданням з точки зору екологічної безпеки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2021 рік. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zkh/teritory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/>
2. Ukraine Greenhouse Gas Inventory (1990-2019). URL: https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/Kadastr_2021/Ukraine_NIR_2021_draft.pdf (Accessed 1 September 2022)
3. Єремєєв І. С., Марчук С. В. Дослідження впливу полігонів ТПВ на землях сільськогосподарського призначення. *Агросвіт*. 2015. № 18. С. 3-8.
4. Михайленко В. І., Сафранов Т. А. Аналіз обсягів та джерел утворення відходів, які містять стійкі органічні поллютанти, на території Одеської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2021. №36. С. 83-95. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-07>
5. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П. Особливості міграції біогенних елементів при комплексній утилізації біоорганічної складової твердих побутових відходів. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 28. С. 92-99. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.08>
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 ОДЕКУ*. 2017. № 21. С. 5-14.
7. Landfill Gas Emission Model (LandGEM) Ver. 3.02: User's Guide / U.S. EPA. Washington: U.S. EPA. 2005. 48 p. URL: <https://www3.epa.gov/ttnatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf> (Accessed 1 September 2022).
8. Ukraine Landfill Gas Model Ver.1.0: User's Manual / Edited by Swapura Ganguli, G. Alex Stege. Washington: U.S. EPA Landfill Methane Outreach Program. 2009. 28 p. URL: https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_manual.pdf (Accessed 1 September 2022).
9. ЕМЕР/ЕЕА air pollutant emission inventory guidebook. Technical guidance to prepare national emission inventories, 2019. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019> (Accessed 1 September 2022)
10. UNEP. 2013. Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs. URL: <http://toolkit.pops.int/publish/downloads/unep-pops-toolkit-2012-en.pdf> (Accessed 11 November 2022)
11. Михайленко В. І., Шанина Т. П., Сафранов Т. А. Основні джерела ненавмисного утворення стійких органічних забруднюючих речовин (на прикладі міста Одеса). *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. № 21. С. 110-119.
12. Mykhailenko V., Safranov T. Estimation of Input of Unintentionally Produced Persistent Organic Pollutants into the Air Basin of the Odessa Industrial-and-Urban Agglomeration. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. 22(9). pp. 21-31. <https://doi.org/10.12911/22998993/141479>
13. Удосконалена методика розрахунку ненавмисно утворених стійких органічних поллютантів з врахуванням їх кумулятивного ефекту: пат. Україна. №109858 ; заявл. №с.202108430 ; опубл. 29 листопада 2021 р, Бюл. №31032378
14. Приходько В. Ю., Гюльяхмедова К. Р. Характеристика біоорганічної складової твердих побутових відходів. *Вісник ХНУ*. 2018. Вип. 19. С.82-90. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2018-19-08>

REFERENCES

1. *Stan sfery povodzhennia z pobutovymy vidkhodamy v Ukraini za 2021 rik [The state of the sphere of municipal solid waste management in Ukraine in 2021]*. Available at: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zkh/teritory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/> (Accessed 20 November 2022). (in Ukr.)
2. *Ukraine Greenhouse Gas Inventory (1990-2019)*. Available at: https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/Kadastr_2021/Ukraine_NIR_2021_draft.pdf (Accessed 1 September 2022)
3. Yermieiev, I.S. & Marchuk, S.V. (2015). [Research of the influence of municipal solid waste polygons on agricultural land]. *Ahrosvit [Agroworld]*, 15, pp. 3-8. (in Ukr.)
4. Mykhailenko, V.I. & Safranov, T.A. (2021). [Analysis of volumes and sources of waste containing persistent organic pollutants on the territory of Odessa region]. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, 36, pp. 83-95. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-07> (in Ukr.)
5. Prykhodko, V.Yu., Safranov, T.A. & Shanina, T.P. (2021). [Peculiarities of biogenic elements migrstion at complex utilization of municipal solid waste bioorganic component]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 28, pp. 92-99. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.08> (in Ukr.)
6. Safranov, T.A., Prykhodko, V.Yu. & Shanina T.P. (2017). [Estimation of greenhouse gases emission from the sites of municipal solid waste disposal: a critical analysis of methods and adaptation to the condition of the Odessa region]. *Visnik Odes'kogo deržavnogo ekologičnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 21, pp. 5-14. (in Ukr.)//
7. *Landfill Gas Emission Model (LandGEM) Ver. 3.02: User's Guide*. (2005). Washington: U.S. EPA. 2005. Available at: <https://www3.epa.gov/ttnatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf> (Accessed 1 September 2022).
8. Swapura, Ganguli & G. Alex, Stege (eds) (2009). *Ukraine Landfill Gas Model Ver.1.0: User's Manual*. (2009). Washington: U.S. EPA; Landfill Methane Outreach Program. Available at: https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_manual.pdf (Accessed 1 September 2022).
9. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. Technical guidance to prepare national emission*

- inventories. (2019). Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019> (Accessed 1 September 2022)
10. UNEP. 2013. Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs. Available at: <http://toolkit.pops.int/publish/downloads/unep-pops-toolkit-2012-en.pdf> (Accessed 11 November 2022)
11. Mykhailenko, V.I., Shanina, T.P. & Safranov, T.A. (2018). [Main sources of unintentional production of persistent organic pollutants (the case of Odessa)]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 21, pp. 110-119. (in Ukr.)
12. Mykhailenko, V. & Safranov, T. (2021). Estimation of Input of Unintentionally Produced Persistent Organic Pollutants into the Air Basin of the Odessa Industrial-and-Urban Agglomeration. *Journal of Ecological Engineering*, 22(9), pp. 21–31. <https://doi.org/10.12911/22998993/141479>
13. *The improved calculation method of unintentionally formed persistent organic pollutants taking into account their cumulative effect*. Patent Ukr., no. 202108430, 2021. (in Ukr.)
14. Prykhodko, V.Yu & Hiulakhmedova, K.R. (2018). [The characteristic of bioorganic component of municipal solid waste]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriya «Ekolohiia» [Bulletin of KhNU named after VN Karazina. Ecology series]*, 19, pp. 82-90. (in Ukr.)

EVALUATION OF CERTAIN POLLUTANTS GENERATION INSIDE MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS

V. Yu. Prykhodko, V. I. Mykhailenko, T. A. Safranov

*Odesa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, vks26@ua.fm*

Municipal solid waste disposal sites act as sources of secondary pollution of the environment with waste destruction products that undergo further chemical and biochemical transformations. The research deals with the issues of quantitative assessment of greenhouse gases and persistent organic pollutants formation within municipal solid waste landfills. It uses such methods as mathematical models of pollutants formation inside a municipal solid waste landfill body, namely methane and persistent organic pollutants formation. Bioorganic substance forming the major part of municipal solid waste generates methane, carbon dioxide and other compounds; presence of chlorine in various compounds included in the composition of waste causes unintentional formation of persistent organic pollutants, in particular PCDD/F. The article presents the results of measurements of methane formation (according to the National Gas Formation Model), carbon dioxide and non-methane volatile organic compounds formation (according to the LandGEM model) with relation to the conditions of the municipal solid waste landfill «Dalnytsky Kariery» that accepts waste from the Odesa industrial-and-urban agglomeration. It shows the municipal solid waste landfill as a significant source of greenhouse gases the amount of which increases rapidly under the conditions of long-term operation and constant delivery of waste. The discrepancy in the results of methane formation measurements indicates the need to adapt the LandGEM model that matches the Ukrainian conditions. It would allow determining a wide range of atmospheric polluting substances. The author's design determines the formation of persistent organic pollutants as exemplified by PCDD/F. The measurements showed that landfills act as a significant source of unintentional formation of PCDD/F, 99% of which accumulate inside a landfill itself. They also indicated that, under the conditions of a constant delivery of waste to a landfill, there is a rapid increase in the amount of PCDD/F formed, even with consideration of the half-life period. The landfill itself is considered as a main source of unintentional formation of PCDD/F within the whole Odesa agglomeration.

Key words: municipal solid waste landfill; model; greenhouse gases; persistent organic pollutants.

*Подання до редакції : 02. 12. 2022
Надходження остаточної версії : 08. 12. 2022
Публікація статті : 27. 12. 2022*