

УДК 504.064.4

ОСОБЛИВОСТІ МІГРАЦІЇ БІОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ КОМПЛЕКСНІЙ УТИЛІЗАЦІЇ БІООРГАНІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

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

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, vks26@ua.fm
<https://orcid.org/0000-0003-3854-6693>

Вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами неможливе без залучення в систему управління та поводження з відходами найбільшої групи відходів – біоорганічних, які формують до 60% загальної маси твердих побутових відходів. Метою статті є аналіз перерозподілу біогенних елементів за умов впровадження Концепції поводження з твердими муніципальними відходами ОДЕКУ та подальшої утилізації потоку біоорганічних відходів. Методи дослідження: масовий баланс, рівняння утворення метану. В статті наведені результати досліджень міграції біогенних елементів за умов комплексної утилізації біоорганічної складової твердих побутових відходів. Показано, що переробка органічних відходів, які легко розкладаються, в газоподібний продукт ферментації та органо-мінеральне добриво, дозволяє в повному обсязі залучити біогенні елементи до природних циклів. Отримані тверді продукти переробки є додатковим джерелом органічних речовин та біогенних елементів, необхідних ґрунтам. В умовах дефіциту гумусу та біогенних елементів у ґрунті таке добриво, отримане з відходів, стає важливим вторинним ресурсом, який містить до 65% вуглецю і майже 100% азоту, фосфору і калію. Решта вуглецю вивільнюється з біогазом і теж, згодом, залучається до природних циклів. У випадку захоронення таких відходів відбувається локалізація біогенних елементів в тілі полігону та поступове вивільнення вуглецю з продуктами деструкції (27% за 50 років). Все це свідчить про необхідність ефективного використання ресурсного потенціалу таких відходів, що можливе за умов виокремлення органічних відходів, які легко розкладаються, на початку життєвого циклу твердих побутових відходів. Спалювання вивільняє лише вуглець у вигляді вуглекислого газу, решта залишається в золі. А комплексна утилізація органічних відходів, які легко розкладаються, дозволяє повністю повернути біогенні елементи у докільця. Повторне використання вторинної сировини у вигляді паперових та текстильних відходів мінімізує залучення в господарський обіг вуглецю з природних джерел.

Ключові слова: біогенні елементи; тверді побутові відходи; утилізація; біоорганічні відходи.

1. ВСТУП

Негативні наслідки сучасного стану поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні визначають актуальність прийняття рішень у сфері розробки та впровадження ефективною системи управління та поводження з ними на різних рівнях територіальної організації. За даними Мінрегіону [1], в 2020 році утворилося понад 54 млн. м³ ТПВ, 93,7% з яких захоронено на 6 тис. полігонів і звалищ загальною площею 8,8 тис. га. За умов охоплення послугами з вивезення відходів лише 79% населення, решта ТПВ розміщується на стихійних звалищах, отже, реальний обсяг захоронених протягом року ТПВ набагато більший. Беручи до уваги вже захоронений обсяг ТПВ 1,46 млрд. м³, а також переван-

таження та порушення строків та умов експлуатації вже існуючих полігонів, зауважимо, що проблема неефективного поводження з ТПВ є однією з пріоритетних в сфері державної екологічної політики, що і підтверджується значними змінами у нормативно-правовій базі України, починаючи із затвердження Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року (далі – Національна Стратегія) [2]. Попри значні реформи у нормативно-законодавчій базі України з питань відходів [3], існує суттєва розбіжність між фактичним станом сфери поводження з ТПВ та завданнями національної політики у цій сфері. Наприклад, Регіональні плани управління відходами мали б бути розроблені протягом дворічного періоду з моменту прийняття Національної стратегії (2017) [2], але фак-

тично рішенням РНБО термін розробки і прийняття подовжений до 2021 року. А без прийняття регіональних планів впровадження ефективних рішень щодо поводження з ТПВ фактично неможливе. Все це підтверджує актуальність досліджень у напрямку розробки ефективних систем поводження з ТПВ та їхньої еколого-економічної оцінки.

Відомо, що ТПВ являють собою складну суміш компонентів, серед яких можна виділити окрему групу біоорганічних відходів – тобто відходів, які містять біодоступний вуглець. На них припадає майже 60% маси ТПВ, до групи входять харчові та садово-паркові відходи, папір і картон, які, в основному, формують дану групу. До біоорганічних складових ТПВ відносяться текстиль, деревина, засоби особистої гігієни (ЗОГ), шкіра і гума, але їх вміст не перевищує 4% по окремій категорії [4]. Як бачимо, основою для розбудови ефективних систем управління ТПВ мають стати найбільші за вмістом та ресурсоцінні відходи – харчові, садово-паркові та паперові, які, за винятком деякої частки паперу і картону, захоронюються на звалищах і полігонах, отже, стають джерелом забруднення довкілля продуктами деструкції. Локалізація таких відходів в місцях видалення порушує природний кругообіг біогенних елементів.

За даними Держстату України, які проаналізовані SAF [5], протягом 1990-2020 рр. відбулося скорочення внесення органічних добрив у ґрунти внаслідок зниження поголів'я свиней та великої рогатої худоби. Можливо, це є одним з факторів інтенсивної втрати гумусу. Наприклад, за період з 1882 по 2010 рр. вміст гумусу в ґрунтах України знизився від 4,17 до 3,16% [6]. Все це визначає актуальність використання біоорганічних відходів побутової діяльності людини в якості джерела поповнення ґрунтів біогенними елементами.

Метою статті є аналіз перерозподілу біогенних елементів за умов впровадження Концепції поводження з ТМВ (ОДЕКУ) (далі – Концепція ОДЕКУ) та подальшої утилізації потоку біоорганічних відходів. Основою роботи є авторські дослідження перерозподілу вуглецю за різних методів поводження з ТПВ [7, 8] та інших біогенних елементів [9].

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вихідними даними для кількісної оцінки розподілу біогенних елементів є обсяги утворення та морфологічний склад ТПВ м. Одеси. Основні розрахунки утворення продуктів деструкції ор-

ганічних відходів внаслідок захоронення та спалювання виконані за методиками національної інвентаризації парникових газів Ukraine GHG Inventory [10]. Утворення продуктів анаеробної ферментації та масовий баланс речовин розраховані за авторськими моделями [7-9].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Місце біоорганічних відходів в ефективній системі поводження з ТПВ (на основі Концепції ОДЕКУ)

Зазначимо, що біоорганічні відходи у складі ТПВ класифікуються на такі, що легко розкладаються (харчові, садово-паркові, деревина), ресурсоцінні (папір і картон, текстиль) та небезпечні (ЗОГ).

Аналіз нормативно-законодавчої бази, інфраструктури з переробки та складу ТПВ дозволив дійти висновку про необхідність виокремлення із загального потоку ТПВ органічні відходи, які легко розкладаються, на початку життєвого циклу [11]. Цей принцип покладений в основу Концепції поводження з твердими муніципальними відходами, що розроблена в ОДЕКУ [12].

Доповнимо схему (рис. 1) можливих напрямків поводження з біоорганічними відходами у складі ТПВ, яка частково наведена у роботі [4], напрямками міграції біогенних елементів.

Аналіз рис. 1 дозволяє дійти висновку про те, що захоронення ТПВ, а також золи від спалювання, локалізує біогенні елементи у тілі полігону, окрім вуглецю, який надходить до атмосфери у вигляді газоподібних продуктів деструкції CO₂ та CH₄. Але за розрахунками авторів [7], за 50 років шляхом атмосферної емісії вивільниться лише 27% вуглецю. В роботах Тагілової О.А. та Тагілова М.О. [13, 14] зазначено, що перехід вуглецю в фільтрат складає 0,13% за 13 років або 3% за термін остаточної екологічної стабілізації масиву відходів (6,5 тис. років). Отже, навіть за умов відсутності гідроізоляції водний шлях міграції вуглецю з полігону вкрай незначний.

Переробка та утилізація ресурсоцінних компонентів дозволяє повторно залучати біогенні елементи у споживчий цикл. Достатньо складно узагальнено дослідити шляхи виведення з виробничих та споживчих ланцюгів біогенних елементів, певна частина яких вивільняється у довкілля разом із викидами, стічними водами та, зрештою, відходами.

Підсумовуючи інформацію щодо перерозподілу потоків речовини за умов створення ефективної системи поводження з біоорганічними



Рис. 1 – Шляхи міграції біогенних елементів в системі ефективного поводження з біоорганічними компонентами ТПВ
Fig. 1 – The ways of nutrients migration in the efficient management system of MSW bioorganic components

відходами на основі Концепції ОДЕКУ, можна сказати, що основними шляхами переходу біогенних елементів з відходів у довкілля є виробництво і використання компосту, а також утворення газоподібних продуктів деструкції у вигляді CO_2 та CH_4 .

3.2 Комплексна утилізація органічних відходів [15]

Для потоку відділеної в момент утворення органічної фракції, що легко розкладається, нами розроблений спосіб комплексної утилізації, при якому її піддають послідовній обробці: анаеробній ферментації з отриманням біогазу і твердого продукту, а отриманий твердий продукт піддають аеробному компостуванню. Технологічна схема реалізації цього способу утилізації органічних відходів представлена на рис. 2. Додатковим джерелом органічної сировини можуть бути промислові органічні відходи, що легко розкладаються, сільськогосподарські відходи і осади, що утворюються при аеробному очищенні стічних вод на міських очисних спорудах (лише за умови дотримання екологічної безпечності осаду).

На першому етапі (анаеробна ферментація) отримуємо два ліквідних продукти: твердий

продукт ферментації (органо-мінеральне добриво) і біогаз. За наявності споживачів на всю кількість отриманого органічного добрива другий етап переробки можна не проводити. За відсутності попиту на тверді продукти ферментації, вони підлягають другому етапу переробки – аеробному компостуванню. В результаті цього зменшується маса твердих продуктів ферментації. Отримуємо один ліквідний продукт – компост.

В роботах [7, 9] показано, що комплексна утилізація значно скорочує тривалість розкладання органічних відходів та дозволяє отримати товарні продукти: біогаз, до якого переходить 35% вуглецю, та компост, в якому концентрується 65% С. При реалізації 2 етапу комплексної утилізації до складу компосту переходить 65% вуглецю, що міститься у твердих продуктах ферментації, а 35% надходить до атмосфери з CO_2 [7]. Саме такий метод поводження з органічними відходами, які легко розкладаються, дозволяє повністю залучити біогенні елементи до природних циклів. Отриманий компост є джерелом поживних елементів (азоту, фосфору і калію), що утримуються в органічних відходах.

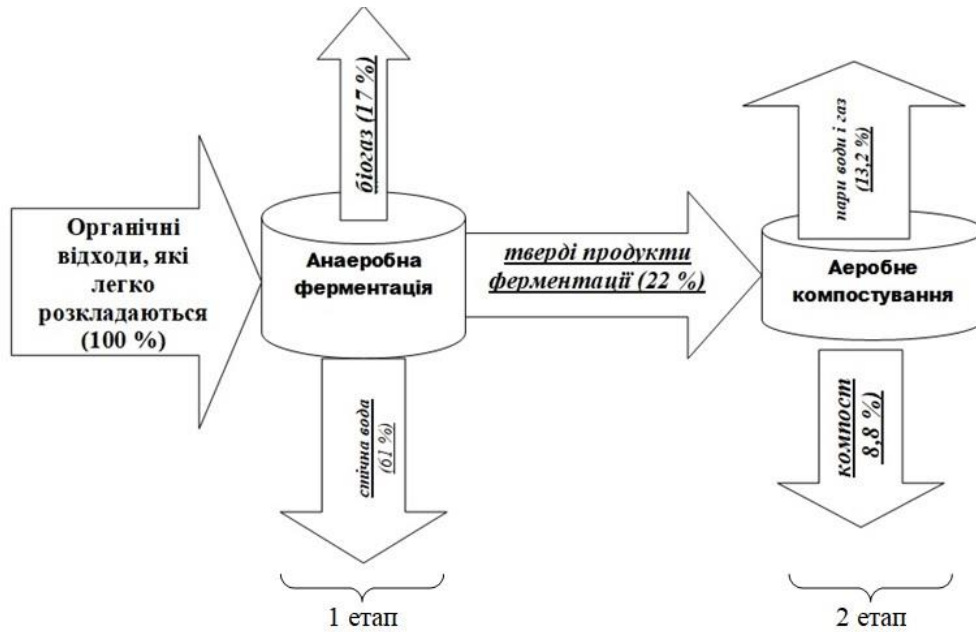


Рис. 2 – Схема комплексної утилізації органічних відходів [15]
 Fig. 2 – The complex recovery of organic waste scheme [15]

3.3 Розрахунок надходження біогенних елементів за умови ефективного поводження з біоорганічними відходами на прикладі м. Одеси

Дослідження трансформації та розподілу біогенних сполук в умовах функціонування системи поводження з біоорганічними складовими ТПВ реалізовано на прикладі м. Одеси. За даними Проекту Регіонального плану управління відходами в Одеській області [16], в місті утворилося 379,6 тис. т ТПВ, які вивозяться на полігон «Дальницькі кар'єри». Це найбільший полігон області площею 96 га. Він обслуговує Одеську агломерацію з 1968 р. та входить в сімку найбільш небезпечних полігонів ТПВ України [16]. Одеса генерує близько 40% ТПВ області.

Використовуючи інформацію щодо морфологічного складу відходів м. Одеси [16], елементний склад відходів [17] та агрохімічні характеристики ТПВ [18], нами проведена кількісна

оцінка потоків біогенних елементів за умови реалізації Концепції ОДЕКУ та анаеробної ферментації органічних відходів, які легко розкладаються. Зазначимо, що сировиною для анаеробної ферментації (рис. 2) є харчові та садово-паркові відходи, некондиційна макулатура (15% від маси). В табл. 1 наведена інформація щодо переходу вуглецю з окремих компонентів ТПВ в органічно-мінеральне добриво за умови реалізації Концепції ОДЕКУ та анаеробної ферментації отриманої вторинної сировини.

Окремо розглянемо деревину як сировину для механіко-біологічної утилізації та як енергетичний ресурс.

На прикладі деревини можна розглянути три варіанти поводження з даним видом відходу – захоронення, спалювання та механіко-біологічна обробка (табл. 2). Розрахунки утворення вуглецевих сполук за різних методів поводження з відходами деревини проведені на основі рівнянь [10].

Таблиця 1 – Характеристика розподілу рухливого вуглецю за умов анаеробного зброджування органічних відходів, які легко розкладаються (м. Одеса)

Table 1 – Characteristics of mobile carbon distribution under conditions of anaerobic fermentation of easy-decomposed organic waste (Odesa city)

Компоненти ТПВ	Вміст в загальному потоці ТПВ		Вологість, %	Суха маса, тис.т	Вміст С в сухій масі, %	С, що не переходить у CH ₄ , %	Вміст С в органічно-мінеральному добриві	
	%	тис.т					%	тис.т
Харчові відходи	29,5	111,97	72,0	31,35	44,96	50,0	22,48	7,05
Папір, картон (неконд.)	0,72	2,73	10,24	2,40	43,39	56,0	24,3	0,58
Деревина	1,42	5,39	20,0	4,31	50,58	51,0	26,3	1,13
Разом								8,76

Таблиця 2 – Трансформація вуглецю з відходів деревини у складі ТПВ м. Одеси (5390 т)

Table 2 – Transformation of carbon from wood waste as a part of Odessa MSW (5390 tones)

Захоронення	Спалювання	Комплексна утилізація
За перший рік розміщення в атмосферу надійде 7,28 т метану	До атмосфери надійде 4,19 тис. т CO ₂	916 т біогазу та 1185,8 т компосту

Як бачимо з результатів, найкращим методом поводження з відходами деревини є комплексна утилізація, яка дозволяє отримати корисні продукти, використання яких вивільняє вуглець та вводить його до природних циклів за рахунок споживання рослинами як компосту, так і вуглекислого газу. Натомість захоронення локалізує вуглець у тілі полігону. Спалювання також вивільняє вуглець, але у формі вуглекислого газу, вміст якого в атмосфері підвищується та спричиняє глобальні кліматичні зміни.

Розглянемо вміст біогенних елементів у продуктах анаеробної ферментації ТПВ (табл. 3).

Таблиця 3 – Характеристика потоку біогенних елементів при анаеробній ферментації біоорганічних відходів м. Одеси

Table 3 – Characteristics of the nutrients flow during anaerobic fermentation of Odessa bioorganic waste

Компоненти ТПВ	Вміст, % від сухої маси			Вміст в органічно-мінеральному добриві, тис.т		
	N _{заг}	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{заг}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Харчові відходи	2,45	0,60	2,15	0,768	0,188	0,674
Папір і картон	0,35	0,26	0,16	0,008	0,006	0,004
Деревина	0,20	0,13	0,23	0,009	0,006	0,010
Разом				0,785	0,200	0,688

З табл. 3 видно, що продукти механіко-біологічної обробки органічних відходів, які легко розкладаються, є джерелом інших біогенних елементів, використання якого дозволяє залучити ці елементи в природний колообіг. В іншому випадку вони локалізуються в тілі полігону або звалища.

4. ВИСНОВКИ

Вирішення проблеми поводження з ТПВ неможливе без залучення в систему управління та поводження з відходами найбільшої групи відходів – біоорганічних, які формують до 60% загальної маси ТПВ. Досягнення цільових показників Національної Стратегії неможливе без ро-

зробки рішень щодо використання ресурсного потенціалу таких відходів. Запропонована нами Концепція ОДЕКУ дозволяє вилучити такі відходи із загального потоку та комплексно утилізувати потік органічних відходів, які легко розкладаються, з отриманням органічно-мінерального добрива, яке містить вуглець та інші біогенні елементи. В умовах дефіциту гумусу та біогенних елементів у ґрунті таке добриво, отримане з відходів, стає важливим вторинним ресурсом, який містить до 65% вуглецю і майже 100% азоту, фосфору і калію. Решта вуглецю вивільнюється з біогазом і теж, згодом, залучається до природних циклів. У випадку захоронення таких відходів відбувається локалізація біогенних елементів в тілі полігону та поступове вивільнення вуглецю з продуктами деструкції (27% за 50 років). Все це свідчить про необхідність ефективного використання ресурсного потенціалу таких відходів, що можливе за умов виокремлення органічних відходів, які легко розкладаються, на початку життєвого циклу ТПВ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/teretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik/> (дата звернення: 27.04.2021).
2. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. No 820). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80> (дата звернення: 25.04.2021).
3. Приходько В. Ю., Гюльяхмедова К. Р. Організаційно-правові аспекти поводження з біоорганічними відходами в Україні. *Проблеми екологічної безпеки*: збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної конференції, 2-4 жовтня. Кременчук, 2019. С. 203-207
4. Приходько В. Ю., Гюльяхмедова К. Р. Характеристика біоорганічної складової твердих побутових відходів. *Вісник ХНУ*. 2018. Вип. 19. С.82-90 DOI: 10.26565/1992-4259-2018-19-08
5. Споживання органічних добрив в Україні. URL: https://saf.org.ua/news/938/#_ftn2 (дата звернення: 4.10.2021)
6. Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення. URL: <https://www.iogu.gov.ua/publikaciji/stan-gruntiv/> (дата звернення: 4.10.2021)
7. Carbon redistribution during the stages of generation and destruction of municipal solid waste organic component / Veronika Prykhodko, Tamerlan Safranov, Tatyana Shaniina, Oksana Illyash. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7(4.8). Pp.415-419. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27281
8. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П. Оценка вовлечения биогенных элементов в природный цикл при компостировании органической составляющей

- твердых бытовых отходов. *Отходы, причины их образования и перспективы использования*: Сб. научных трудов по материалам международной научн. экологической конф., 26-27 марта. Краснодар : КубГАУ, 2019. С. 566-568
- Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П. Екологічні аспекти використання біогазового потенціалу твердих побутових відходів. *Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти*: колективна монографія. Полтава : ПП «Астроя», 2019. С. 494-499.
 - Ukraine Greenhouse Gas Inventory (1990-2019). URL: https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/Kadastr_2021/Ukraine_NIR_2021_draft.pdf (Accessed 20 August 2021)
 - Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П. Сучасний стан сфери поводження з твердими побутовими відходами в Україні. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. 32. С. 58-66.
 - Оптимизация системы управления и обращения с муниципальными отходами в контексте устойчивого развития урбанизированных территорий / Сафранов Т. А., Губанова Е. Р., Шанина Т. П., Приходько В. Ю. *Устойчивое развитие*. 2014. № 16 (март). С. 11-18.
 - Тагилова О. А. Повышение экологической безопасности полигонов твердых бытовых отходов на основе анализа потоков органического углерода: автореф. дис. канд.тех.наук. Пермь, 2006. 22с.
 - Тагилов М. А. Анализ экологической стабилизации полигонов ТБО. *Сотрудничество для решения проблемы отходов*: материалы V Международной научной конференции. URL: <https://waste.ua/cooperation/2008/theses/tagilov.html#author> (дата обращения 10.02.2020)
 - Спосіб комплексної утилізації твердих побутових відходів: пат. Україна. № 58436 ; заявл. 5.10.2010 ; опубл.11.04.2011, Бюл. №7. 8 с.
 - Проект Регіонального плану управління відходами в Одеській області (2020).
 - Схема санітарного очищення м. Києва. Том 3, Пояснювальна записка Техніко-економічна частина Поводження з відходами. Київ. 2012, 47с. URL: <http://golos.kievcity.gov.ua/files/2014/6/19/TOM-3.pdf> (дата звернення: 25.04.2021)
 - Информационные материалы. Объемы, места размещения и переработки отходов производства и потребления на территории Московской области. URL: http://compcentr.ru/library/Othodi/subject_5.pdf (дата обращения 25.04.2021).
- ## REFERENCE
- Stan sfery povodzhennia z pobutovymy vidkhodamy v Ukraini za 2020 rik [The state of the sphere of household waste management in Ukraine in 2020]. Available at: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zkhk/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidkhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik/> (Accessed 2 September 2021). (In Ukr.)
 - Natsionalna stratehiia upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku [National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80> (Accessed 20 August 2021) (in Ukr.)
 - Prykhodko, V.Yu & Hiulakhmedova, K.R. (2018). Organization and legislative aspects of biodegradable waste management in Ukraine. *Problemy ekolohichnoi bezpeky: zbirnyk naukovykh prats XVII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsi [Environmental safety problems: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]*. 2-4 October. Kremenchyk, pp. 203-207. (in Ukr.)
 - 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.)
 - Spozhyvannia orhanichnykh dobryv v Ukraini [Consumption of organic fertilizers in Ukraine]. Available at: https://saf.org.ua/news/938/#_ftn2. (Accessed 4 October 2021) (in Ukr.)
 - Periodychna dopovid pro stan gruntiv na zemliakh silskohospodarskoho pryznachennia [Periodic report on the state of soils on agricultural lands]. Available at: <https://www.iogu.gov.ua/publikaciji/stan-gruntiv/>. (Accessed 4 October 2021) (in Ukr.)
 - Veronika Prykhodko et al. (2018). Carbon redistribution during the stages of generation and destruction of municipal solid waste organic component. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.8), pp.415-419. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27281
 - Prykhodko, V.Yu., Safranov, T.A. & Shanina, T.P. (2019). Assessment of the nutrients involvement of in the natural cycle during composting the organic component of municipal solid waste. *Sb. nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy nauchn. ekologicheskoy konf. "Otkhody, prichiny ikh obrazovaniya i perspektivy ispol'zovaniya" [Proceedings of the International Scientific Environmental conf. "Waste, generation and usage perspectives"]*, 26-7 March. Krasnodar, pp.566-568. (in Russ.)
 - Prykhodko, V.Yu., Safranov, T.A. & Shanina, T.P. (2019). Ekolohichni aspekty vykorystannia biohazovoho potentsialu tverdykh pobutovykh vidkhodiv [Environmental aspects of using the biogas potential of solid waste]. In: *Enerhoefektyvnist ta enerhozberezhennia: ekonomichni, tekhniko-tekhnologichniyi ta ekolohichniyi aspekty [Energy efficiency and energy saving: economic, technical-technological and ecological aspects]*. Poltava : Astraya, pp. 494-499
 - Ukraine Greenhouse Gas Inventory (1990-2019). Available at: https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/Kadastr_2021/Ukraine_NIR_2021_draft.pdf (Accessed 20 August 2021)
 - Prykhodko, V.Yu., Safranov, T.A. & Shanina, T.P. (2019). [Current state of the municipal solid waste management and treatment area in Ukraine] *Liudyna i dovkillia. Problemy neoekolohii [Man and the environment. Problems of neoecology]*, 32, pp. 58-66 (in Ukr.)
 - Safranov, T.A. et al. (2014). *Ustoychivoe razvitie [Sustainable development]*, 16(marth), pp. 11-18. (in Russ.)
 - Tagilova, O.A. (2006). *Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti poligonov tverdykh bytovykh otkhodov na osnove analiza potokov organicheskogo ugleroda [Improving the environmental safety of municipal solid waste landfills based on the analysis of organic carbon flows]*. Abstract of Ph.D. in Technology. Perm. (in Russ.)
 - Tagilov, M.A. (2008). Analiz ekologicheskoy stabilizatsii poligonov TBO [Analysis of ecological stabilization of landfills] *Proceedings of the 5th International Scientific conf. "Collaboration to Solve the Waste Problem"*. Available at: <https://waste.ua/cooperation/2008/theses/tagilov.html#author> (Accessed 10 February 2020) (in Russ.)

15. *Sposib kompleksnoi utylizatsii tverdykh pobutovykh vidkhodiv [The way of complex recovery of municipal solid waste]*. Patent Ukr., no. 58436, 2011. (in Ukr.).
16. *Proekt Rehionalnogo planu upravlinnia vidkhodamy v Odeskii oblasti [Draft Regional Waste Management Plan in Odesa Oblast]* (2020). (in Ukr)
17. *Skhema sanitarnoho ochyshchennia m.Kyiv. Tom 3. Poi-asniuvalna zapyska. Tekhniko-ekonomichna chastyna pov-odzhennia z vidkhodamy [Kyiv Scheme of sanitary cleaning. Scheme of sanitary cleaning of Kyiv. Volume 3, Ex-planatory note Technical and economic part of Waste Management]*. (2012). Available at: <http://golos.kievcity.gov.ua/files/2014/6/19/TOM-3.pdf> (Accessed 25 April 2021) (in Ukr)
18. *Informatsionnye materialy. Obyemy, mesta razmeshcheni-ya I pererabotki otkhodov proizvodstva I potrebleniya na territorii Moskovskoy oblasti [Information materials. Vol-umes, locations and processing of production and con-sumption waste in the Moscow region]*. Available at: http://compcentr.ru/library/Othodi/subject_5.pdf (Accessed 25 April 2021) .

PECULIARITIES OF BIOGENIC ELEMENTS MIGRATION IN CASE OF COMPLEX UTILIZATION OF BIOORGANIC COMPONENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE

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

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, vks26@ua.fm
<http://orcid.org/0000-0003-3854-6693>*

Finding solutions to the problem of municipal solid waste management is impossible without involvement in the waste management system of the largest group of wastes – bioorganic waste, which form up to 60% of the municipal solid waste total mass. The aim of the article is to analyze the redistribution of biogenic elements subject to implementation of the Concept of solid municipal waste management by OSENU and subsequent utilization of bioorganic waste flow. Research methods include mass balance and equations of methane generation. The article presents the results of research on the biogenic elements migration in case of complex utilization of bioorganic component of municipal solid waste. The study shows that processing of easy-decomposed organic waste into a gaseous fermentation product and biomineral fertilizer allows full involvement of biogenic elements in natural cycles. The processed solid products present an additional source of organic matter and biogenic elements needed by soil. In the event of humus and nutrients shortage in soil the retrieved-from-waste fertilizer becomes an important secondary resource, containing up to 65% carbon and almost 100% nitrogen, phosphorus and potassium. The rest of carbon is released with biogas and is eventually involved in natural cycles. Burial of such waste results in localization of biogenic elements in a landfill's body and gradual release of carbon with the products of destruction (27% over 50 years). All this data indicate the need for efficient use of such waste resource potential which is possible in case of easy-decomposed organic waste separation at the beginning of the municipal solid waste life cycle. Combustion releases only carbon in the form of carbon dioxide, the rest remains in ash. However, complex utilization of easy-decomposed organic waste ensures complete return of biogenic elements to the environment. Reuse of secondary raw materials in the form of paper and textile waste minimizes involvement in economic turnover of carbon from natural sources.

Key words: biogenic elements, municipal solid waste, utilization, bioorganic waste.

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ БИООРГАНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

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

*Одесский государственный экологический университет
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, vks26@ua.fm
<http://orcid.org/0000-0003-3854-6693>*

Решение проблемы обращения с твердыми бытовыми отходами невозможно без привлечения в систему управления и обращения с отходами наибольшей группы отходов – биоорганических, которые формируют до 60% общей массы ТБО. Целью статьи является

анализ перераспределения биогенных элементов при внедрении Концепции обращения с твердыми муниципальными отходами ОГЭКУ и последующей утилизации потока биоорганических отходов. Методы исследования: массовый баланс, уравнения образования метана. В статье приведены результаты исследований миграции биогенных элементов при комплексной утилизации биоорганической составляющей твердых бытовых отходов. Показано, что переработка легко разлагаемых органических отходов в газообразный продукт ферментации и органоминеральное удобрение позволяет в полном объеме вовлечь биогенные элементы в природные циклы. Полученные твердые продукты являются дополнительным источником органических веществ и биогенных элементов, необходимых почвам. В условиях дефицита гумуса и биогенных элементов в почве такое удобрение, полученное из отходов, становится важным вторичным ресурсом, содержащим до 65% углерода и почти 100% азота, фосфора и калия. Остальная часть углерода высвобождается с биогазом и также, впоследствии, вовлекается в природные циклы. При захоронении таких отходов происходит локализация биогенных элементов в теле полигона и постепенное высвобождение углерода с продуктами деструкции (27% за 50 лет). Все это свидетельствует о необходимости эффективного использования ресурсного потенциала таких отходов, что возможно при условии выделения легко разлагаемых органических отходов в начале жизненного цикла твердых бытовых отходов. Сжигание высвобождает только углерод в виде углекислого газа, остальное остается в золе. А комплексная утилизация легко разлагаемых органических отходов позволяет полностью вернуть биогенные элементы в окружающую среду. Повторное использование вторичного сырья в виде бумажных и текстильных отходов минимизирует вовлечение в хозяйственное обращение углерода из природных источников.

Ключевые слова: биогенные элементы, твердые бытовые отходы, утилизация, биоорганические отходы.

*Подання до редакції : 01. 11. 2021
Надходження остаточної версії : 05. 11 . 2021
Публікація статті : 26. 11. 2021*