

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРАКТИК ПОВОДЖЕННЯ З ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ: ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД МЕНЕДЖМЕНТУ ІСНУЮЧИХ ЗВАЛИЩ

Ілляш О.Е., Ганошенко Г.В.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

пр. Першотравневий, 24, 36011, м. Полтава

iloks2504@gmail.com, vkb_gena@ukr.net

У статті здійснено комплексний аналіз сучасних європейських практик управління існуючими полігонами твердих побутових відходів (ТПВ) з урахуванням технічних, екологічних, соціальних та економічних аспектів. Окреслено ключові напрями поводження зі звалищами в країнах ЄС, зокрема: технічна рекультивация з дегазацією, впровадження технології «landfill mining» (вилучення корисних фракцій для повторного використання), використання поновлюваних джерел енергії та цифровий моніторинг полігонів. Вивчено приклади реалізації зазначених підходів у таких країнах, як Австрія, Франція, Литва, Нідерланди, Німеччина, Швеція та Чехія. Особливу увагу приділено впровадженню інноваційних технологій, включаючи сенсорні системи для моніторингу викидів, геоінформаційні платформи та цифрові паспорти полігонів. Проаналізовано економічні моделі управління, засновані на принципах державно-приватного партнерства, екологічного оподаткування та залучення місцевих громад до прийняття рішень. Здійснено SWOT-аналіз потенціалу впровадження цих підходів в Україні, виокремлено сильні сторони, ризики та можливості. Визначено базові кроки для адаптації: гармонізація національного законодавства з директивами ЄС, цифровізація контролю полігонів, формування системи підготовки кадрів, активізація громадської участі, розробка міжмуніципальних стратегій розвитку. Особливо підкреслюється важливість поєднання політичної волі, технічної спроможності та ефективних фінансових механізмів для досягнення сталого управління відходами. Отримані результати можуть бути використані при формуванні регіональних планів управління відходами, у програмах міжнародного співробітництва, при підготовці заявок на грантове фінансування, в процесі розробки державних політик, а також для побудови повноцінної циркулярної економіки в Україні.

Ключові слова: побутові відходи, звалище відходів, менеджмент відходів, закриття та рекультивация звалищ.

Analysis of Modern Practices in Municipal Waste Management: European Experience in Landfill Governance. Iliash O., Hanoshenko H.

This article presents a comprehensive analysis of modern European practices in the management of existing municipal solid waste (MSW) landfills, taking into account technical, environmental, social, and economic aspects. The study outlines key directions in landfill management across EU countries, including technical reclamation with degasification systems, the implementation of “landfill mining” technologies (extraction of recyclable and recoverable fractions), the use of renewable energy sources, and the integration of digital landfill monitoring. Practical examples from Austria, France, Lithuania, the Netherlands, Germany, Sweden, and the Czech Republic are examined. Particular attention is paid to the introduction of innovative technologies, including emission monitoring sensors, geographic information systems (GIS), and digital landfill passports. The article analyzes economic governance models based on public-private partnerships, environmental taxation, and active community involvement in decision-making. A detailed SWOT analysis of the potential for implementing these practices in Ukraine is conducted, identifying key strengths, risks, and opportunities. Core steps for adaptation are proposed: harmonization of national legislation with EU directives, digitalization of landfill oversight, the development of professional training systems, increased civic participation, and inter-municipal planning strategies. Emphasis is placed on the importance of combining political will, technical capacity, and effective financial mechanisms to achieve sustainable waste management. The research findings can be applied in the development of regional waste management plans, in international cooperation programs, for preparing applications for grant funding, in the formulation of public environmental policies, and in building a comprehensive circular economy framework in Ukraine. **Key words:** household waste, landfill, waste management, landfill closure and reclamation.

Постановка проблеми. Накопичення та неефективне управління твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні є однією з найбільш критичних екологічних проблем. Станом на 2025 рік понад 90% ТПВ в Україні видаляються на звалища, значна частина яких функціонує без належного екологічного контролю, дегазації, збору фільтрату чи моніторингу стану. Ці об'єкти становлять реальну небезпеку для довкілля та здоров'я населення. Також варто відзначити, що більшість існуючих звалищ вичерпали свій проєктний ресурс, не мають запроектованих рішень з рекультивациі, а також не інтегровані у жодну модель сталого управління. Попри те, що в країнах Європейського

Союзу рівень перероблення та повторного використання відходів зростає, в Україні досі домінує застаріла практика «захоронення без подальшого контролю», яка суперечить європейським екологічним стандартам і цільовим орієнтирам циркулярної економіки [1, 2].

У цьому контексті виникає необхідність:

- перегляду підходів до управління існуючими звалищами (полігонами);
- впровадження сучасних технологій закриття й рекультивациі звалищ, їх дегазації та моніторингу подальшого стану;
- оцінки потенціалу інтеграції європейського досвіду у вітчизняні практики.

Таким чином, сформульована проблема стосується не лише технічного зносу звалищ/полігонів, а й системної відсутності управлінських, правових і фінансових інструментів для їх безпечної експлуатації, закриття (консервації) або трансформації у частину екологічно безпечної інфраструктури.

Актуальність дослідження. Питання зростання обсягів утворення, накопичення побутових відходів та необхідність їх подальшого перероблення залишаються одними з найвагоміших екологічних проблем. За даними Європейського агентства з навколишнього середовища на 2023 рік у країнах ЄС щорічно утворювалося понад 220 млн. тонн ТПВ. Близько 25% відходів все ще захоронюються, попри зростання рівня перероблення [1]. В Україні ситуація ще складніша — понад 90% ТПВ потрапляє на звалища, значна частина з яких не відповідає екологічним вимогам. Ці об'єкти часто становлять загрозу для підземних вод, ґрунтів і повітряного середовища, особливо у регіонах з високим рівнем урбанізації. Станом на зараз більшість звалищ функціонують за застарілим принципом «захоронення без подальшого управління», тобто вони не оснащені системами дегазації, збору фільтрату та моніторингу. У той же час країни Європейського Союзу демонструють ефективні рішення, які ґрунтуються на технологічній модернізації, нормативному контролі та соціальній відповідальності [2].

Метою цієї роботи є аналіз сучасних європейських практик менеджменту існуючих полігонів/звалищ твердих побутових відходів (ТПВ) та можливостей адаптації найкращих з них в Україні.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження авторів напряму пов'язане з актуальними завданнями як наукової екології, так і практики управління відходами в умовах трансформації українського екологічного законодавства та його адаптації до стандартів Європейського Союзу. Напрямок даної роботи узгоджений із «Національним планом управління відходами до 2033 року» (затвердженим Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27.12.2024 р. № 1353-р), а саме, робота спрямована на розвиток й реалізацію «заходів з очищення історичних місць розміщення відходів» на території регіонів України.

Відповідно у даній роботі вперше була здійснена систематизація європейських підходів до «landfill mining» та аналіз можливостей їх адаптації в українських реаліях. Авторами надані рекомендації щодо розвитку системи менеджменту звалищ побутових відходів в Україні, які можуть стати складовою частиною регіональних стратегій та програм міжмуніципального партнерства. Таким чином, авторський доробок відповідає сучасним пріоритетам державної екологічної політики, а також орієнтований на виконання зобов'язання України щодо реалізації реформ в сфері управління відходами та ресурсами.

Викладення основного матеріалу.

Європейський Союз розробив багаторівневу систему нормативного регулювання у сфері поводження з відходами, що базується як на обов'язкових для виконання директивах, так і на стратегічних ініціативах. Одним із головних документів є Директива 1999/31/ЄС про захоронення відходів [3], яка визначає вимоги до проектування, експлуатації та закриття полігонів. Її основне положення — поетапне зниження частки біорозкладних відходів, що потрапляють на звалища, з метою зменшення викидів метану та фільтрату. Крім цього, Директива 2008/98/ЄС «Про відходи» [4] формалізує ієрархію поводження з ними: від запобігання утворенню — до переробки та утилізації, і лише в крайньому випадку — захоронення. У 2020 році ЄС прийняв нову редакцію Плану дій з циркулярної економіки (Circular Economy Action Plan) [5], який передбачає посилення ролі переробки, повторного використання матеріалів та обмеження створення нових полігонів/звалищ. Варто також відзначити роль Європейського зеленого курсу (Green Deal), що охоплює всі аспекти екологічної політики ЄС, у тому числі сферу відходів. У цьому контексті полігони/звалища не лише не розглядаються як прийнятна довгострокова стратегія, але й стають об'єктами ревізії та модернізації. Наприклад, програми технічної підтримки від ЄС передбачають фінансування на модернізацію старих звалищ, якщо країна виконує вимоги щодо підготовки стратегічної документації та забезпечує моніторинг викидів парникових газів. У країнах-членах ЄС створені національні плани управління відходами, які є обов'язковими для виконання і переглядаються кожні 5–6 років. Наприклад, у Німеччині план 2020–2030 рр. містить розділ щодо поступового закриття непридатних полігонів, розробку технологій дегазації та обов'язкову цифрову паспортизацію полігонів. У Франції всі діючі звалища проходять періодичну сертифікацію екологічної безпеки відповідно до європейських індикаторів. Таким чином, нормативно-правове регулювання поводження з ТПВ у Європейському Союзі носить інтегрований характер, який охоплює технічні стандарти, екологічні вимоги та інституційні механізми. Цей досвід є надзвичайно цінним для України, де ще лише формується культура сталого управління відходами [6].

Існуючі на сьогодні в країнах Європейського Союзу підходи до управління полігонами відходів умовно можна поділити на три групи:

- рекультивация та технічна стабілізація;
- практика «landfill mining» та повторне використання матеріалів;
- функціональна (енергетична) модернізація полігонів.

Усі три напрямки реалізуються як в межах державних програм, так і за підтримки приватного сектору, з активним залученням муніципалітетів.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика систем рекультивації в країнах ЄС

Країна	Тип рекультивації	Система дегазації	Контроль фільтрату	Інтеграція ВДЕ
Австрія	Технічна + біологічна	Активна	Мембранна	Сонячні панелі
Литва	Суха рекультивація	Пасивна	Гравітаційна	Відсутня
Франція	Комбінована	Активна	Комбінована	Біогаз
Німеччина	Мембрана + газова	Гібридна	Біореактор	Сонце + вітер
Нідерланди	Багатошарова	Пасивна	Геотехнічна	Біогаз
Італія	Ґрунтова з біофільтрацією	Активна	Механічна фільтрація	Відсутня
Іспанія	Комбінована з озелененням	Пасивна	Водозбірні резервуари	Сонячні панелі
Швеція	Торф'яна + геосинтетика	Активна	Геотекстильна	Біогаз

1. Рекультивація та технічна стабілізація полігонів

Рекультивація — це етап припинення експлуатації (закриття) полігону/звалища, який включає формування ізоляційного шару, установку систем дегазації, дренажу, та відновлення рослинного покриву. Наприклад, у Австрії на полігоні Rautenweg (Відень) було здійснено повну герметизацію верхньої поверхні за допомогою геомембран, змонтовано активну систему збору метану і встановлено сонячні панелі [7]. У Франції застосовують двошарову систему: технічна рекультивація поєднується з озелененням і створенням зон рекреації. У Литві впроваджено систему «сухої рекультивації», коли полігони стабілізуються без подачі додаткової вологи, що знижує утворення фільтрату [8]. Порівняльна характеристика відомих систем рекультивації в країнах ЄС наведена у таблиці 1.

2. Вилучення ресурсів (landfill mining) та повторне використання матеріалів

Усе ширше в країнах ЄС набуває популярності концепція «landfill mining» — вибіркової розробки старих полігонів з метою вилучення фракцій, придатних для перероблення або енергетичної утилізації. У Бельгії (проект RAWFILL) та Нідерландах реалізуються ініціативи з оцінки економічної доцільності таких операцій за допомогою георадарів, пробовідбору та тривимірного моделювання внутрішньої структури звалищ [9]. Це дозволяє не тільки зменшити обсяг накопичених відходів, але й забезпечити рециклінг ресурсів та повернення землі у господарський обіг.

3. Системи дегазації та енергетичне використання метану

На полігонах Чехії, Польщі, Нідерландів активно функціонують системи дегазації, які дозволяють зменшити викиди метану — одного з найпотужніших парникових газів. Наприклад, у Чехії у 2023 році було зібрано понад 285 млн м³ метану, що еквівалентно зниженню викидів CO₂ приблизно на 5 млн тон [10]. У Польщі біогазові станції використовують зібраний метан для виробництва теплової та електричної енергії. У Нідерландах розроблено інноваційні біофільтри, які додатково очищують газові потоки

перед подачею в генератори. Обсяги уловленого метану (млн м³), що утворюється на полігонах захоплення побутових відходів у країнах ЄС у період 2020-2023 рр. показано на рисунку 1.

Таким чином, сучасні підходи в ЄС демонструють поступ від «пасивного» зберігання відходів до активного управління полігонами як інфраструктурними об'єктами з енергетичним і ресурсним потенціалом [11].

Іншим напрямом, що активно розвивається у країнах Європейського Союзу є сучасне управління полігонами, що все більше орієнтоване на впровадження цифрових технологій, які забезпечують ефективний, оперативний та прозорий контроль за станом полігонів/звалищ.

Цифрові технології та сучасні методи моніторингу полігонів/звалищ відходів дозволяють мінімізувати ризики аварій, скоротити вплив на довкілля та підвищити економічну ефективність експлуатації полігонів. У Німеччині та Швеції використовуються сенсорні системи, інтегровані в інфраструктуру полігонів. Вони включають датчики температури, вологості, рівня фільтрату, концентрації метану та вуглекислого газу. Дані передаються за допомогою LoRaWAN або NB-IoT-протоколів, що дозволяє здійснювати постійний дистанційний контроль [12-13].

У Швеції інформація інтегрується в єдину платформу екологічного моніторингу, яка дозволяє автоматично формувати звіти для регуляторів. У Фінляндії й Італії активно впроваджуються геоінформаційні системи (ГІС), що дозволяють створювати цифрові карти полігонів/звалищ, фіксувати дані щодо рівня дегазації, динаміки утворення фільтрату та температурних коливань. Це дає змогу виявляти потенційно небезпечні ділянки та оперативно вживати заходів. У деяких регіонах застосовуються супутникові дані для контролю деформацій поверхні закритих звалищ. У Нідерландах і Німеччині запроваджуються цифрові паспорти полігонів/звалищ, які містять історію експлуатації, технічні характеристики, дані моніторингу та плани з рекультивації. Такі інструменти підвищують прозорість діяльності операторів полігонів та сприяють ефективному пла-

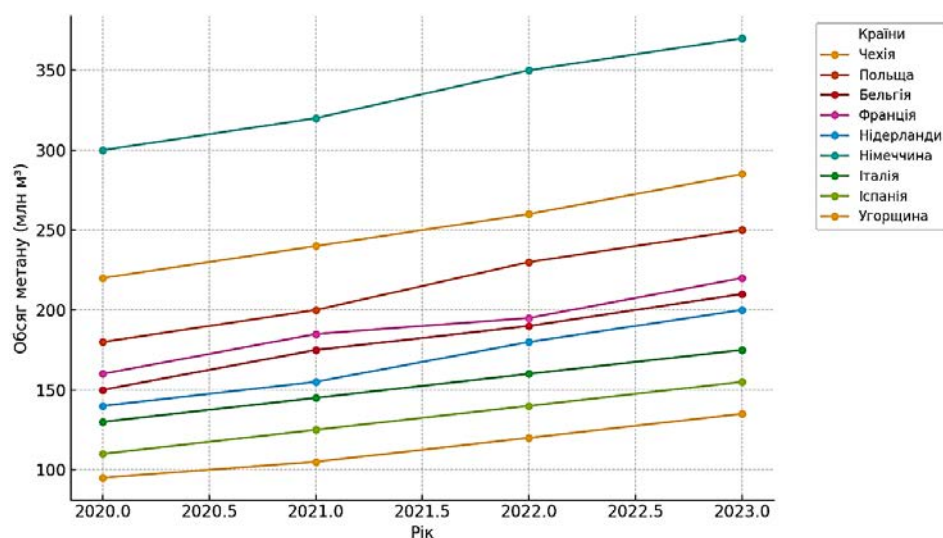


Рис. 1. Обсяг зібраного метану з полігонів (млн м³) у 2020–2023 рр.

Таблиця 2

Приклади цифрового моніторингу полігонів у країнах ЄС

Країна	Сенсори температури	Контроль газу	Моніторинг фільтрату	Передача даних	Інтеграція в GIS
Німеччина	Так	CH ₄ , CO ₂	Онлайн	LoRaWAN	Так
Швеція	Так	CH ₄	Періодичний	NB-IoT	Так
Італія	Так	CH ₄ , H ₂ S	Онлайн	LTE	Ні
Франція	Так	CH ₄ , CO ₂	Постійний	Wi-Fi	Так
Іспанія	Так	CH ₄	Періодичний	NB-IoT	Так
Нідерланди	Так	CH ₄ , CO ₂	Онлайн	5G	Так
Фінляндія	Так	CH ₄ , CO ₂	Онлайн	LoRaWAN	Так
Австрія	Так	CH ₄ , CO ₂	Періодичний	LTE	Так

нуванню подальших дій. Приклади базових параметрів цифрового моніторингу полігонів відходів у країнах ЄС наведено у таблиці 2.

Таким чином, цифровізація управління полігонами в Європі є не лише трендом, а й реальним інструментом підвищення екологічної безпеки та ефективності у сфері управління відходами. Для України це відкриває широкі перспективи у разі належного фінансування, підготовки кадрів та розвитку нормативної бази.

Управління існуючими полігонами/звалищами в Європейському Союзі не обмежується технічними чи екологічними аспектами. Важливою складовою є економічна рентабельність та соціальна інтеграція процесів рекультивації звалищ. Ключовими джерелами фінансування рекультивації та модернізації звалищ у ЄС є механізми державно-приватного партнерства (PPP), кошти європейських фондів, а також система «забруднювач платить» (polluter pays principle). Наприклад, у Фінляндії більшість коштів надходить з муніципальних бюджетів, які акумулюють прибуток від роздільного збору й вторинної переробки [14]. У Німеччині приватні оператори звалищ зобов'язані формувати резерви на рекульти-

вацію ще на етапі отримання ліцензії. Також активно застосовується система еко-податків. У Франції власники полігонів щорічно сплачують екологічний збір залежно від обсягів і складу відходів, а частина надходжень спрямовується на екологічні ініціативи у місцевих громадах. У Швеції діє система «зеленої премії»: підприємства, які забезпечують високий рівень енергоефективності та зниження викидів, отримують субсидії. Важливим аспектом є залучення місцевих громад до процесів управління. У Данії та Бельгії на базі рекультивованих полігонів створюються рекреаційні зони, парки, навчальні екологічні центри. У Польщі муніципалітети організовують публічні консультації щодо планів перетворення звалищ, що підвищує рівень довіри до екологічних ініціатив [15-17].

Крім того, на багатьох полігонах/звалищах у країнах ЄС реалізуються програми соціальної відповідальності бізнесу (CSR), що передбачають підтримку локальних ініціатив: освітніх кампаній, шкільних програм зі сталого розвитку, конкурсів на екопроекти серед молоді тощо. Інвестиції у модернізацію полігонів/звалищ окуповуються за рахунок генерації електроенергії, повторного використання

фракцій і зменшення витрат на ліквідацію наслідків забруднення [18]. Наприклад, у Чехії звалища, обладнані біогазовими генераторами, виробляють щороку до 15 МВт електроенергії, яку реалізують у локальні мережі. Це дозволяє не лише зменшити викиди парникових газів, а й створити нові робочі місця у сфері зеленої енергетики.

Враховуючи наявний досвід країн ЄС з управління полігонами/звалищами відходів та вкрай критичний стан звалищ твердих побутових відходів в Україні (понад 6000 звалищ, з яких лише близько 10% відповідають елементарним екологічним вимогам), адаптація європейського досвіду є не лише бажаною, а й необхідною умовою для переходу до стійкої моделі управління відходами.

Україна має певні передумови для адаптації європейських практик. До сильних сторін належать:

- наявність пілотних проєктів з рекультивациі (наприклад, у Львові, Житомирі);
- підтримка з боку міжнародних організацій (ЄБРР, GIZ, ПРООН);
- зростаюча суспільна увага до екологічної тематики.

Водночас існують і суттєві бар'єри:

- незадовільні темпи оновлення законодавчо-нормативної бази, яка лише частково відповідає сучасним європейським стандартам;
- брак технічних кадрів, здатних реалізовувати складні проєкти;
- відсутність зовнішніх інвестицій під час воєнного стану в країні;
- обмежене фінансування на рівні громад;
- ризики корупції при розподілі екологічних субвенцій;
- недовіра громадськості до інфраструктурних реформ.

Враховуючи проаналізований європейський досвід, на нашу думку, базовими кроками для розвитку системи менеджменту звалищ побутових відходів в Україні є наступні:

1. Оновлення законодавства у відповідності до вимог Директив ЄС (1999/31/ЄС, 2008/98/ЄС) та на

його основі створення принципів формування системи менеджменту полігонами відходів.

2. Запровадження цифрового моніторингу полігонів із використанням IoT-сенсорів.

3. Залучення громад до контролю та ухвалення рішень, зокрема через обов'язкові громадські слухання.

4. Інтеграція «landfill mining» у регіональні та місцеві плани управління відходами.

5. Підвищення кваліфікації персоналу операторів полігонів та муніципальних управлінь через профільні курси/тренінги.

Таким чином, за належної стратегії та координації, Україна здатна імплементувати найкращі практики управління існуючими полігонами побутових відходів, перетворивши їх з джерел ризику на елементи циркулярної економіки.

Наукова новизна статті полягає в систематизації сучасних практик ЄС щодо управління полігонами/звалищами відходів, проведення їх порівняння із застосуванням методу SWOT-аналізу, виділення базових кроків для розвитку системи управління звалищами відходів в Україні.

Головні висновки. Аналіз європейського досвіду поводження з побутовими відходами та менеджменту існуючих звалищ показує, що сучасна політика ЄС спрямована не лише на мінімізацію кількості відходів, а й на ефективне управління вже існуючими полігонами/звалищами.

Країни Європейського Союзу демонструють комплексний підхід: від технічної модернізації до цифрової трансформації, від енергетичного використання до соціальної адаптації звалищ відходів як частини міської екосистеми.

Україна, незважаючи на низку викликів, має реальні передумови для імплементації європейських підходів щодо менеджменту звалищ побутових відходів. Поєднання політичної волі, фінансової підтримки міжнародних інституцій та готовності громад до змін може забезпечити ефективну трансформацію системи управління побутовими відходами. Адаптація найкращих практик ЄС дозволить

Таблиця 3

Деталізований SWOT-аналіз впровадження європейських практик управління полігонами ТПВ в Україні

Сильні сторони	Можливості
Наявність пілотних проєктів у великих містах (Львів, Київ, Харків). Міжнародна підтримка (ЄБРР, GIZ, ПРООН). Розвинене законодавство щодо оцінки впливу на довкілля. Активне громадянське суспільство в екологічній сфері.	Залучення коштів ЄС через програми Horizon та Green Deal. Інтеграція landfill mining у плани місцевого розвитку. Освітні ініціативи для формування фахівців нового покоління. Партнерство з приватними операторами полігонів.
Слабкі сторони	Загрози
Фрагментарна інфраструктура полігонів. Брак кваліфікованих кадрів для експлуатації цифрових систем. Недостатня прозорість у розподілі бюджетів. Відсутність єдиної національної стратегії управління та цифровізації полігонів.	Політична нестабільність і військові ризики. Низький рівень довіри до муніципальної влади. Застаріла технічна база багатьох полігонів або їх повна відсутність. Імовірність недофінансування ключових реформ.

не лише підвищити рівень екологічної безпеки полігонів/звалищ побутових відходів, а й залучити нові інвестиції, створити робочі місця, використати потенційний ресурс побутових відходів та дозволить припинити розглядати звалища як соціально-екологічну проблему.

Перспективи використання результатів дослідження.

Автори даної роботи прагнуть зробити внесок в реалізацію проаналізованих європейських підходів в Україні. Здійснена систематизація відомих практик та запропоновані в роботі базові кроки для розвитку системи менеджменту звалищ побутових відходів

можуть стати складовими елементами місцевих планів управління відходами та набути практичної реалізації на рівні місцевих органів влади, муніципалітетів та екологічних департаментів при прийнятті рішень щодо реформування полігонів/звалищ ТПВ. Представлений у статті матеріал має прикладне значення для підготовки регіональних стратегій, для участі в європейських грантових програмах (Horizon Europe, Green Deal), для створення програм міжмуниципального співробітництва та державно-приватного партнерства в сфері відходів, що буде сприяти успішній інтеграції України в європейську систему екологічного управління.

Література

1. ISPRA. Report on Municipal Waste 2022. Rome: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. 2023. ISBN: 978-88-448-1152-5. URL: <https://www.isprambiente.gov.it/en/publications/reports/municipal-waste-report-edition-2022> (дата звернення: 23.05.2025).
2. Iliash O., Holik Y., Allesch A., Chepurko Y., Serha T. Analysis of studies on the morphological composition of domestic waste in Ukraine. *Environmental Problems*. 2023. Vol. 8(4). P. 241–246. DOI: 10.23939/ep2023.04.241.
3. Directive 1999/31/EC on the landfill of waste. Official Journal of the European Communities. 1999.
4. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste. Official Journal of the European Communities. 2008.
5. European Commission. A new Circular Economy Action Plan. Brussels. 2020.
6. European Environment Agency. State of waste management in Europe. 2021.
7. Stadt Wien. Deponie Rautenweg – Umweltschutzbericht. 2022.
8. Lithuanian Ministry of Environment. National landfill strategy. 2023. URL: <https://am.lrv.lt/en/> (дата звернення: 22.05.2025).
9. RAWFILL project report. Interreg Europe. 2021. URL: <https://www.interregeurope.eu/rawfill> (дата звернення: 22.05.2025).
10. Jones P., et al. Landfill mining: Innovations and perspectives. *Waste Management*. 2021. Vol. 119. P. 129–137. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.09.012.
11. ISWA. Landfill Management Best Practices. 2023. URL: <https://www.iswa.org/landfill-management> (дата звернення: 22.05.2025).
12. Afvalzorg Group. Methane capture results and innovations report. 2021. URL: <https://www.afvalzorg.nl/en/> (дата звернення: 22.05.2025).
13. Müller H., et al. Smart Landfill Monitoring Systems in Germany. *Journal of Environmental Monitoring*. 2022. Vol. 18(3). P. 45–56. DOI: 10.1039/C2EM30523G.
14. Finnish Environment Institute. Municipal solid waste strategy and landfill adaptation. 2020. URL: <https://www.syke.fi/en-US> (дата звернення: 22.05.2025).
15. Polish Environmental Agency. Annual methane capture report. 2022. URL: <https://www.gov.pl/web/environment> (дата звернення: 22.05.2025).
16. Italian Green Cities Network. Landfill to Landscape conversion strategies. 2022. URL: <https://greencitiesnetwork.it> (дата звернення: 22.05.2025).
17. UNEP. Global Waste Management Outlook Update. 2022. URL: <https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook-2022-update> (дата звернення: 22.05.2025).
18. Ellen MacArthur Foundation. Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change. 2021. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture> (дата звернення: 22.05.2025).