

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри екології
агросфери та екологічного контролю
_____ Олена НАУМОВСЬКА
(підпис)
« _____ » _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему «Екологічне обґрунтування технологій переробки та утилізації
відходів»
Спеціальність 101 Екологія

Гарант освітньої програми

Доктор педагогічних наук,
професор кафедри
загальної екології,
радіобіології та безпеки
життєдіяльності

_____ Володимир БОГОЛЮБОВ
(підпис)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Кандидат
сільськогосподарських
наук, доцент
кафедри екології агросфери
та екологічного контролю,
старший науковий співробітник
Виконав

_____ Олена НАУМОВСЬКА
(підпис)
_____ Ілля КАТРУК
(підпис)

Київ - 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри екології агросфери
та екологічного контролю

_____ Олена НАУМОВСЬКА

(підпис)

« ____ » _____ 2025 р

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

_____ Катруку Іллі Олександровичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____ 101 «Екологія» _____

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Екологічне обґрунтування технологій переробки та утилізації відходів» затверджена наказом ректора НУБіП України від “29” жовтня 2024 р. №1939 «С».

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 20 травня 2025 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: законодавчі акти, навчальна та наукова література, статистичні матеріали, звіти та оперативні матеріали, публікації наукових установ, результати власних досліджень, іноземні статті, наукові дослідження

Перелік питань, які потрібно розробити: 1) історія поводження людства з відходами; 2) вплив відходів на довкілля за видами та класами небезпеки; 3) методи утилізації та переробки відходів залежно від виду та класу небезпеки

Дата видачі завдання 1 вересня 2024 року.

Керівник бакалаврської _____ Олена НАУМОВСЬКА

кваліфікаційної роботи (підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ Ілля Катрук

(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ.....	7
1.1 Світовий досвід становлення систем управління відходами.....	7
1.2 Історія управління відходами на українських землях.....	17
РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ.....	23
2.1 Класифікація відходів за видами та за станом.....	23
2.2 Класифікація відходів за класами небезпеки.....	32
2.3 Окремі види забруднення навколишнього середовища.....	37
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ.....	43
3.1 Класифікація технологій за видами відходів.....	43
3.2 Переробка та утилізація відходів за класами небезпеки.....	50
3.3 Роль та можливості населення у переробці та утилізації відходів.....	53
РОЗДІЛ 4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА МЕТОДИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ.....	56
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 74 сторінках, містить 4 розділи, 11 рисунків, 47 використаних джерел (23 з яких іноземною мовою).

Кваліфікаційна бакалаврська робота містить результати проведених досліджень та аналізу різних джерел, що містять в собі інформацію про різноманітні види відходів, розділені за походженням (видами) та за класами небезпеки, їх екологічна шкода, а також методи та технології які використовуються для боротьби з цими забруднювачами довкілля.

Аналіз інформації підтвердив наявність значущої проблеми в деяких країнах з відходами, їхній негативний вплив на навколишнє середовище, а також важкодоступність деяких видів утилізації відходів, адже також було проведено аналіз великої кількості методів переробки відповідно до кожного виду відходів та класу небезпеки.

Ключові слова: ПЕРЕРОБКА, РЕЦИКЛІНГ (переробка), ВІДХОДИ, ЗАБРУДНЕННЯ

ВСТУП

Актуальність теми: У сучасних умовах екологічна безпека є однією з ключових складових сталого розвитку суспільства. Однією з найгостріших екологічних проблем сьогодення є зростання обсягів утворення відходів та неефективне управління ними. Щороку в Україні та у світі загалом утворюються мільйони тон побутових, промислових, будівельних, медичних і небезпечних відходів. Значна частина цих матеріалів не підлягає повторному використанню, осідає на полігонах або вивозиться на несанкціоновані сміттєзвалища, що створює реальну загрозу для навколишнього природного середовища, здоров'я людей і біорізноманіття. У структурі загального антропогенного навантаження на довкілля саме відходи посідають провідне місце через свій масштаб, тривалість розкладу, здатність до забруднення ґрунтів, водних об'єктів та атмосфери, а також до утворення токсичних сполук. Особливу тривогу викликає поводження з небезпечними та складно утилізованими відходами, серед яких — полімери, електронні компоненти, залишки нафтопродуктів, медичні засоби тощо. Водночас упродовж останніх десятиліть все більше країн робить акцент на впровадженні сучасних технологій переробки та утилізації відходів. Сформувалася концепція циркулярної (замкнутої) економіки, яка базується на принципах повторного використання ресурсів, зменшення обсягів відходів та зниження екологічного сліду виробництва. У центрі цієї концепції - екологічно обґрунтовані, технологічно ефективні та економічно доцільні методи оброблення відходів. Україна, як держава, що прагне до європейської інтеграції, активно розробляє та впроваджує нормативно-правову базу у сфері управління відходами відповідно до директив Європейського Союзу. Проте практична реалізація цих документів залишається проблематичною через низку чинників: недосконалу інфраструктуру, відсутність системного підходу, брак інвестицій та екологічної свідомості населення.

Мета роботи: вивчення шкоди відходів для навколишнього середовища та методів переробки та утилізації цих відходів

Завдання дослідження:

- історія поводження людства з відходами;
- вплив відходів на довкілля за видами та класами небезпеки;
- методи утилізації та переробки відходів залежно від виду та класу небезпеки

Об'єкт дослідження: система поводження з відходами.

Предмет дослідження екологічне обґрунтування сучасних технологій їх переробки та утилізації. Актуальність обраної теми зумовлена як глобальними екологічними викликами, так і необхідністю розробки та впровадження ефективної політики управління відходами в Україні. Дослідження має на меті не лише аналіз чинних технологій, а й визначення їхньої доцільності в контексті збереження довкілля, ресурсозбереження та переходу до принципів сталого розвитку.

Методи дослідження: аналіз наукових статей, літератури, різноманітних підручників по темі відходів та поводження з ними, в тому числі аналіз іноземних видань з цієї теми або сумісної.

РОЗДІЛ 1. ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

1.1 Світовий досвід становлення систем управління відходами

Відколи зародилися перші цивілізації, людство зіткнулося з неминучою проблемою – утворенням відходів. Ця проблема супроводжує будь-яку діяльність, від щоденних потреб до великих виробничих процесів. Але підхід до відходів, способи їхньої переробки, та суспільне розуміння їхнього впливу на довкілля зазнавали докорінних змін протягом тисячоліть. Історія подолання проблеми відходів - це не просто опис технічних рішень, а й віддзеркалення розвитку людської культури, технологічного поступу, зростання міст та усвідомлення екологічної відповідальності. Дослідження цього історичного шляху має вирішальне значення для усвідомлення викликів сучасності та розробки ефективних стратегій сталого управління відходами в майбутньому.

Історія поводження з відходами бере свій початок з давніх давен, хоча обсяги цієї проблеми тоді не йдуть ні в яке порівняння з сьогоденням. У прадавніх суспільствах, що існували полюванням, збиральництвом та зародковим землеробством, переважна більшість відходів були органічними та розкладалися природним шляхом за короткий термін. Відходи повсякденного життя - кістки тварин, залишки їжі, дерев'яні вироби - просто відкидалися від місця проживання або закопувалися у землю. Цей метод був ефективним за низької густоти населення та великих територій, де природа мала змогу самотійно очищатися. З плином часу, коли землеробство удосконалювалося, формуючи осілий уклад життя, виникли перші постійні поселення, а згодом – великі міста. З цими змінами проблема утилізації відходів набула зовсім іншого, якісного виміру. Давні міста, що існували в родючих долинах великих річок, таких як Тигр і Євфрат, Ніл та Інд, зіткнулися з нагальною потребою утилізувати величезні обсяги сміття, які постійно збільшувалися. Розвиток ремесел, зокрема гончарства, металургії та текстилю, спричинив появу неорганічних відходів, таких як кераміка, металевий шлак та інші матеріали. На відміну від органічних

речовин, вони не розкладалися природним чином, накопичувалися, створюючи додаткові виклики для міського середовища. Яскравими прикладами ранніх та певною мірою прогресивних спроб розв'язати проблему відходів є досвід деяких стародавніх цивілізацій. Міста Індської цивілізації, зокрема Хараппа та Мохенджо-Даро (приблизно 2500–1900 рр. до н.е.), мали одні з найдосконаліших санітарних систем на той час. У будинках були туалети з продуманою конструкцією, з'єднані з розгалуженими каналізаційними системами, які ефективно відводили стічні води за межі міст. Щодо твердих відходів, існує припущення, що їх збирали та вивозили на спеціально відведені місця для сміття. Це свідчить про розуміння важливості гігієни та її впливу на здоров'я населення вже на ранніх етапах розвитку суспільства. Стародавній Рим також відзначався вражаючими інженерними досягненнями, зокрема акведуками (рис.1), що забезпечували місто чистою водою, та грандіозними каналізаційними системами, як-от знаменита Cloaca Maxima (рис.2). Спочатку вона осушувала болота, але згодом її розширили для відведення стічних вод та, частково, сміття в річку Тибр. Однак, попри ці досягнення, проблема сміття на вулицях Риму залишалася гострою. Відходи часто викидали безпосередньо на вулиці, що призводило до антисанітарії, поширення хвороб та неприємних запахів. Існували певні примітивні смітники та служби з вивезення сміття, але їхня ефективність була обмеженою, особливо в умовах постійного росту населення та відсутності централізованої системи управління відходами. У Стародавніх Афінах (приблизно V ст. до н.е.) було видано один з перших у світі законів, який забороняв викидати сміття на вулиці та вимагав його вивезення за межі міста. Це підтверджує раннє розуміння необхідності регулювання поводження з відходами та спроби впровадження таких правил на законодавчому рівні. Загалом, в давнину поводження з відходами зводилося до простих локальних методів – викидання, закопування або скидання у водойми. Основною рушійною силою для впровадження будь-яких систем, що стосувалися відходів, була не стільки екологічна свідомість, скільки гостра практична потреба боротьби з антисанітарією та епідеміями в умовах щільного проживання людей.



Рис.1 Приклад акведуку

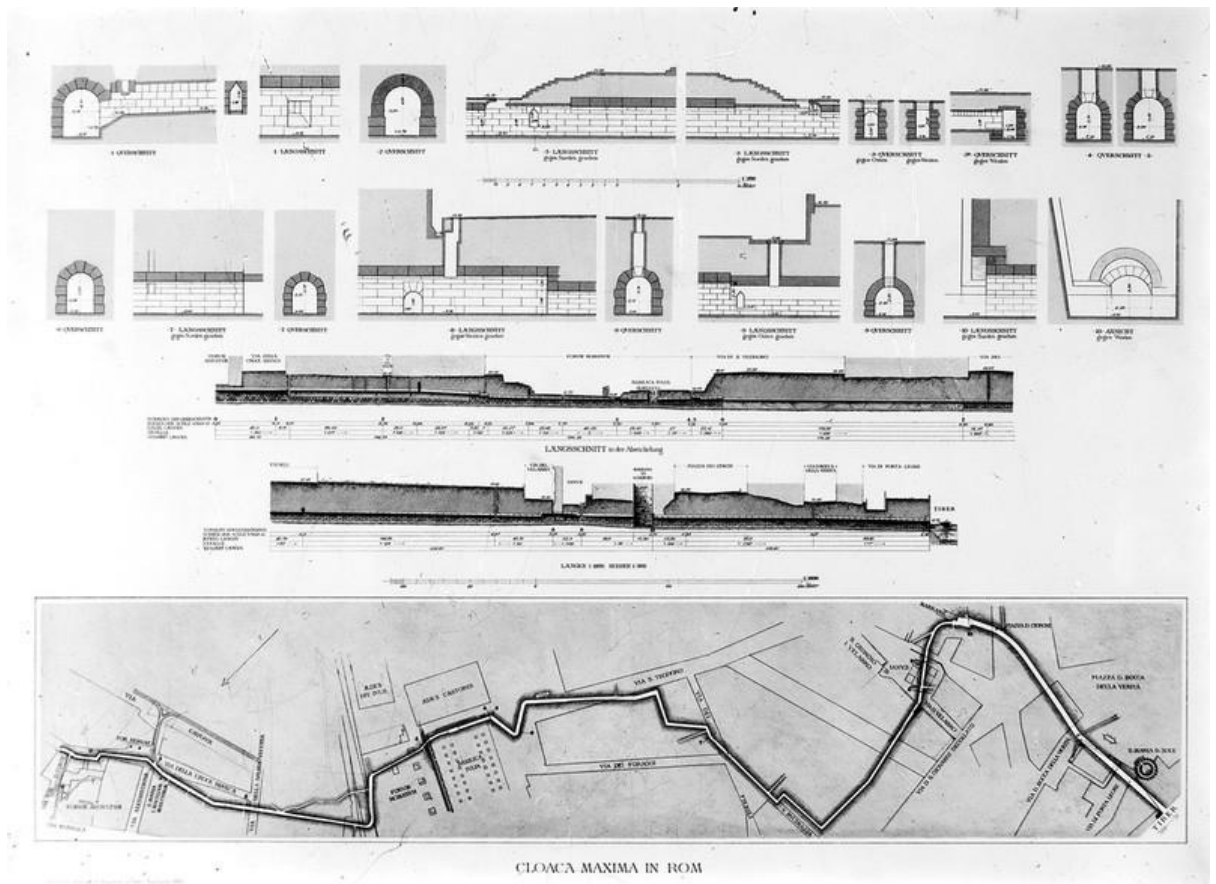


Рис. 2 Приклад великого стічного каналу в античному Римі

Період Середньовіччя, що тривав орієнтовно з V по XV століття, постає в очах багатьох як час певного занепаду в плані міської інфраструктури та санітарного стану в Європі, особливо на тлі античної доби з її передовими здобутками. З розпадом Римської імперії багато інженерних див, що забезпечували міста водою та відведенням нечистот, зокрема акведуки й каналізаційні системи, зіпсувалися або ж були цілеспрямовано знищені. Це мало наслідком серйозне, навіть катастрофічне погіршення гігієнічної обстановки в

містах, які, всупереч цьому, продовжували збільшуватися як у розмірах, так і в кількості населення. Вузькі й криві вулички середньовічних міст без винятку були завалені нечистотами, всіляким побутовим сміттям та продуктами життєдіяльності тварин, котрих часто утримували прямо в міських межах. Сміття, як правило, просто викидали з вікон будинків безпосередньо на вулицю, або ж скидали в найближчі річки та міські рови, що оточували укріплені поселення. Така практика призводила до жахливих антисанітарних умов, що ідеально сприяли інтенсивному розповсюдженню інфекційних хвороб та нищівних епідемій, зокрема чуми, відомої як "Чорна смерть", що пронеслася Європою в XIV столітті, забравши мільйони життів. Парадоксально, але навіть після таких жахливих уроків чуми, системних та справді ефективних рішень для боротьби з відходами в більшості середньовічних міст так і не було розроблено чи впроваджено. Попри цю загальну картину, деякі міські управи намагалися впроваджувати локальні та розрізнені заходи. Виходили окремі укази й розпорядження, що забороняли викидати сміття на вулиці, хоча рівень їхнього дотримання залишав бажати кращого. Іноді призначалися спеціальні особи, які відповідали за прибирання вулиць, але їхня ефективність була обмежена через величезні обсяги сміття та відсутність необхідної інфраструктури. У деяких великих містах, таких як Лондон, з'явилися перші примітивні "сміттєзбірники", які вивозили відходи на спеціальні території за межами міської забудови. Варто зазначити, що в сільській місцевості, де проживала основна маса населення, органічні відходи, зокрема гній та рослинні залишки, продовжували активно використовуватися як цінні добрива для полів або ж йшли на корм худобі, що відповідало принципам кругового обігу ресурсів, хоча й без екологічного усвідомлення цього терміну. Загалом, період Середньовіччя характеризувався практично повною відсутністю системного підходу до управління відходами, що спричиняло серйозні проблеми з громадською гігієною та здоров'ям населення, і лише пряма загроза нищівних епідемій спонукала владу вдаватися до деяких, хоча часто неефективних, заходів. [1-4]

Епоха Промислової революції, яка почалася з XVIII століття й тривала до початку XX століття, стала справжнім переломним моментом в історії формування та поводження з відходами. Масштабна індустріалізація, стрімкий розвиток фабричного виробництва та інтенсивна урбанізація призвели до безпрецедентного збільшення обсягів як побутових, так і промислових відходів. Міста, що перетворювалися на могутні промислові центри, відчували експоненціальне зростання кількості населення, а наявні примітивні та архаїчні системи збирання та утилізації відходів виявилися абсолютно нездатними впоратися з цим колосальним навантаженням. З'явилися зовсім нові види відходів, яких раніше не існувало в таких обсягах: величезні купи вугільної золи, шлаки від металургійних заводів, складні хімічні відходи від нових виробництв, а також гігантські обсяги різноманітного промислового сміття. Склад побутових відходів теж суттєво змінився: масове виробництво товарів широкого вжитку призвело до значного збільшення кількості тари, упаковки й іншого "неорганічного" сміття, що не розкладалося. Антисанітарні умови в містах досягли критичного рівня, що значно погіршило якість життя. Сміття, яке накопичувалося на вулицях, скрізь забруднювало джерела питної води та атмосферне повітря, що стало каталізатором поширення нищівних інфекційних захворювань, зокрема холери та тифу. Саме ці епідемії, які вражали широкі верстви населення без розбору, стали потужним поштовхом до усвідомлення масштабів проблеми та нагальної потреби її системного, а не локального, розв'язання. Саме в цей період почали з'являтися перші системні спроби модернізації систем поводження з відходами. У великих містах, таких як Лондон, Париж і Нью-Йорк, були організовані перші муніципальні служби збору сміття. Відходи почали збирати в спеціально відведені контейнери або ж вивозити з певних пунктів збору на звалища, розташовані за межами міської забудови. З кінця XIX століття з'явилися перші спроби термічної переробки відходів – почали будувати перші сміттєспалювальні заводи. Один із найперших таких заводів був запущений в Ноттінгемі, Велика Британія, у 1874 році. Основна ідея полягала в значному зменшенні обсягу сміття та знищенні патогенних

мікроорганізмів, які спричиняли хвороби. Однак, тогочасні технології спалювання були, на жаль, недосконалими, що призводило до значних викидів забруднюючих речовин в атмосферу, створюючи тим самим нові, не менш серйозні екологічні проблеми. Уряди та міські влади почали видавати законодавчі акти та постанови, що регулювали поводження з відходами, їхнє збирання та вивезення. Проте, наголос у цих регуляторних документах робився переважно на санітарно-гігієнічних аспектах, а не на комплексному екологічному впливі відходів.

XX століття ознаменувалося безпрецедентним економічним розквітом, стрімким технічним прогресом та, одночасно, формуванням так званого "суспільства споживання". Масове виробництво товарів широкого вжитку, постійна та швидка зміна асортименту, поява нових, часто синтетичних матеріалів (як-от полімери) та повсюдне впровадження концепції одноразового використання спричинили колосальне, стрімке зростання обсягів відходів. Це стосувалося не лише побутових, а й промислових відходів, що стали набагато складнішими за своїм хімічним складом, часто включаючи токсичні та надзвичайно небезпечні речовини. Проблема управління відходами перетворилася з локальної санітарної проблеми на глобальну екологічну кризу. Існуючі звалища переповнювалися, забруднювали ґрунт та підземні води, а неконтрольовані викиди з промислових підприємств та недосконалих сміттєспалювальних заводів значно погіршували якість повітря. У відповідь на ці надзвичайні виклики почали формуватися нові, більш комплексні підходи до управління відходами. Полігони для захоронення відходів стали розширюватися та модернізуватися, перетворюючись на більш організовані об'єкти, де відходи закопувалися шарами та ущільнювалися. Згодом з'явилися інноваційні технології для збирання біогазу, що утворюється в процесі розкладання органічних відходів на полігонах, та його використання для виробництва енергії, що стало кроком до відновлення ресурсів. В середині XX століття почали з'являтися перші масові програми з переробки, або рециклінгу, вторинної

сировини, як-от папір, скло та метал. Хоча ідея переробки не була абсолютно новою, її широкомасштабне впровадження було зумовлене як економічною доцільністю (зменшенням витрат на сировину), так і зростаючою екологічною свідомістю населення. Наприклад, у Сполучених Штатах Америки рух за переробку отримав значний імпульс у 1970-х роках, коли громадськість почала активно долучатися до сортування сміття. Важливим кроком стало також поступова поява та розвиток законодавства про охорону довкілля. У другій половині XX століття країни світу, особливо розвинені держави, почали активно розробляти та впроваджувати комплексне екологічне законодавство. Були створені спеціалізовані природоохоронні агенції, встановлені чіткі норми допустимих викидів та скидів забруднюючих речовин, а також розроблені суворі правила поводження з небезпечними відходами. З'явилася концепція "Від колиски до могили" (Cradle-to-Grave) (рис.3), яка передбачала розуміння та покладання відповідальності виробника за весь життєвий цикл продукту, від його створення до безпечної утилізації. Проблема відходів вийшла далеко за межі національних кордонів, що призвело до укладання перших міжнародних угод, як-от Базельська конвенція (1989 р.) про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх видаленням, що свідчило про глобалізацію екологічних проблем. Попри ці значні кроки, XX століття також стало свідком появи нових, надзвичайно серйозних екологічних загроз, таких як повсюдне забруднення мікропластиком, масове забруднення океанів та невирішена проблема накопичення ядерних відходів, що поставило перед людством ще складніші та комплексні завдання.

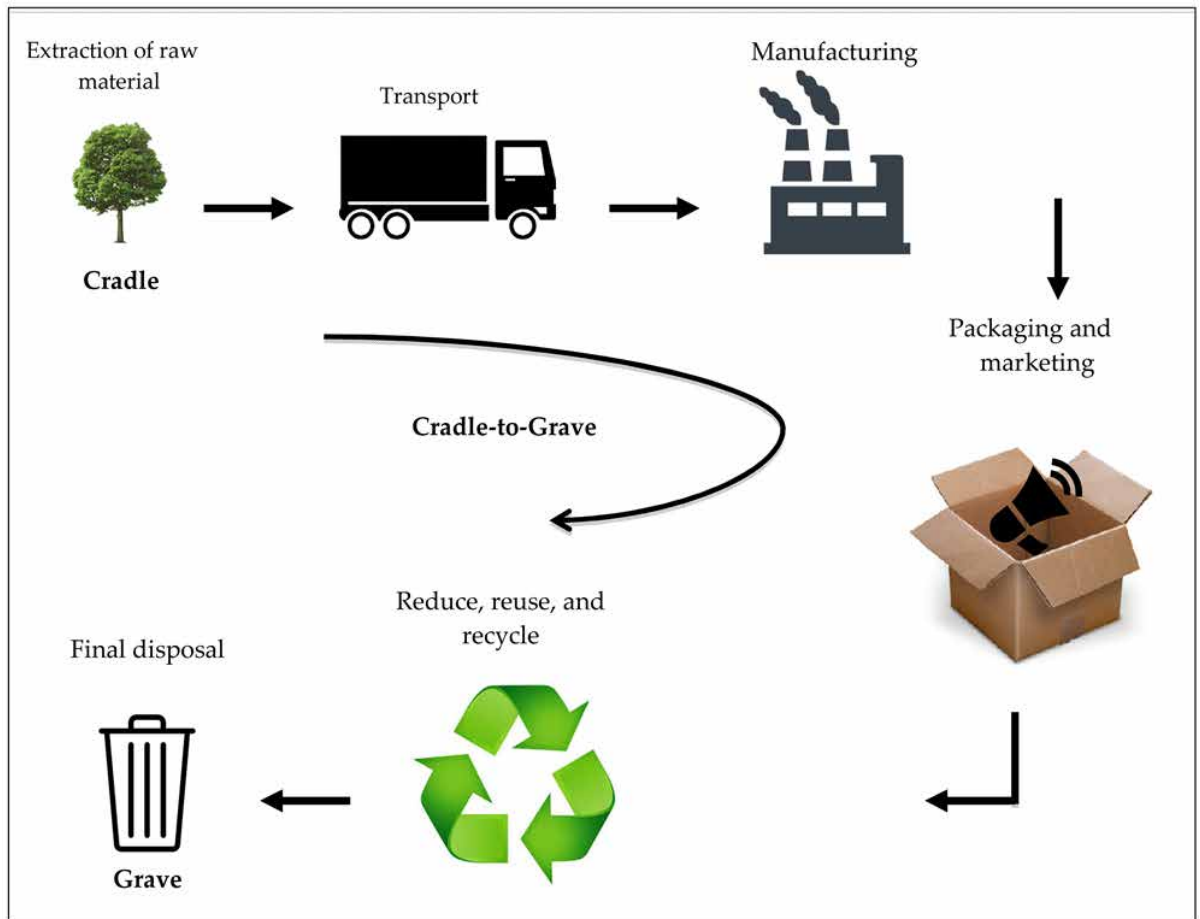


Рис.3 - приклад концепції "Від колиски до могили"[41]

XXI століття розпочалося з подальшого загострення екологічної кризи, що була спричинена безперервним збільшенням обсягів відходів, та з гострого усвідомлення нагальної потреби у радикальній зміні наявних підходів до управління ними. Традиційна "лінійна економіка" ("виробити – використати – викинути") виявилася цілковито неспроможною забезпечити сталий розвиток у довгостроковій перспективі, оскільки вона вичерпувала природні ресурси та створювала надмірні обсяги відходів. На зміну цій застарілій моделі прийшла інноваційна ідея циркулярної економіки, яка зараз є основним та найперспективнішим трендом у сучасному управлінні відходами. Основні принципи циркулярної економіки полягають у системному підході: зменшенні утворення відходів, де акцент робиться на запобіганні їх виникненню ще на етапі проєктування продукції, зменшенні споживання первинних ресурсів та максимально можливого збільшенні терміну служби товарів; повторному використанні, що заохочує багаторазове використання товарів та упаковки,

продовжуючи їхній життєвий цикл; переробці, що передбачає активний розвиток технологій переробки вторинної сировини та збільшення відсотка утилізації матеріалів; і, нарешті, відновленню енергії, що є крайнім заходом після вичерпання всіх можливостей переробки, і полягає у використанні відходів як джерела енергії (наприклад, сміттєспалювання з виробництвом теплової чи електричної енергії, анаеробне зброджування органічних відходів для отримання біогазу). Сучасні підходи до управління відходами характеризуються комплексністю та інноваційністю. Це включає впровадження інтегрованих систем управління відходами, які охоплюють усі етапи – від роздільного збору та сортування на рівні домогосподарств до переробки, компостування органічних відходів, виробництва енергії з відходів та безпечного захоронення лише невеликих залишків, які не підлягають подальшій утилізації. Розробляються та активно впроваджуються передові інноваційні технології переробки різноманітних видів відходів, зокрема хімічна переробка складних пластиків, методи піролізу та газифікації для отримання палива з відходів, а також удосконалюються технології безпечної утилізації небезпечних відходів, що мінімізують їхній вплив на довкілля. Паралельно з технологічним розвитком, запроваджуються нові законодавчі та економічні інструменти. Серед них – розширена відповідальність виробника (Extended Producer Responsibility – EPR), яка покладає на виробників відповідальність за управління продукцією після її споживання; запровадження податків на захоронення відходів для стимулювання їх переробки; надання субсидій для підприємств, що займаються переробкою вторинної сировини; а також розвиток системи "зелених" закупівель, що надає перевагу екологічно чистій продукції. Надзвичайно важливим аспектом є громадська участь та екологічна освіта, що спрямовані на підвищення рівня екологічної свідомості населення, залучення громадськості до активного роздільного збору сміття та формування відповідального споживання. Проблема відходів є глобальною, тому посилюється міжнародне співробітництво у сфері управління відходами, обміну досвідом та передовими технологіями, а також боротьба з незаконним транскордонним перевезенням відходів. Важливим

викликом XXI століття є розв'язання проблеми проблеми мікропластику – нової, але надзвичайно серйозної загрози для екосистем, що вимагає розробки нових підходів, включаючи заборону певних видів пластику та активний розвиток біорозкладних матеріалів. Незважаючи на значний прогрес та амбітні цілі, світ все ще стикається з величезними та багатограними викликами у сфері управління відходами, особливо у країнах, що розвиваються. Однак, весь історичний досвід свідчить про те, що людство здатне адаптуватися та знаходити ефективні рішення для найскладніших екологічних проблем, за умов наявності політичної волі, постійного технологічного прогресу та високого рівня екологічної свідомості громадськості. [5-8]

Історичний екскурс боротьби людства з відходами прозора ілюструє трансформацію проблеми: від простого позбавлення органічних решток у прадавні часи до складної, багатогранної екологічної кризи сучасності, що впливає на всі елементи довкілля. Зміна підходу до відходів віддзеркалює поступовий перехід від місцевих санітарних заходів до глобальних екологічних стратегій. Якщо в давнину головним було подолання антисанітарії та епідемій, то індустріальна революція, з її нестримним збільшенням обсягів і різновидів відходів, змусила соціум усвідомити екологічні наслідки. Двадцяте століття, ера масового споживання, загострило проблему до критичної точки, що зумовило формування екологічного законодавства та перші спроби переробки. Двадцять перше століття, з акцентом на циркулярній економіці, демонструє новий ступінь розуміння – відходи тепер сприймаються не як мотлох, а як можливий ресурс.

Отже, історія боротьби з відходами є не лише хронікою викликів, а й свідченням здатності людства пристосовуватися, його прагнення шукати й реалізовувати інноваційні рішення для забезпечення сталого майбутнього нашої планети. Цей історичний досвід є основою для подальших досліджень і розробки дієвих стратегій в галузі управління відходами.

1.2 Історія управління відходами на українських землях

Проблема сміття, як невід'ємна частина життя людини, була постійною супутницею розвитку суспільства на українських теренах з найдавніших часів.

Підходи до цих небажаних продуктів, способи їх утилізації, та, що особливо актуально, розуміння громадою їхнього негативного впливу на природу та здоров'я людини, зазнавали еволюції протягом століть. Історія боротьби зі сміттям в Україні – це не просто перелік технологічних та управлінських новацій; це також відображення соціальних, культурних, економічних та політичних перетворень, які відбувалися на наших землях, наслідків впливу імперських центрів та, у кінцевому підсумку, формування національної екологічної свідомості. Вивчення цього історичного процесу надзвичайно важливе для розуміння причин сучасних проблем у сфері управління відходами в Україні та для розробки ефективних стратегій сталого розвитку.

На початках розквіту суспільства на теренах сучасної України, **в часи Київської Русі та раннього Середньовіччя**, питання сміття мало передовсім природний характер. У маленьких поселеннях та укріпленнях, де домінував землеробський уклад життя, відходи життєдіяльності — органічні рештки їжі, дерев'яні вироби, кістки тварин — природним чином розпадалися, зливаючись з докільлям. Їх просто викидали за межі осель або на спеціально відведені "смітники", які археологи часто знаходять під час розкопок. Ці ями також могли слугувати джерелом органічних добрив для примітивного землеробства, що свідчить про своєрідний, хоч і не усвідомлений, кругообіг ресурсів. Міста Київської Русі, на зразок Києва, Чернігова, Переяслава, зводилися з оглядкою на рельєф та доступ до водних ресурсів, що певним чином полегшувало відведення нечистот, хоча централізованих систем каналізації, подібних до античних, тоді не було. Загалом, проблеми санітарії та поводження з відходами вирішувалися на місцевому рівні, а обсяги забруднення були незначними через невелику густоту населення та відсутність індустріального виробництва.

Ситуація почала змінюватися з розвитком міст та ремесл в **добу Середньовіччя та раннього Нового часу, зокрема у XIV-XVIII століттях**. Зростання таких міст, як Львів, Київ, Кам'янець-Подільський, а також активізація торгівлі та ремісничого виробництва зумовили збільшення обсягів як побутових, так і виробничих відходів. Відсутність належних систем санітарії, як і в інших

європейських містах того часу, призводила до того, що вулиці часто були заповнені сміттям та нечистотами. Це створювало антисанітарні умови, сприяло поширенню інфекційних хвороб, що періодично спалахували у вигляді епідемій. Міська влада видавала перші місцеві розпорядження, спрямовані на поліпшення санітарного стану, наприклад, забороняли викидати сміття на вулиці або вимагали його вивезення за міські стіни. Проте, ефективність цих заходів була обмеженою, оскільки не було централізованих служб та відповідної інфраструктури. Відходи просто вивозилися за місто, де утворювалися стихійні звалища, або скидалися у річки, що призводило до забруднення водою.

Справжній виклик для українських земель кинула **промислова революція та бурхлива індустріалізація у ХІХ – на початку ХХ століття**, особливо на сході та півдні країни. Розвиток вугледобувної, металургійної, хімічної та машинобудівної промисловості, прокладання залізниць і стрімкий зріст міст, таких як Катеринослав (Дніпро), Харків, Юзівка (Донецьк), Луганськ, спричинили колосальне збільшення обсягів промислових відходів: відвали порід, шлаки, стічні води з високим вмістом шкідливих речовин. Побутове сміття також множилося, адже населення концентрувалося у містах, а виробництво товарів широкого вжитку зростало. Заводи та фабрики випускали неочищені стоки напряму в річки та озера, а дим із фабричних труб забруднював повітря. Загроза епідемій холери й тифу в індустріальних центрах загострювалась, примушуючи владу до певних дій. У цей період починають з'являтися перші примітивні міські служби прибирання, перші сміттезбірники, відходи вивозять на міські звалища. Втім, системний підхід до управління відходами, ба більше, екологічна свідомість, були ще в зародковому стані. Головним завданням було бодай якось впоратися з потоком сміття, щоб уникнути спалахів хвороб. [9-11]

Радянський період (1922-1991 рр.) приніс в Україну централізоване планування, яке, попри заявлені цілі соціального розвитку, часто-густо ігнорувало екологічні наслідки. Масштабна індустріалізація, створення гігантських підприємств важкої промисловості, розвиток сільського господарства з використанням агрохімікатів – усе це призвело до

безпрецедентного накопичення промислових, сільськогосподарських та побутових відходів. Відходи сприймалися передусім як небажаний побічний продукт виробництва, а не як ресурс. Основним методом поводження з ними було захоронення на звалищах та полігонах, які частенько не відповідали екологічним нормам, або ж скидання у природні водойми без належного очищення. Промислові відходи нерідко накопичувалися на території підприємств у вигляді відвалів та шламонакопичувачів, що створювало локальні зони екологічного лиха. З одного боку, в СРСР, включно з УРСР, було створено певну систему збору вторинної сировини – макулатури, металолому, склотари. Це було обумовлено радше економічною вигодою (економія ресурсів) та централізованим плануванням, аніж екологічними міркуваннями. Проте ця система не охоплювала всіх видів відходів і не була настільки ефективною, щоб суттєво зменшити обсяги захоронення. Певні наукові розробки у сфері переробки та утилізації відходів також проводилися, але їх практичне впровадження нерідко було обмеженим. Законодавство у сфері охорони природи існувало, але його виконання досить часто ігнорувалося на догоду плановим показникам виробництва. Наслідки такої політики виявилися катастрофічними для довкілля України, що проявлялося у забрудненні річок, ґрунтів, повітря та формуванні численних зон екологічної напруги, особливо в промислово розвинених регіонах. Яскравим, хоч і трагічним, прикладом є Чорнобильська катастрофа 1986 року, що підкреслила критичну важливість проблеми радіоактивних відходів та засвідчила глобальні наслідки відсутності належного контролю.

Період незалежності України, від 1991 року, розпочався з усвідомленням масштабної екологічної спадщини радянської доби, зокрема, проблеми відходів. На початкових етапах економічних перетворень та становлення держави, питання управління відходами відійшло на другий план, поступившись нагальним соціально-економічним викликам. Чимало промислових підприємств занепадало, але чинні сміттєзвалища продовжували працювати, часто з порушеннями, а нові об'єкти інфраструктури для поводження з відходами майже

не будувалися. Нестача фінансування, відсутність сучасних технологій та законодавча база, успадкована від СРСР, сприяли поширенню стихійних звалищ та неефективному поводженню з відходами. Проте, з поступовим наближенням України до європейських стандартів та зростанням екологічної свідомості суспільства, почалися системні зміни. Прийняття Закону України "Про відходи" у 1998 році стало першим важливим кроком до створення законодавчої бази у цій сфері. Уряд та місцеві органи влади взяли за розробку програм поводження з відходами, хоча їхня ефективність часто була обмежена. З'явилися перші муніципальні ініціативи з роздільного збору сміття, хоча вони ще не набули широкого розповсюдження. Зростає кількість приватних підприємств, що займаються збором та переробкою вторинної сировини (скло, папір, пластик). [12-16]

Важливим етапом стало підписання та ратифікація Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, що зобов'язало Україну імплементувати європейські директиви у сфері управління відходами. Це дало поштовх для розробки та прийняття Національної стратегії управління відходами до 2030 року та, що особливо важливо, нового Закону України "Про управління відходами" (2022 рік). Цей закон є рамковим і спрямований на впровадження ієрархії поводження з відходами, що передбачає пріоритетність запобігання утворенню відходів, їх повторного використання та переробки перед захороненням. Він також запроваджує принципи розширеної відповідальності виробника, планування на національному, регіональному та місцевому рівнях, а також створення сучасної інфраструктури для поводження з різними видами відходів, включаючи небезпечні. Сучасний етап історії поводження з відходами в Україні відзначається переходом: застарілі неефективні методи поступово поступаються місцем новим, що спираються на європейський досвід. Однак, труднощів чимало: гігантські обсяги відходів на старих сміттєзвалищах, недостатня ефективність роздільного збору та переробки, брак сучасних сміттєпереробних комплексів, проблеми зі стихійними смітниками та низький рівень екологічної обізнаності частини населення. Збройна агресія Російської

Федерації проти України, розпочата у 2014 році та масштабована з 2022 року, принесла нові, безпрецедентні виклики, такі як відходи руйнації, військові відходи та тимчасове призупинення розбудови екологічної інфраструктури в зонах бойових дій. Попри всі ці перешкоди, Україна виявляє рішучість у побудові сучасної системи поводження з відходами, яка відповідатиме передовим світовим практикам.

Загалом історія поводження з відходами в Україні, яка триває тисячоліттями, є дзеркалом суспільних змін, технологічного прогресу та трансформації цінностей. Від найпростіших способів переробки органіки у часи Київської Русі, через санітарні проблеми середньовічних міст, масове накопичення промислових відходів епохи індустріалізації, до централізованої, але часто недолугої системи часів СРСР, Україна пройшла непростий і тривалий шлях. Із здобуттям незалежності настав період усвідомлення екологічної катастрофи та початок системних перетворень, націлених на інтеграцію до європейського екологічного співтовариства. Курс на циркулярну економіку, розробка нового законодавства та прагнення до сучасної інфраструктури – основні напрями розвитку. Попри серйозні виклики, в тому числі й наслідки збройного конфлікту, історичний досвід засвідчує здатність українського суспільства адаптуватися та шукати нові рішення проблеми відходів, що є невід'ємною складовою розбудови екологічно свідомого та сталого майбутнього.

РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ

2.1 Класифікація відходів за видами та за станом

Проблема відходів набула глобального масштабу та стала однією з найактуальніших екологічних загроз сучасності. Зростання населення, індустріалізація, урбанізація та підвищене споживання ресурсів призвели до безпрецедентного збільшення обсягів побутових, промислових, сільськогосподарських і будівельних відходів. За даними Євростату, у 2022 році в країнах ЄС було згенеровано понад 2,2 мільярда тонн відходів, що становить приблизно 5 тонн на одного мешканця. З них лише 40,8% було перероблено, а 30,2% потрапило на полігони для захоронення.

У сучасному світі проблема накопичення відходів набула безпрецедентного глобального масштабу, що становить серйозну загрозу для екологічної безпеки нашої планети та безпосередньо впливає на здоров'я людини. Неконтрольоване зростання обсягів відходів, їхній різноманітний склад та недосконалість систем управління ними призводять до комплексного негативного впливу на усі складові навколишнього середовища. Для всебічного розуміння цієї критично важливої проблеми першочерговим завданням є проведення детальної класифікації відходів за різними критеріями та ретельне визначення основних джерел їхнього утворення. Величезна різноманітність відходів, що є наслідком складної та багатогранної людської діяльності, зумовлює нагальну необхідність їхньої глибокої систематизації за різними ознаками, що, у свою чергу, є необхідною передумовою для розробки ефективних та науково обґрунтованих стратегій управління відходами, спрямованих на мінімізацію їхнього руйнівного впливу на екосистеми та здоров'я населення.

В Україні ситуація з відходами є критичною. За даними Державної служби статистики України, у 2020 році в країні утворилося понад 54 млн м³ побутових відходів (понад 15 млн тонн), з яких лише 6,3% було перероблено або утилізовано. Більшість з них вивозиться на полігони або несанкціоновані звалища, що призводить до довгострокового екологічного навантаження. Крім

того, невирішеною залишається проблема утилізації аграрних залишків, таких як гній, відходи рослинництва або використані хімікати. Промислові підприємства генерують великі об'єми металургійних шлаків, відходів гірничої промисловості, відпрацьованих масел та інших сполук, які потребують спеціальних технологій для безпечної утилізації

Однією з фундаментальних та найбільш наочних класифікацій є поділ відходів за їхнім агрегатним станом, що включає три основні категорії:

- 1) **Тверді відходи (ТПВ)** являють собою найбільш візуально помітний та кількісно значний вид відходів, що є прямим наслідком повсякденної життєдіяльності людини та різноманітних виробничих процесів. До цієї широкої категорії належить значний спектр матеріалів, починаючи від звичного побутового сміття, що включає харчові залишки, паперові вироби, пластикову та скляну тару, металобрухт, текстильні вироби та закінчуючи специфічними видами відходів, такими як будівельні залишки (цегла, бетонні уламки, дерев'яні конструкції, різноманітні ізоляційні матеріали), промислові відходи (залишки сировини, виробнича тара та упаковка, шлаки металургійного виробництва, зола від спалювання вугілля), сільськогосподарські відходи (рослинні рештки після збирання врожаю, відходи тваринництва, такі як гній та послід) та багато інших. Саме тверді відходи є найбільш очевидним проявом проблеми забруднення довкілля, часто утворюючи несанкціоновані звалища та створюючи колосальне навантаження на офіційні полігони захоронення, вимагаючи значних територій та спричиняючи низку екологічних проблем, пов'язаних із забрудненням ґрунтових вод та виділенням шкідливих газів.
- 2) **Рідкі відходи** охоплюють широкий спектр рідких субстанцій, що утворюються в результаті різноманітної людської діяльності. До цієї важливої категорії належать перш за все стічні води, які поділяються на побутові (що утворюються в житлових будинках та комунальних закладах), промислові (що є наслідком виробничих процесів на підприємствах різних галузей) та сільськогосподарські (що утворюються внаслідок зрошення

полів, утримання тварин тощо). Крім того, до рідких відходів належать відпрацьовані масла та мастила, різноманітні розчини кислот та лугів, суспензії, емульсії та інші рідкі хімічні сполуки, що є побічними продуктами промисловості. Неочищені або недостатньо очищені рідкі відходи становлять надзвичайно потужне джерело забруднення поверхневих та підземних водних об'єктів, а також ґрунтів, несучи в собі широкий спектр небезпечних речовин та мікроорганізмів.

- 3) **Газоподібні відходи** являють собою викиди в атмосферу, що є невід'ємною частиною функціонування сучасної індустріальної цивілізації. Вони утворюються внаслідок спалювання різних видів палива на промислових підприємствах, у двигунах транспортних засобів, на теплоелектростанціях, а також у процесі технологічної переробки та навіть захоронення відходів (наприклад, утворення біогазу на полігонах). До цієї категорії належить цілий ряд речовин, включаючи так звані парникові гази, такі як вуглекислий газ (CO_2), метан (CH_4) та оксид азоту (N_2O), які є основними винуватцями глобального потепління та зміни клімату. Крім того, до газоподібних відходів належать оксиди сірки (SO_x) та азоту (NO_x), леткі органічні сполуки (ЛОС), тверді частинки у вигляді пилу та аерозолів, а також інші шкідливі хімічні сполуки, що призводять до локального та регіонального забруднення атмосферного повітря, формування смогів та кислотних дощів, негативно впливаючи на здоров'я людини та стан екосистем.

Розуміння різноманіття відходів є першочерговим завданням для розробки ефективних систем їхнього збору, переробки, утилізації та захоронення. Класифікація відходів за походженням дозволяє більш точно визначити основні джерела забруднення та розробити галузеві стратегії управління відходами. [17-19]

- 4) **Побутові відходи (комунальні відходи)**. Основним та найбільш поширеним видом відходів, з яким стикається кожна людина у

повсякденному житті, є побутові відходи, які також часто називають муніципальними. Вони утворюються в житлових будинках, закладах громадського харчування, численних торговельних підприємствах, офісних приміщеннях, освітніх установах, медичних закладах (де відходи не є небезпечними за епідеміологічним статусом) та інших громадських місцях. За своєю природою побутові відходи є надзвичайно неоднорідними. Їхній склад включає органічні залишки (харчові відходи рослинного та тваринного походження), різноманітні пакувальні матеріали (папір, картон, поліетилен, пластикові пляшки), склотару, металеві вироби (бляшані банки, фольга), текстиль, деревину, гуму, шкіру, а також змішані відходи від прибирання вулиць, парків та інших територій загального користування. Екологічні ризики побутових відходів проявляються насамперед у кількох аспектах. По-перше, значна частка органічних відходів, розкладаючись на сміттєзвалищах без доступу кисню, генерує біогаз, що містить метан – потужний парниковий газ, який значно сприяє глобальному потеплінню. По-друге, фільтрат, що утворюється внаслідок проходження дощових вод через тіло звалища, є високотоксичною рідиною, здатною забруднювати ґрунтові та поверхневі води важкими металами, органічними забруднювачами та іншими небезпечними речовинами, що загрожує питним джерелам та водним екосистемам. По-третє, великі обсяги несортованих побутових відходів, що захоронюються, займають величезні площі земель, виводячи їх з сільськогосподарського обігу або природних ландшафтів. І нарешті, засмічення територій пластиковими відходами, що розкладаються століттями, призводить до мікропластикового забруднення ґрунтів та вод, що становить небезпеку для біорізноманіття та зрештою для здоров'я людини через харчові ланцюги.



Рис 4 Структура побутових відходів в Україні[42]

- 5) **Промислові відходи.** Наступною ваговою категорією є промислові відходи, що утворюються в результаті виробничої діяльності підприємств різних промислових сфер. На відміну від побутових, ці відходи відрізняються неймовірним розмаїттям хімічного складу, фізичних властивостей та рівня небезпеки, безпосередньо пов'язаним з технологічними процесами та застосованими матеріалами. До промислових відходів відносяться, зокрема, шлаки та окалина, отримані в металургії; агресивні кислоти, луки, використані розчинники, полімери та солі важких металів з хімічної промисловості; зола та шлак від спалювання вугілля на теплоелектростанціях; металева стружка та відпрацьовані мастила з машинобудівних підприємств; обрізки тканин та шкіри з легкої промисловості; тирса, стружка, кора та обрізки деревини з деревообробної галузі. Екологічні загрози від промислових відходів є значно серйознішими та різноманітнішими через їхній склад. Неконтрольоване скидання промислових стічних вод, часто неочищених або недостатньо оброблених, призводить до інтенсивного забруднення водних об'єктів важкими металами (кадмій, свинець, ртуть), нафтопродуктами, фенолами, ціанідами та іншими отруйними речовинами, що нищить водні екосистеми, викликає загибель риби та робить воду непридатною для будь-якого застосування.

Відвали шлаків та золи, що накопичуються на великих площах, є джерелом пилового забруднення атмосфери та хімічного забруднення ґрунтів та підземних вод внаслідок вимивання токсичних складників. Деякі промислові відходи, такі як відпрацьовані мастила або розчинники, можуть бути легкозаймистими або вибухонебезпечними, породжуючи загрози пожеж та хімічних аварій. Віддалений вплив окремих хімічних відходів може викликати накопичення канцерогенних, мутагенних чи тератогенних речовин в навколишньому середовищі, що має відкладені, але катастрофічні наслідки для біоти та здоров'я людей.

б) **Сільськогосподарські відходи.** Особливе місце в загальній структурі посідають сільськогосподарські відходи, що утворюються в процесі аграрного виробництва. Ці відходи поділяються на дві основні групи. До відходів рослинництва належать солома, стебла, лушпиння, бадилля сільськогосподарських культур, а також некондиційні плоди та овочі. Відходи тваринництва включають гній, послід, рештки кормів, а також трупи тварин та птиці. Екологічні ризики сільськогосподарських відходів, попри їхнє переважно органічне походження, є значними. Невідповідне зберігання та утилізація гною та посліду призводить до забруднення ґрунтових та поверхневих вод надлишковим азотом та фосфором, що є основною причиною евтрофікації водойм (цвітіння води, загибель риби через нестачу кисню). Неконтрольоване розкладання органічних відходів також генерує метан та оксид азоту – потужні парникові гази, що підсилюють кліматичні зміни. Крім того, ці відходи можуть містити патогенні мікроорганізми, антибіотики та гормони, що використовуються у тваринництві, які, потрапляючи у довкілля, сприяють поширенню резистентних штамів бактерій та порушують природні екосистеми.

7) **Будівельні відходи.** Окремий різновид відходів – будівельні відходи – з'являються на кожному етапі існування будівель та споруд: від зведення нових об'єктів, через ремонтні та реставраційні роботи, до ліквідації. Їх склад також відрізняється розмаїттям, включаючи бетон, цеглу, камінь,

гіпсокартон, деревину, скло, металеві компоненти, пластик, а також залишки фарб, штукатурки та шпалер. Екологічна загроза від будівельних відходів полягає насамперед у їх значних обсягах. Невірне захоронення цих відходів призводить до зайняття великих територій, деградації ґрунтів та ландшафтів. Незважаючи на те, що більшість будівельних відходів не токсичні, вони можуть містити небезпечні домішки, наприклад азбест (з утеплювачів), важкі метали з фарб, розчинники, які можуть проникати у ґрунтові води через фільтрацію. Забруднення повітря пилом під час будівельних операцій та знесення також негативно впливає на якість повітря, а захаращення території великими уламками може перешкоджати природному відновленню екосистем.

8) **Медичні відходи.** Надзвичайно специфічною та відповідальною є категорія медичних відходів, або відходів закладів охорони здоров'я. Вони утворюються в лікарнях, поліклініках, діагностичних лабораторіях, аптеках та інших медичних установах. В Україні ці відходи класифікуються за ступенем епідеміологічної, токсикологічної та радіологічної небезпеки, що визначає суворі вимоги до їхнього збору, транспортування, знешкодження та утилізації. Екологічні ризики медичних відходів є особливо високими через їхню потенційну інфекційність та хімічну небезпеку. Інфекційно небезпечні відходи (категорія В), такі як використані шприци, перев'язувальний матеріал, біологічні рідини, можуть містити патогенні мікроорганізми, включаючи віруси гепатиту, ВІЛ, бактерії, що викликають туберкульоз та інші захворювання. Їхнє неналежне поводження та потрапляння у навколишнє середовище загрожує поширенням інфекцій серед населення та диких тварин. Токсикологічно небезпечні медичні відходи (категорія С), що включають відпрацьовані ліки (антибіотики, цитостатики), хімічні реактиви, ртутні термометри, люмінесцентні лампи, несуть ризик хімічного забруднення ґрунтів та вод. Ртуть є надзвичайно токсичним важким металом, що накопичується у біологічних ланцюгах, а фармацевтичні залишки можуть спричинити резистентність мікроорганізмів та впливати на гормональний фон

водних організмів. Небезпека медичних відходів вимагає їхньої ізоляції, дезінфекції та спеціалізованої утилізації, часто шляхом спалювання при високих температурах, щоб уникнути поширення небезпечних речовин та інфекцій.

9) **Електровідходи та відходи електричного обладнання.** В умовах сьогодення, де домінують високі технології, проблема відходів електронного та електричного обладнання (ВЕЕО або E-waste) набуває все більшої ваги. Йдеться про пристрої, що стали непридатними чи застарілими, зокрема комп'ютери, телевізори, телефони, велика та мала побутова техніка, а також різні лампи для освітлення. Екологічні наслідки ВЕЕО оцінюються як надзвичайно серйозні, хоча ці відходи містять корисні вторинні матеріали. У їх складі присутня значна кількість небезпечних сполук: свинець, що використовується в акумуляторах та екранах моніторів, ртуть у люмінесцентних лампах та деяких дисплеях, кадмій в акумуляторах, хром у покриттях, бромовані антипірени в пластикових корпусах. Якщо ці відходи опиняються на звичайних звалищах, вони піддаються впливу дощових вод, що призводить до вимивання небезпечних речовин, які забруднюють ґрунти та водні ресурси. Це спричиняє накопичувальний ефект та створює ризик для здоров'я людей та тварин. До того ж, неналежне розбирання ВЕЕО, особливо у кустарних умовах у країнах, що розвиваються, веде до неконтрольованих викидів токсичних речовин в атмосферу, ґрунт і воду, формуючи осередки екологічної катастрофи.

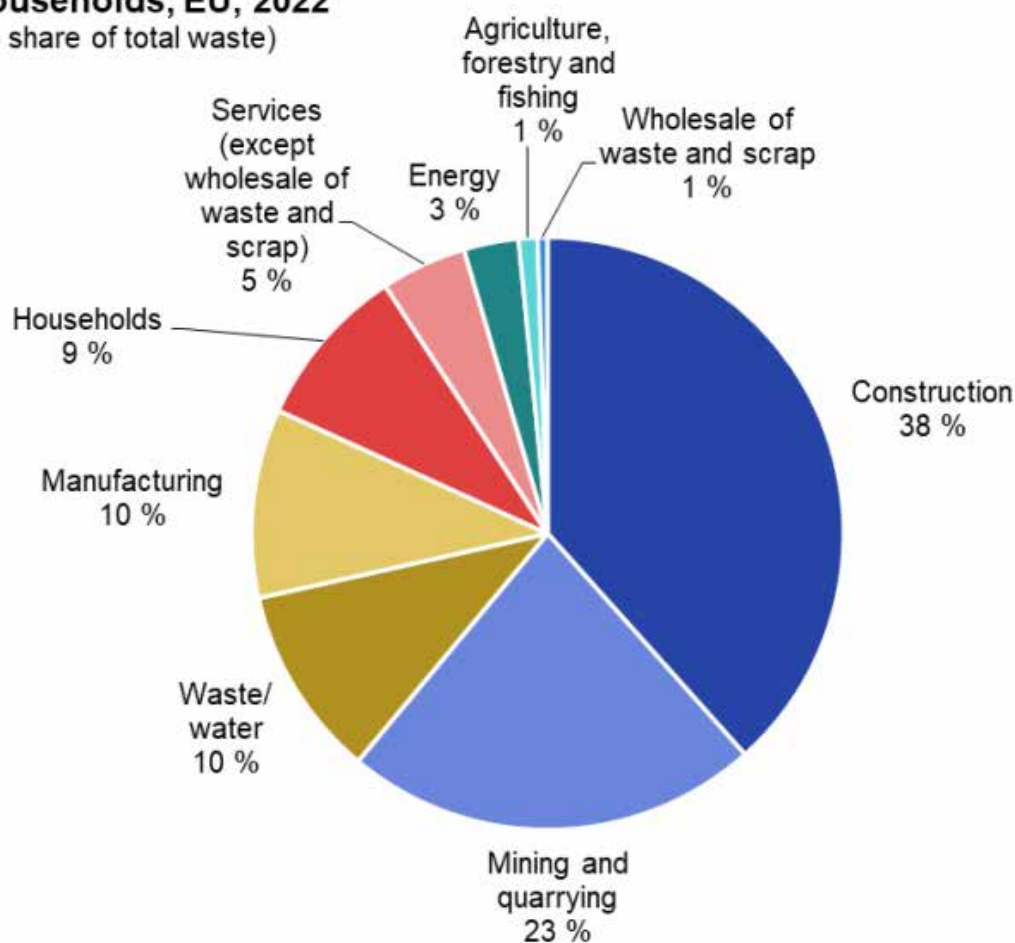
10) **Радіоактивні відходи.** Найнебезпечнішою з-поміж усіх категорій є радіоактивні відходи, інакше звані ядерними відходами. Це предмети та речовини, радіоактивне забруднення чи активність радіонуклідів яких перевищує дозволені стандарти радіаційної безпеки, й подальше їх використання не передбачено. До цієї групи належить відпрацьоване ядерне паливо, ґрунт, що піддавався забрудненню, а також конструкції та устаткування з ядерних об'єктів. Екологічні наслідки радіоактивних відходів мають катастрофічний та тривалий характер. Навіть незначна кількість

радіоактивних речовин, потрапляючи до навколишнього середовища, може призвести до радіоактивного забруднення ґрунту, води, повітря, харчових ланцюгів, а відтак – до мутацій, онкологічних захворювань та генетичних відхилень у живих організмів, включно з людиною. Період напіврозпаду окремих радіонуклідів вимірюється тисячами і навіть мільйонами років, тому ці відходи представляють загрозу для багатьох поколінь. Робота з радіоактивними відходами потребує максимально суворих протоколів безпеки, зведення спеціальних підземних сховищ та безперервного моніторингу задля гарантування їх повної ізоляції від біосфери.

Класифікація відходів за походженням є фундаментальним кроком для розуміння їхньої сутності та ефективного управління. Кожна категорія відходів – від повсякденних побутових до високотоксичних промислових і радіоактивних – має унікальний хімічний склад, фізичні властивості та, що найважливіше, несе в собі специфічні та значні екологічні ризики. Неналежне поводження з цими відходами призводить до багатовекторного забруднення усіх компонентів довкілля: атмосфери парниковими газами та токсичними викидами, водних об'єктів фільтратами та хімікатами, ґрунтів важкими металами та органічними забруднювачами. Ці загрози варіюються від локальних санітарних проблем до глобальних кліматичних змін та довгострокового радіоактивного забруднення. Детальне розуміння цих ризиків на етапі виникнення відходів є критично важливим для розробки та впровадження ефективних превентивних заходів, систем роздільного збору, сучасних технологій переробки та безпечної утилізації, що є основою для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечення сталого розвитку.[20-31]

Waste generation by economic activities and households, EU, 2022

(% share of total waste)



Source: Eurostat (online data code: env_wasgen)

eurostat 

Рис.

5 - розподіл відходів в ЄС станом на 2022 рік, де 38% - будівельне сміття, 23% - відходи гірничовидобувної промисловості, 10% - відходи у водному середовищі, 10% - промислове виробництво, 9% - домогосподарства, 5% - різноманітні сфери послуг, 3% - енергетика, 1% - сільське господарство та 1% - торгівля відходами та сміттям

2.2 Класифікація відходів за класами небезпеки

Окрім класифікації за походженням, яка розглядає джерело утворення відходів, критично важливим аспектом для їхнього ефективного управління є розподіл за ступенем небезпеки. Ця класифікація, зафіксована у національному та міжнародному законодавстві, є основою для визначення необхідних заходів безпеки при зборі, транспортуванні, зберіганні, обробці та утилізації відходів.

Ступінь небезпеки відходів визначається їхнім потенційним впливом на здоров'я людини та стан навколишнього середовища, враховуючи токсичність, канцерогенність, мутагенність, екотоксичність, вибухонебезпечність, пожежонебезпечність, а також здатність до утворення інших небезпечних речовин. Відповідно до чинного законодавства України, відходи за ступенем небезпеки поділяються на чотири основні класи, кожен з яких несе у собі специфічні екологічні ризики.

1. **I клас - надзвичайно небезпечні.** До першого класу – надзвичайно небезпечних відходів – зараховуються речовини та матеріали, котрі можуть викликати необоротні або ж дуже тривалі та критичні ушкодження навколишнього середовища та здоров'я людини навіть при невеликих концентраціях. Їх вплив на екосистеми має надзвичайно руйнівний характер та може проявитися протягом багатьох десятиліть чи навіть століть, викликаючи невідворотні зміни в біологічних системах. Характерними прикладами таких відходів є залишки деяких особливо токсичних пестицидів, відходи гальванічних виробництв, що містять сполуки важких металів (кадмій, свинець, хром), відходи, що містять ртуть та її сполуки (наприклад, люмінесцентні лампи, медичні термометри), діоксини, поліхлоровані біфеніли (ПХБ) та інші стійкі органічні забруднювачі. Екологічні ризики, пов'язані з цим класом відходів, сягають максимально високих показників. Некоректне поводження з ними призводить до глибинного та тривалого забруднення ґрунтів, роблячи їх непридатними для сільськогосподарських робіт та природного відновлення. Потрапляючи у водні об'єкти, ці речовини накопичуються в донних відкладеннях та у живих організмах, викликаючи загибель водних мешканців та передаючись по харчових ланцюгах, що зрештою становить загрозу і для людини. Викиди в атмосферу здатні призвести до формування токсичних опадів та поширення забруднювальних речовин на значні відстані. Багато з цих речовин є канцерогенними, мутагенними або тератогенними, тобто здатними провокувати рак, генетичні зміни та вади розвитку.

2. **II клас - високонебезпечні.** Наступна категорія – другий клас – високонебезпечні відходи. Ці відходи можуть спричинити значні та тривалі пошкодження навколишньому середовищу, які, хоч і піддаються усуненню, потребуватимуть значних зусиль та фінансових витрат на відновлення. До них належать відпрацьовані нафтопродукти, деякі види розчинників, відпрацьовані акумуляторні батареї, що містять свинець та кислоту, окремі види промислових шлаків, відходи лакофарбових матеріалів, що містять токсичні компоненти. Екологічні ризики, властиві для високонебезпечних відходів, виявляються у можливості масштабного забруднення водних джерел та ґрунтів при неправильному зберіганні чи витоках. Нафтопродукти, наприклад, утворюють плівки на поверхні води, перешкоджаючи доступу кисню та світла, що призводить до загибелі водних організмів, а також проникають у ґрунт, унеможливаючи його використання. Важкі метали з акумуляторних батарей та промислових відходів також накопичуються в ґрунті, утворюючи довготривалу загрозу. Випаровування органічних розчинників та компонентів фарб може призводити до забруднення повітря токсичними речовинами, що негативно впливає на дихальну та нервову системи людини. Ці відходи також можуть бути пожежо або вибухонебезпечними, що створює додаткові ризики для довкілля та безпеки населення.

3. **III клас - помірнонебезпечні.** До третього класу, тобто помірно небезпечних відходів, відносяться відходи, здатні завдати довкіллю шкоди, що є помірною. Відновлення після такого впливу можливе за прийнятний період часу та з помірними витратами. Ця категорія досить широка, охоплюючи, наприклад, певні будівельні відходи та сміття після знесення, які містять нетоксичні, проте об'ємні матеріали (бетон, цегла, дерево). Також сюди відносяться відпрацьовані шини, побутова техніка без особливо небезпечних складових, деякі види золи та шлаків, які не потрапляють до більш небезпечних класів, та сільськогосподарські відходи, якщо вони не містять інфекційних агентів чи надмірної концентрації забруднювачів.

Екологічні загрози, що виникають від відходів цього класу, хоч і менші, ніж від тих, що належать до попередніх, все ж таки є значними. Основна небезпека – великий об'єм та площа, які займає захоронення, що, в свою чергу, спричиняє деградацію ландшафту та скорочення біологічного різноманіття. Під час розкладання органічних речовин (наприклад, у будівельному смітті з домішками ґрунту або деревини) може утворюватися біогаз та фільтрат, хоча в менших концентраціях шкідливих речовин, аніж на сміттєзвалищах. Нагромадження відпрацьованих шин створює ризик масштабних пожеж, які важко загасити та котрі супроводжуються викидами шкідливих речовин в атмосферу. Загалом, небезпеки цього класу пов'язані, скоріше, з об'ємом і неестетичним виглядом, аніж з високою токсичністю, але їх сукупний вплив на екосистеми все ще значущий.

4. **IV клас - малонебезпечні.** Четвертий клас – малонебезпечні відходи – включає ті, що можуть спричинити незначні та короточасні ушкодження навколишнього середовища, котрі швидко ліквідуються. Сюди переважно входять побутові відходи без небезпечних компонентів, а також відходи, які є вторинною сировиною: папір, картон, скло, чистий пластик (без токсичних домішок), чорні та кольорові метали без великої кількості домішок, харчові відходи (за умови їх оперативного компостування або іншої біологічної переробки). Екологічні ризики, пов'язані з цим класом, є найменшими порівняно з іншими, проте вони не нульові. Головні загрози зумовлені об'ємом утворення відходів та їх неефективним захороненням. Навіть "безпечні" органічні відходи, які розкладаються на полігонах, виділяють метан, що сприяє парниковому ефекту. Несортоване сміття, потрапляючи на звалища, призводить до втрати цінних вторинних матеріальних ресурсів, для виробництва яких використовувались первинні ресурси та енергія. Засмічення територій візуально спотворює ландшафти та здатне утворювати локальні антисанітарні умови. Хоча ці відходи не містять прямих високотоксичних компонентів, їх масове неконтрольоване накопичення

залишається викликом для сталого розвитку, адже це веде до виснаження природних ресурсів та збільшення екологічного сліду людської діяльності.

Глибоке розуміння принципів класифікації відходів за різними критеріями, а також чітке визначення основних джерел їхнього утворення на різних рівнях (від домогосподарств до великих промислових підприємств) є абсолютно фундаментальним для розробки та впровадження ефективних комплексних стратегій управління відходами. Ці стратегії повинні бути спрямовані насамперед на запобігання утворенню відходів, їхнє максимально можливе повторне використання та переробку, а також на забезпечення екологічно безпечного видалення тих відходів, які не підлягають утилізації. Накопичення значних обсягів відходів та недосконалість існуючих систем поводження з ними неминуче призводять до виникнення різноманітних та часто взаємопов'язаних негативних наслідків для всіх без винятку компонентів навколишнього середовища, спричиняючи порушення природних екологічних балансів та створюючи серйозну загрозу для здоров'я людини. Класифікація відходів за рівнем небезпеки є наріжним каменем в актуальному поводженні з ними, що дозволяє окреслити різні методи їх збору, перевезення, переробки та утилізації. Кожен різновид відходів – від надзвичайно шкідливих до малонебезпечних – приховує специфічний перелік екологічних загроз, які можуть виражатися у забрудненні ґрунту, водних об'єктів, повітряного середовища, а також у прямому або непрямому негативному впливі на біорізноманіття та стан здоров'я людей. Розуміння цих ризиків є надзвичайно важливим для розробки адекватних заходів безпеки, впровадження передових технологій знешкодження та переробки, а також для формування державної політики, спрямованої на зменшення негативного впливу відходів. Ефективне управління відходами неможливе без чіткого усвідомлення потенційних загроз кожного їх типу та застосування диференційованих стратегій, що забезпечують охорону навколишнього середовища та здоров'я майбутніх поколінь.

2.3 Окремі види забруднення навколишнього середовища

Вплив відходів на ґрунти є багатогранним та включає фізичне, хімічне та біологічне забруднення.

Фізичне забруднення проявляється у безпосередньому захаращенні значних площ земель твердими побутовими та особливо будівельними відходами, що призводить до виведення цінних територій з господарського обігу, руйнування природних ландшафтів та створення фізичних перешкод для нормального розвитку ґрунтових екосистем. Особливу увагу слід приділити проблемі пластикового забруднення, де фрагментація пластикових відходів до мікропластику може суттєво змінювати фізичну структуру ґрунту, його здатність пропускати воду та повітря, а також впливати на життєдіяльність ґрунтових мікроорганізмів.

Хімічне забруднення ґрунтів є наслідком потрапляння на них небезпечних промислових відходів, неочищених стічних вод, а також небезпечних побутових відходів. Ці відходи можуть містити важкі метали, такі як свинець, кадмій та ртуть, стійкі токсичні органічні сполуки, нафтопродукти, а також агресивні хімічні речовини, такі як кислоти та луги. Накопичуючись у ґрунті, ці забруднювачі змінюють його хімічний склад, призводять до зниження родючості, порушують біологічні процеси та можуть потрапляти в харчові ланцюги через поглинання рослинами, створюючи пряму загрозу для здоров'я людини при споживанні забрудненої сільськогосподарської продукції. Забруднення ґрунтів може призвести до їхньої деградації та неможливості подальшого використання в сільському господарстві, а також спричиняти довгострокові екологічні наслідки.

Біологічне забруднення ґрунтів часто є наслідком несанкціонованого розміщення побутових та особливо медичних відходів. Такі звалища можуть ставати джерелом різноманітних патогенних мікроорганізмів, гельмінтів та інших біологічних забруднювачів, які з ґрунту можуть проникати в підґрунті

води та поширюватися далі, створюючи значний ризик виникнення та поширення інфекційних захворювань серед населення.

Також наявний негативний вплив на стан **гідросфери** внаслідок таких видів забруднення як:

Забруднення стічними водами є одним з найбільш масштабних та різноманітних видів антропогенного впливу на гідросферу. Неочищені або недостатньо очищені стічні води, що надходять у поверхневі та підземні водні об'єкти з побутової, промислової та сільськогосподарської сфер, несуть у собі величезну кількість забруднюючих речовин. Органічні речовини, що містяться у стічних водах, під час свого розкладання призводять до інтенсивного споживання розчиненого у воді кисню, що може спричинити явище евтрофікації, тобто надмірного розростання водоростей та інших водних рослин. Подальше їхнє відмирання та розкладання ще більше погіршує кисневий режим водойми, створюючи заморні явища та призводячи до загибелі риби та інших водних організмів. Біогенні елементи, такі як азот та фосфор, що також присутні у стічних водах, є основними поживними речовинами для водоростей, посилюючи процес евтрофікації. Завислі речовини, потрапляючи у воду, знижують її прозорість, погіршують умови для фотосинтезу водних рослин та можуть осідати на дно, замулюючи його та руйнуючи місця проживання донних організмів. Патогенні мікроорганізми, що можуть бути присутні у побутових та медичних стічних водах, становлять пряму загрозу для здоров'я людини при використанні забрудненої води для пиття або рекреації, спричиняючи різноманітні інфекційні захворювання. Важкі метали та токсичні органічні сполуки, що часто містяться у промислових стічних водах, є надзвичайно стійкими забруднювачами, здатними накопичуватися в організмах водних мешканців та передаватися по харчових ланцюгах, завдаючи довгострокової шкоди водним екосистемам та здоров'ю людини.

Крім того, значну проблему становить забруднення водних об'єктів твердими відходами. Безвідповідальне скидання побутового та промислового сміття у річки, озера та моря призводить до їхнього фізичного захаращення, порушує

природні ландшафти та гідрологічний режим водойм. Особливо небезпечним є пластикове забруднення, оскільки пластикові відходи надзвичайно повільно розкладаються у водному середовищі, розпадаючись на дрібніші фрагменти – мікропластик, який може поглинатися водними організмами, потрапляючи таким чином у харчові ланцюги. Великі пластикові предмети можуть становити безпосередню загрозу для морських тварин, спричиняючи їхнє заплутування та загибель. Процес розкладання деяких видів твердих відходів у воді може супроводжуватися виділенням токсичних речовин, ще більше погіршуючи якість води.

Важливим джерелом забруднення підземних та поверхневих вод є фільтрат, що утворюється на полігонах захоронення твердих побутових відходів. Внаслідок розкладання органічної складової відходів під дією атмосферних опадів та ґрунтових вод утворюється складна за хімічним складом рідина – фільтрат, яка містить високі концентрації органічних речовин, важких металів, аміаку, хлоридів та інших забруднювачів. Без належної системи збору та очищення цей токсичний фільтрат може проникати у ґрунт та підґрунтові води, роблячи їх непридатними для використання та завдаючи значної шкоди водним екосистемам, з'єднаним з підземними водоносними горизонтами.

Окремо слід згадати про теплове забруднення водних об'єктів, яке може виникати внаслідок скидання підігрітих промислових вод, наприклад, з охолоджувальних систем електростанцій або промислових підприємств. Підвищення температури води може призводити до зниження вмісту розчиненого кисню, що є критично важливим для дихання водних організмів. Крім того, зміна температурного режиму може порушувати метаболізм та репродуктивні процеси водних мешканців, а також сприяти розвитку певних видів водоростей та бактерій, порушуючи екологічний баланс водойми.

Атмосферне повітря не менш за ґрунти та водні об'єкти страждає від забруднень.

Вплив відходів на атмосферне повітря є ще одним важливим аспектом екологічної шкоди. Неконтрольоване спалювання відходів, яке, на жаль, все ще

практикується в багатьох регіонах, є надзвичайно небезпечним джерелом забруднення атмосферного повітря. В процесі горіння різноманітних відходів, особливо пластику та інших синтетичних матеріалів, в атмосферу викидається величезна кількість шкідливих речовин, включаючи тверді частинки у вигляді дрібного пилу та сажі, небезпечні газоподібні сполуки, такі як оксиди вуглецю, азоту та сірки, леткі органічні сполуки, а також надзвичайно токсичні діоксини та фурани, які мають канцерогенні властивості та можуть накопичуватися в організмах живих істот. Забруднення повітря від спалювання відходів є причиною смогу, кислотних дощів, а також сприяє розвитку різноманітних захворювань дихальної та серцево-судинної систем у людей.

Значним джерелом забруднення атмосферного повітря є також полігони захоронення твердих побутових відходів. В процесі анаеробного розкладання органічної складової відходів утворюється біогаз, основним компонентом якого є метан (CH_4) – один з найпотужніших парникових газів, який значно сильніше впливає на глобальне потепління, ніж вуглекислий газ. Викиди метану з полігонів роблять значний внесок у зміну клімату. Крім метану, з полігонів можуть виділятися інші леткі органічні сполуки, які можуть мати неприємний запах та також становити небезпеку для здоров'я людини при тривалому впливі.

Певні промислові процеси, пов'язані з переробкою та утилізацією відходів, також можуть супроводжуватися викидами специфічних забруднюючих речовин в атмосферу. Наприклад, процеси термічної переробки відходів (інсинерація) при недостатній ефективності систем очищення викидів можуть призводити до потрапляння в повітря важких металів, діоксинів та інших токсичних сполук.

Нарешті, вплив відходів на біорізноманіття та екосистеми є комплексним та руйнівним. Забруднення земель відходами безпосередньо призводить до втрати природних середовищ існування для багатьох видів рослин і тварин, оскільки території, зайняті звалищами та полігонами, стають непридатними для їхнього проживання. Токсичні речовини, що містяться у відходах, можуть мати прямий токсичний вплив на живі організми, викликаючи їхнє отруєння, порушення репродуктивної функції, розвиток різноманітних захворювань та

навіть загибель. Забруднюючі речовини, потрапляючи у довкілля, можуть накопичуватися в організмах нижчих трофічних рівнів (наприклад, у ґрунтових безхребетних або водоростях) та потім передаватися по харчових ланцюгах до вищих хижаків, завдаючи шкоди цілим екосистемам та порушуючи їхню стабільність. Несанкціоновані звалища можуть також ставати сприятливим середовищем для розмноження синантропних видів тварин та рослин (гризунів, комах, бур'янів), які є більш стійкими до антропогенного впливу та можуть витіснити місцеві, більш чутливі види, призводячи до втрати біорізноманіття та порушення екологічного балансу.

Отже, проблема відходів є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності, що чинить багатогранний та негативний вплив на всі компоненти навколишнього середовища, починаючи від забруднення ґрунтів, водних об'єктів та атмосферного повітря і закінчуючи руйнуванням екосистем та загрозою для біорізноманіття та здоров'я людини. Глибоке та всебічне розуміння цих процесів є абсолютно необхідною передумовою для розробки та впровадження ефективних комплексних стратегій управління відходами на всіх рівнях – від запобігання їхньому утворенню до їхньої безпечної утилізації та переробки. Проблема шкоди відходів для довкілля — не лише екологічна, а й соціально-економічна. Забруднення територій спричиняє втрату рекреаційного потенціалу, погіршення умов життя, зниження вартості земель, а також додаткові витрати на очищення, рекультивацію та медичне обслуговування. Саме тому питання впровадження сучасних технологій переробки та утилізації відходів є критично важливим для сталого розвитку суспільства.[32-34]

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ

3.1 Класифікація технологій за видами відходів

Ефективне управління відходами не обмежується лише їхнім збором та захороненням, воно передбачає впровадження комплексних стратегій переробки та утилізації, що максимально зменшують їхній негативний вплив на довкілля та дозволяють повертати цінні ресурси в економічний обіг. Вибір оптимального методу переробки або утилізації безпосередньо залежить від походження відходів, їхнього фізико-хімічного складу, ступеня небезпеки та потенційної економічної цінності. Розуміння специфіки різних видів відходів дозволяє застосовувати найбільш доцільні технологічні рішення, що сприяють принципам циркулярної економіки та сталому розвитку

1) **Побутові відходи.** Побутові відходи, будучи сумішшю з багатьох компонентів, потребують комплексного підходу для переробки та утилізації. Ключовим етапом тут є роздільний збір, що дає змогу виділити окремі фракції для подальшої обробки. Органічна частина, яка здебільшого становить велику частину побутових відходів, може бути перероблена шляхом компостування або анаеробного зброджування. Компостування перетворює органічні відходи на цінний гумус, придатний для використання в сільському господарстві, зменшуючи обсяг відходів і викиди метану на смітниках. Анаеробне зброджування у спеціальних реакторах дає можливість виробляти біогаз (джерело енергії) та біодобрива. Неорганічні фракції побутових відходів, такі як папір та картон, скло, пластик та метали (чорні та кольорові), є цінними вторинними матеріальними ресурсами. Вони підлягають рециклінгу (повторній переробці), який включає сортування, очищення, подрібнення та переплавку чи гранулювання для виготовлення нових виробів. Переробка цих матеріалів суттєво заощаджує первинні природні ресурси, знижує споживання енергії та зменшує кількість відходів, які потрапляють на смітники. Відходи, які не підлягають рециклінгу чи органічній переробці, але мають достатню теплотворну здатність, можна утилізувати шляхом термічної

обробки на сміттєспалювальних заводах з рекуперацією енергії. Це дозволяє суттєво зменшити обсяг відходів, а отриману енергію застосовувати для виробництва тепла або електроенергії. Втім, необхідною умовою є наявність сучасних систем очищення димових газів для запобігання викидам небезпечних речовин. Залишки, що не підлягають жодній переробці, як правило, направляються на санітарні смітники, де їх захоронюють з дотриманням екологічних норм, котрі передбачають герметизацію дна, збір фільтрату та біогазу.

2) **Промислові відходи.** Методи переробки та ліквідації промислових відходів мають значний розкид і конкретизуються залежно від сектору виробництва, хімічної структури й рівня небезпеки. Для відходів металургії, як-от шлаки й пил, широко застосовуються методи їхнього використання як вторинних будматеріалів (наприклад, для виготовлення цементу, щебню, дорожніх покриттів) або як сировини для інших металургійних процесів. Відпрацьовані мастила й емульсії з машинобудування можуть регенеруватися шляхом фільтрації, центрифугування та дистиляції для повторного використання, або спалюватися у спеціалізованих печах з метою виробництва енергії. Відходи хімічної промисловості, які часто характеризуються токсичністю й агресивністю, потребують особливо ретельного підходу. Це може включати нейтралізацію кислотних чи лужних розчинів, осадження важких металів, окислення/відновлення небезпечних органічних сполук, сорбцію для видалення забруднювачів. Для особливо стійких і токсичних органічних речовин використовують високотемпературне спалювання у спеціалізованих інсинераторах, що гарантують повне розкладання небезпечних компонентів. Зола й шлаки від спалювання вугілля на теплових електростанціях можуть бути використані у виготовленні будматеріалів (цемент, цегла, дорожнє будівництво) або для рекультивації кар'єрів. Загальним трендом для промислових відходів є розвиток безвідходних або маловідходних технологій, які передбачають інтеграцію виробничих циклів з

метою максимального повторного використання побічних продуктів та мінімізації утворення відходів.

3) **Сільськогосподарські відходи.** Сільськогосподарські залишки відкривають великі можливості для повторного використання, адже переважно складаються з органічних та природно розкладальних речовин. Відходи, отримані від рослинництва, такі як солома, стебла, лушпиння, після процесу компостування стають органічними добривами. Вони покращують структуру ґрунту та збільшують його родючість. Ці залишки можуть бути сировиною для виготовлення біопалива (зокрема брикетів, пелет) або ж служити основою для виробництва біогазу. Переробка відходів рослинництва дозволяє зменшити обсяги спалювання стерні та решток на полях, що значно зменшує забруднення повітря. Відходи тваринництва, зокрема гній та послід, є важливим матеріалом для виробництва біогазу за допомогою анаеробного зброджування у спеціальних біогазових установках. Цей процес не тільки виробляє відновлювану енергію, але й надає заброджений субстрат, який є високоефективним, дезінфікованим та без запаху органічним добривом. Це зменшує ризик забруднення ґрунтів та вод, спричиненого неконтрольованим накопиченням гною. Туші тварин та інші біологічні відходи, що можуть бути джерелом інфекцій, підлягають утилізації на спеціальних підприємствах (біотермічних ямах, крематоріях) або скотомогильниках, з обов'язковим дотриманням суворих санітарних правил.

4) **Медичні відходи.** Методи ліквідації медичних відходів залежать від їхньої класифікації за рівнем небезпеки. Нешкідливі медичні відходи (Категорія А), що відповідають побутовим за складом, утилізуються аналогічно – тобто підлягають сортуванню, переробці або захороненню. Натомість інфекційно (епідемічно) небезпечні відходи (Категорія В) потребують обов'язкового знезараження перед подальшим використанням. Найбільш застосовуваними методами знезараження є автоклавування (обробка парою під високим тиском), мікрохвильова дезінфекція, хімічна дезінфекція та термічна обробка (спалювання). Після знезараження такі

відходи можуть бути подрібнені та утилізовані як звичайні тверді відходи. Водночас високотемпературне спалювання вважається пріоритетним методом, адже гарантує повне знищення патогенів та зменшення об'єму. Токсикологічно небезпечні відходи (Категорія С), як-от фармацевтичні препарати, цитостатики, хімічні реактиви, а також ртутні термометри та люмінесцентні лампи, вимагають спеціалізованої переробки. Фармацевтичні відходи та цитостатики часто піддаються високотемпературному спалюванню у спеціалізованих печах з контролем викидів. Ртутновмісні лампи та термометри передаються на спеціалізовані підприємства, де відбувається їхня демеркуризація – вилучення ртуті для подальшої регенерації та запобігання її попаданню у довкілля. Радіологічно небезпечні відходи (Категорія D), як найбільш небезпечні, потребують найсуворіших методів ліквідації. Вони підлягають кондиціонуванню (цементування, бітумування, склування) задля переведення у стабільну форму, що перешкоджає розповсюдженню радіонуклідів. Після кондиціонування їх поміщають у спеціалізовані сховища, що забезпечують їхню довготривалу ізоляцію від біосфери. Це можуть бути приповерхневі або глибинні геологічні сховища, спроектовані для безпечного зберігання протягом тисяч років.

5) **Будівельні відходи.** Будівельні відходи – це джерело можливостей для рециклінгу та повторного застосування. Ключовий підхід полягає в сортуванні та дробленні безпосередньо на місці утворення відходів або на спеціальних переробних підприємствах. Це дає змогу розділити відходи на окремі фракції: бетон, цеглу, камінь, які згодом можна подрібнити до стану щебеню та застосовувати як вторинні будівельні матеріали для виробництва бетону, прокладання доріг, засипання котлованів. Деревина зі будівельних відходів може бути подрібнена та використана як біопаливо або як сировина для виробництва ДСП/МДФ. Металеві компоненти (арматура, профілі) підлягають збору та переробці як металобрухт. Рециклінг будівельних відходів сприяє суттєвому зменшенню навантаження на сміттєзвалища,

економії природних ресурсів і зменшенню енерговитрат при виробництві нових матеріалів.

б) **Відходи електронного та електричного обладнання (ВЕЕО).** Переробка відходів електричного та електронного обладнання (ВЕЕО) – справа непроста, але вкрай важлива, з огляду на їхній різноманітний склад, де є як коштовні метали, так і небезпечні сполуки. Процедура переробки ВЕЕО, як правило, багатоступенева. Спочатку виконується ручне чи автоматизоване розбирання з метою вилучення окремих частин (батареї, картриджі, лампи, плати, кабелі), що містять потенційно небезпечні речовини або мають значну вартість. Далі відбувається механічне подрібнення та сортування матеріалів, використовуючи різноманітні технології (магнітна сепарація для металів, оптична – для пластику). Після цього, можлива гідрометалургійна чи пірометалургійна обробка, спрямована на вилучення цінних металів (золото, срібло, платина, мідь). Пластик може бути перероблений задля отримання вторинної сировини, а скло з екранів – для виготовлення нових виробів або будматеріалів. Небезпечні компоненти (наприклад, ртутні лампи, акумулятори, конденсатори) передаються на спеціалізовані підприємства, які займаються їхнім безпечним знешкодженням. Комплексна переробка ВЕЕО дає змогу не лише уникнути забруднення навколишнього середовища токсичними речовинами, але й видобувати цінні ресурси, сприяючи кругообігу матеріалів.

7) **Радіоактивні відходи.** Перед переробкою РАВ збирають у резервуари для тимчасового утримання та визрівання. Система збереження РАВ на АЕС складається з вузлів збору та їхнього тимчасового зберігання. Кубовий залишок, фільтрувальні матеріали разом із шламами та мастильними матеріалами зберігаються окремо. Відпрацьовані фільтрувальні матеріали, сорбенти системою гідротранспорту надходять у резервуари, де утримуються під шаром води. Схема переробки первинних РАВ на АЕС з реакторами типу ВВЕР містить випарні апарати спецводоочищення та вузол реагентів. Після упарювання первинних рідких радіоактивних середовищ на установках

спецводоочищення отримують кубовий залишок, до складу якого входять нерозчинні й розчинні солі натрію, а також заліза, магнію, кальцію тощо. У процесі переробки радіоактивні та інші хімічні речовини виділяють з відходів, а очищену воду повертають у технологічний цикл. На сьогодні для затвердіння РАВ доволі широко у багатьох країнах використовується спосіб бітумування, при якому радіоактивні відходи змішують з бітумом. Бітум - продукт перегонки нафти або кам'яного вугілля. Гідростійкість бітуму забезпечує досить надійну гідроізоляцію включених компонентів. Бітуми привертають увагу такими позитивними властивостями, як непроникність, пластичність, достатня хімічна інертність, невисока вартість, стійкість до впливу мікроорганізмів. Останнім часом розробляються технології, в яких бітум замінюють штучними полімерами. Полімеризація проходить, як правило, без нагрівання. Метод полімеризації особливо зручний для фіксації відпрацьованих іонообмінників. Апаратура при цьому може бути використана та сама, що й для бітумування. Полімерні продукти мають за деякими параметрами кращі в порівнянні з бітумом властивості. Полімери мають добру хімічну стійкість. Термореактивні смоли як сполучні матеріали відрізняються простотою здійснення процесу затвердіння й деякими позитивними властивостями затверділого продукту - стійкістю до впливу механічних, термічних і радіаційних навантажень.

В інших країнах діє різна політика щодо РАВ. Наприклад, Швеція не передбачає використання (переробку) після вивантаження його з реакторів. Згідно з державною політикою, після вивантаження з реакторів та витримки в пристанційних сховищах відходи мають бути розміщені та ізольовані у кристалічних породах. Радіоактивні відходи, які довго живуть, планують розмістити у пункті геологічного поховання на глибині близько 300 м. Короткоживучі РАВ зберігаються неподалік від АЕС Форсмарк на глибині близько 60 м, під дном Балтійського моря. Німеччина не здійснює переробку ВЯП, але користується послугами Франції та Великобританії для переробки свого відпрацьованого палива. Проте у Німеччині є три

майданчики для захоронення РАВ з незначним залишковим тепловиділенням (майданчики «Конрад» (захоронення ще не ведеться), «Асі-2» та «Морслебен»), а також два майданчики для поверхневого зберігання РАВ: «Горлебен» (радіоактивні відходи з високим рівнем тепловиділення і ВЯП) та «Ахаус». У Фінляндії, як і у Швеції, затверджена стратегія прямого поховання ВЯП, тобто відпрацьоване паливо віднесене до категорії ядерних відходів. Радіоактивні відходи розміщують на глибині 60-110 м на майданчиках «Ловііса» та «Олкілуото». ВЯП планується інкапсулювати та розмістити в пункті геологічного поховання на глибині 500 м в скельних породах на майданчику «Онкало», поблизу АЕС Олкілуото. Ядерна програма Франції передбачає закритий ядерний паливний цикл, тому ВЯП не відноситься до категорії відходів. На даний час у Франції напрацьовано близько 1 460 000 м³ радіоактивних відходів різних категорій. Частина з них вже розміщена у пунктах поховання.

Загалом різноманіття відходів за їхнім походженням диктує необхідність використання різноманітних та спеціалізованих технік переробки та утилізації. Кожен тип сміття, від того, що утворюється у побуті, до радіоактивних матеріалів, потребує особливого підходу, який враховує його фізичні та хімічні характеристики, потенційну загрозу, а також перспективи повторного використання. Застосування компостування та анаеробного зброджування органічних відходів, рециклінгу для паперу, скла, пластику та металів, спеціальної термічної обробки небезпечних відходів, а також вилучення цінних компонентів з промислового та електронного сміття – все це є ключовими складовими сучасної системи управління відходами. Перехід від звичного захоронення до комплексних методів переробки та утилізації, що базуються на принципах циркулярної економіки, є не просто екологічною необхідністю, а й економічно обґрунтованим рішенням, що дозволяє ефективно використовувати ресурси, знижувати вплив на довкілля та генерувати додану вартість з того, що раніше вважалося звичайним сміттям. [35-37]

3.2 Переробка та утилізація відходів за класами небезпеки

Застосування уніфікованих підходів до відходів різного ступеня небезпеки є неприпустимим, оскільки це може призвести до неконтрольованого поширення токсичних речовин, інфекційних агентів чи радіонуклідів. Таким чином, для кожного класу небезпеки відходів розроблені та впроваджуються специфічні технологічні рішення, спрямовані на їхнє знешкодження, стабілізацію, регенерацію цінних компонентів або безпечне захоронення

➤ **I клас.** Ключовою технологією для ліквідації таких відходів є високотемпературне термічне знищення (спалювання) у спеціальних інсинераторах, оснащених багат шаровими системами очищення димових газів. Цей спосіб дає змогу повністю розкласти органічні отруйні сполуки та скорочувати обсяг неорганічних небезпечних відходів. Температура спалювання досягає 1200-1400°C, що гарантує термічний розпад навіть найстійкіших речовин, а подальші етапи очищення газів (вологі та сухі фільтри, адсорбери) зводять до мінімуму викиди діоксинів, фуранів, важких металів та кислотних газів. Альтернативні методи охоплюють хімічну нейтралізацію та осадження (для рідких відходів, що містять кислоти, луги або важкі метали), сорбційне очищення для видалення токсичних речовин з розчинів, а також плазмову газифікацію, яка перетворює відходи на синтез-газ за надзвичайно високих температур, що мінімізує утворення токсичних побічних продуктів. Залишки після знешкодження, які все ще можуть містити небезпечні компоненти, підлягають стабілізації (цементування, склування) та подальшому безпечному захороненню на спеціально обладнаних полігонах або у глибоких геологічних сховищах, які забезпечують їхню довготривалу ізоляцію.

➤ **II клас.** Для відпрацьованих нафтопродуктів використовують методи регенерації, як-от фільтрацію, центрифугування чи дистиляцію, щоб отримати базові мастила, які можна використовувати повторно. У випадках, коли регенерація не є можливим, їх спалюють в спеціальних енергетичних установках з рекуперацією енергії, при цьому ретельно очищають димові

гази. Відпрацьовані акумулятори підлягають розбиранню та переробці для вилучення цінних вторинних ресурсів: свинцю, пластику та кислоти. Свинець переплавляють, виробляючи новий метал, а кислоту нейтралізують. Медичні відходи категорії В (епідемічно небезпечні) обов'язково знезаражуються перед подальшою утилізацією. Знезараження може відбуватися шляхом автоклавування, мікрохвильової дезінфекції, хімічної дезінфекції або високотемпературного спалювання у спеціалізованих інсинераторах. Після знезараження їх подрібнюють та відправляють на захоронення, а спалювання додатково зменшує об'єм відходів. До хімічних шлаків та відходів можуть застосовуватися фізико-хімічні методи обробки, такі як коагуляція, флокуляція, іонний обмін, щоб витягувати забруднювачі. Високонебезпечні відходи, які не підлягають регенерації, як і відходи першого класу, підлягають контрольованому захороненню на спеціальних полігонах з системами моніторингу та захисту ґрунтових вод.

➤ **III клас.** Головні методи роботи з цими відходами сконцентровані на їхньому максимальному повторному використанні та переробці. Будівельні відходи підлягають сортуванню та дробленню, після чого бетон, цегла та камінь використовуються як вторинний щебінь для будівництва доріг, для засипки або ж для виробництва нових будматеріалів. Деревина може бути застосована як біопаливо. Зношені шини переробляються шляхом механічного подрібнення на гумову крихту, яку використовують при виробництві покриттів для дитячих майданчиків, спортивних покриттів, асфальтобетонних сумішей, або для виробництва мазуту методом піролізу. Зола та шлаки від спалювання вугілля, за умови їх відповідності нормам безпеки, широко застосовуються у виробництві будматеріалів (цемент, цегла, шлакоблоки) або ж для рекультивації порушених земель та кар'єрів. Органічні відходи цього класу, такі як деякі види сільськогосподарських залишків, можуть бути направлені на компостування або анаеробне зброджування з метою отримання добрив та біогазу. Залишки, які не підлягають переробці, захороняються на спеціалізованих полігонах, обладнаних системами

моніторингу, хоча вимоги до їхнього захоронення є менш суворими, ніж для відходів I та II класів.

➤ **IV клас.** Головний акцент у сфері поводження з відходами цього виду – це роздільний збір та максимальна переробка. Папір, картон, скло, пластик і метали після сортування відправляються на переробні заводи. Папір та картон перетворюються на нові паперові вироби, скло використовується для виробництва нового скла, пластик переробляється на гранули, з яких роблять полімерні матеріали, а метали відправляються на переплавку. Харчові відходи та інші органічні відходи можуть компостуватися для отримання добрив або використовуватись для анаеробного зброджування, щоб виробляти біогаз. Такий підхід дозволяє значно зменшити кількість сміття, що потрапляє на сміттєзвалища, берегти природні ресурси та зменшити викиди газів, що спричиняють парниковий ефект. Відходи, які не можна переробити або утилізувати іншим способом, вивозяться на полігони твердих побутових відходів, де їх захоронюють відповідно до санітарних вимог. Деяка частина змішаних побутових відходів може бути утилізована шляхом спалювання з рекуперацією енергії на сміттєспалювальних заводах. Це дозволяє отримувати тепло та/або електроенергію, одночасно зменшуючи обсяг відходів та використання викопного палива.

Отже, диференційоване обрання технологій з утилізації та переробки сміття, відповідно до класу їх небезпеки, вважається основоположним елементом актуальної екологічної стратегії й ефективного менеджменту ресурсами. Для відходів надзвичайної та високої небезпеки першочерговим є забезпечення максимального знешкодження, стабілізації й надійного відокремлення, часто шляхом застосування високотемпературних процесів або комплексних фізико-хімічних методик, котрі мінімізують їх негативний вплив на екосистему. На противагу цьому, стосовно помірно та малонебезпечного сміття, увага зміщується на максимальне отримання вторинних матеріальних ресурсів й їхнє повторне використання у виробництві через переробку, компостування або енергетичну утилізацію. Цей багатогранний підхід дає змогу не лише дієво

протистояти загрозам, що виникають через відходи, але й сприяє розбудові циркулярної економіки, в якій сміття сприймається не як тягар, а як цінний ресурс, що є фундаментом для сталого розвитку спільноти та захисту довкілля для майбутніх генерацій.

3.3 Роль та можливості населення у переробці та утилізації відходів

Ефективність системи управління відходами, хоч і спирається на сучасні технології та законодавчу базу, суттєво залежить від активної участі та усвідомленого підходу кожного з нас. Звичайні мешканці – не тільки основні джерела побутового сміття, а й ключові гравці у його подальшій долі. Їхні щоденні звички, від відповідального споживання до належного поводження зі сміттям удома, є важливим елементом загальної стратегії зменшення негативного впливу на природу та розвитку економіки замкненого циклу.

Найважливіша справа, яку кожен може зробити, – це зменшення утворення сміття за принципом "зменшуй, повторно використовуй, переробляй" (Reduce, Reuse, Recycle). Це починається зі свідомого споживання: віддавати перевагу товарам з мінімальним пакуванням або у багаторазовій тарі, вибирати речі тривалого використання замість одноразових, планувати покупки, щоб уникнути зайвих харчових відходів. Повторне використання речей, таких як скляні банки, тканинні сумки, багаторазові пляшки для води, ремонт пошкоджених предметів замість викидання, а також обмін або продаж речей, придатних до використання, значно скорочує обсяг сміття на сміттєзвалищах.

Наступний важливий крок – роздільний збір сміття. Навіть за відсутності ідеальної інфраструктури, кожен може почати сортувати сміття вдома: окремо збирати папір, пластик, скло та органічні відходи. Це значно полегшує подальшу переробку та підвищує її ефективність, адже чиста сировина має більшу цінність та краще піддається переробці. Органічні відходи, наприклад харчові залишки, можуть компостуватися вдома або передаватися до спеціалізованих пунктів прийому, якщо така можливість існує. Це не тільки зменшує кількість змішаних відходів, але й дає цінне добриво.

Окрім побутового сміття, важливо розуміти необхідність правильного поводження з небезпечними побутовими відходами, які хоч і утворюються в невеликих кількостях, але можуть серйозно нашкодити довкіллю. До них належать відпрацьовані батарейки, люмінесцентні лампи, прострочені ліки, залишки побутової хімії та електронне сміття. Кожен мешканець має знати та використовувати існуючі пункти прийому таких відходів або брати участь у спеціальних акціях зі збору, організованих місцевою владою чи громадськими організаціями. Навіть одна здана батарейка запобігає забрудненню великої території ґрунту важкими металами.

Важливою є також просвітницька робота. Поширення знань про шкоду сміття та переваги його переробки серед друзів, родичів, у школах та на роботі може значно покращити рівень екологічної свідомості суспільства. Участь у громадських акціях з прибирання територій, підтримка ініціатив щодо розвитку інфраструктури роздільного збору та відкритий діалог з місцевою владою стосовно проблем сміття – також дієвий інструмент впливу.

Зрештою, відповідальна поведінка громадян впливає на економічні та політичні рішення. Збільшення попиту на товари з перероблених матеріалів, підтримка компаній, що дотримуються принципів сталого розвитку, та вимоги до влади щодо розвитку сучасної системи управління відходами, створюють економічні та політичні стимули для переходу до економіки замкненого циклу. Відтак, особиста відповідальність та активна участь кожного громадянина є невід'ємною складовою успішного впровадження стратегії управління відходами, перетворюючи потенційну загрозу на ресурс та сприяючи сталому розвитку суспільства. [38-39]

РОЗДІЛ 4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА МЕТОДИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ

Країни з низьким рівнем доходу мають пропорційно більше сільського населення, а це означає, що б більше людей живуть поблизу місць, де виробляються харчові продукти. У цих країнах для транспортування продуктів харчування з сільської місцевості до міських районів використовується менше упаковки. Тому упаковка становить меншу частку твердих побутових відходів. Це можна побачити у складі твердих побутових відходів у країнах Африки на південь від Сахари та Південної Америки. Ці регіони мають вищу відносну частку харчових в відходів не тому, що вони витрачають більше їжі, ніж інші регіони, а тому, що в їхньому потоці твердих побутових відходів менша частка упаковки. Вищі доходи та більша кількість урбанізованого населення потребують більшої кількості упаковки для безпечного транспортування продуктів харчування з сільської до міської місцевості. Крім того, споживачі з вищим рівнем доходу схильні надавати пріоритет зручності, в результаті чого в потоці твердих побутових відходів виявляється більше одноразових продуктів та упаковки від доставки додому та їжі на винос. Ці споживачі також мають більше одноразових відходів. Також ці споживачі також мають більше вільного доходу для витрат на такі товари, як одяг та засоби особистої гігієни. Вплив їхніх моделей споживання на склад ТПВ можна побачити, наприклад, у складі ТПВ у Північній Америці та Північній та Західній Європі.

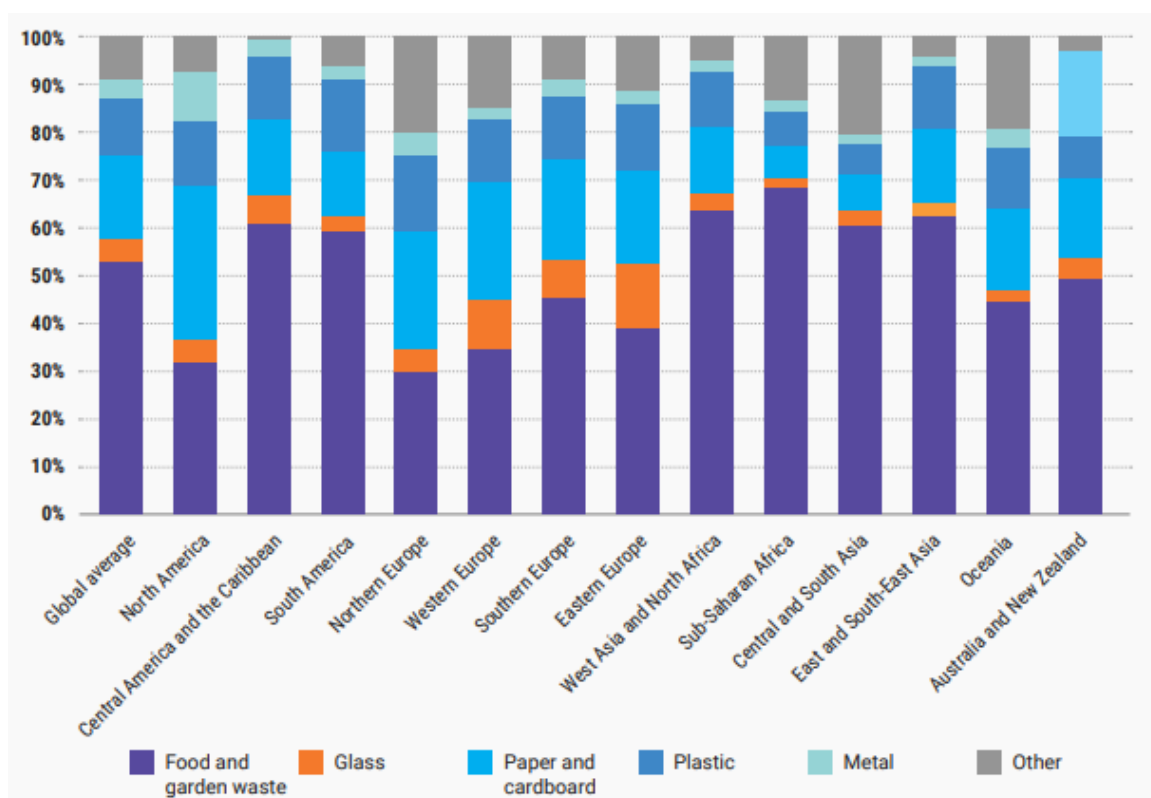


Рис. 6 Середньосвітовий та регіональний розподіл складу твердих побутових відходів. («Інше» включає такі товари, як текстиль, деревина, гума, шкіра, а також засоби побутової й особистої гігієни та електронні відходи.) [44]

Слід також зазначити що у глобальному плані 91% світових пластикових відходів не переробляється. За весь життєвий цикл пластмас у 2019 році лише 9% пластикових відходів було перероблено, 19% спалено, майже 50% потрапило на санітарні звалища, а решта 22% були неправильно утилізовані (утилізовані на неконтрольованих сміттєзвалищах, спалені у відкритих кар'єрах або потрапляли в навколишнє середовище). За умови збереження звичайної ситуації (без подальших втручань), кількість неправильно утилізованих пластикових відходів майже подвоїться з 2019 по 2040 рік. Тим часом прогнозований глобальний рівень переробки пластику на 2040 рік залишається таким самим: менше 10%. Тим часом, світове споживання пластику зросло в чотири рази за останні 30 років. Пластик створює унікальні бар'єри для переробки, яких немає в інших матеріалах, таких як скло, алюміній та папір, такі як труднощі зі збором та сортуванням, небезпека токсинів та відсутність прибутковості. Стосовно переробки металів, можна взяти до прикладу такий метал як алюміній (Al), 74,5% якого було вироблено за весь час в усьому світі, досі використовується. Алюміній нескінченно придатний для переробки та є одним із найбільш перероблюваних матеріалів, також перероблений алюміній заощаджує 94% вуглецю та 93% енергії, необхідної для виробництва нового алюмінію. З 1991 по 2016 рік вуглецевий слід виробництва переробленого алюмінію в зменшився на 60% , а енергія, необхідна для виробництва переробленого алюмінію, зменшилася на 49%. Скло - такий матеріал який можна переробляти нескінченно без втрати якості. У 2021 році рівень переробки скляної упаковки в ЄС становив 75,6%, а також середній рівень збору скляної упаковки в ЄС у 2022 році становив 80,2%. Це означає, що багато людей у ЄС сортують скло для переробки, що важливо, оскільки якщо скляна пляшка потрапить на сміттєзвалище, її розкладання може тривати до мільйона років. Однак у світі, на жаль, тільки 21% скла переробляється.

Папір. За оцінками, на один аркуш паперу формату А4 використовується в середньому 10 літрів, а в деяких випадках до 20 літрів. Кожна тонна переробленого паперу економить 30 000 літрів води та 17 дерев. Виробництво переробленого паперу потребує на 28-70% менше енергії, ніж виробництво первинного паперу. У 2022 році паперова та картонна упаковка мала найвищий рівень переробки серед усіх пакувальних відходів у ЄС – 83,2% , далі йдуть метал (75%), скло (75%) та пластик (41%). Що стосується всього паперу (а не лише

упаковки), то у 2023 році рівень переробки всієї паперової продукції в Європі досяг рекордно високого рівня в 79,3% що є значно вищим за світовий рівень (59,9%).

Не менш важливими є електронні відходи, які наразі є найшвидше зростаючим потоком відходів у світі, з річним темпом зростання 3-4%. У 2022 році лише 22,3% електронних відходів було перероблено у світі. Решта викидається, продається або переробляється за поганих умов, що призводить до виділення токсичних хімічних речовин, таких як свинець та ртуть. Зростання кількості електронних відходів у п'ять разів перевищує темпи їх переробки. [43]

Ступінь неконтрольованого управління твердими побутовими в відходами (ТПВ) значно варіюється залежно від регіону. Найнижчі рівні управління відходами відбувається в країнах Африки на південь від Сахари та Центральній і Південній Азії, тоді як у Північній Америці та Західній Європі майже всі ці відходи утилізуються в контрольованих місцях. Інші відмінності включають той факт, що Північна Америка переважно покладається на санітарне захоронення на звалищах, тоді як у Західній Європі рівень переробки вищий, а перетворення відходів на енергію є домінуючим методом утилізації твердих побутових відходів

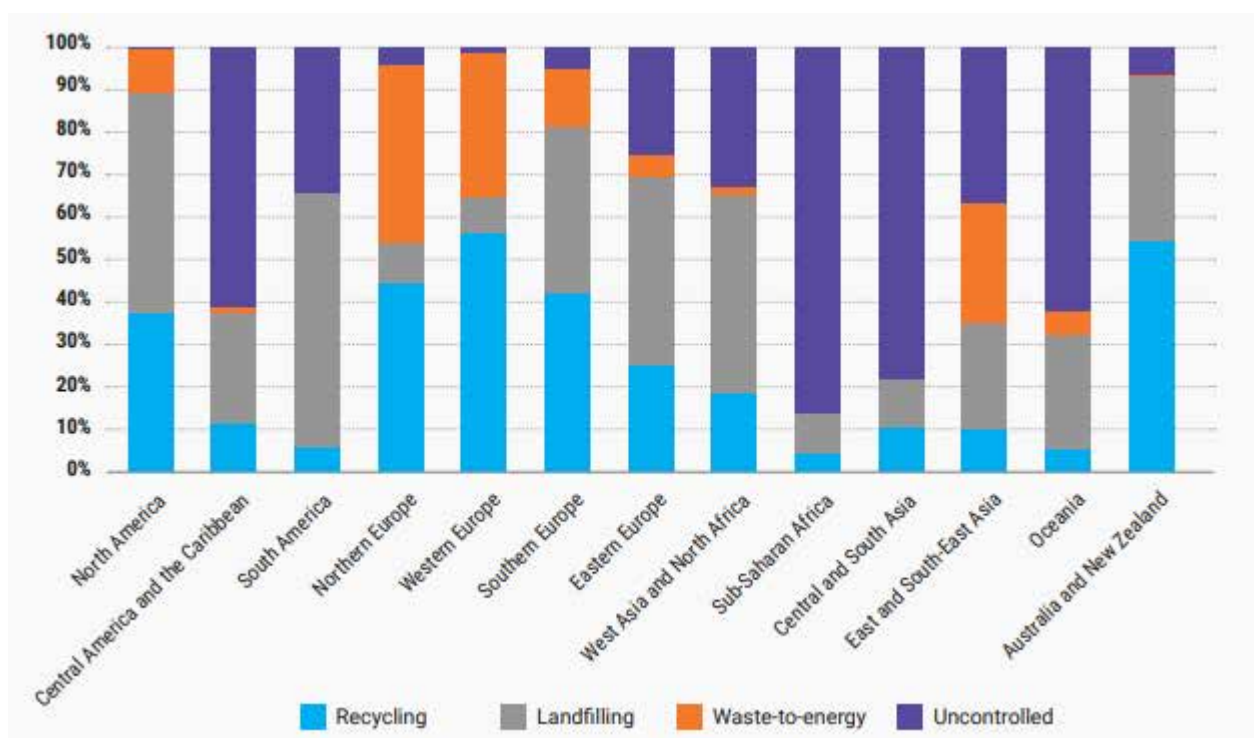


Рис. 7 Регіональний розподіл місць утилізації твердих побутових відходів (2020) [46]

Повторне використання та переробка зменшують попит на енергоємний та екологічно шкідливий видобуток сировини, дозволяють оцінювати відходи як

ресурс та запобігають забрудненню від їх потрапляння в навколишнє середовище. Повторне використання займає важливе місце в ієрархії відходів, оскільки воно не передбачає енергоємних процесів на відміну від переробки. Показники переробки суттєво різняться між країнами та регіонами, причому невелика кількість країн з високим рівнем доходу повідомляє про рівень переробки понад 50 відсотків, тоді як у країнах Африки на південь від Сахари та у Південній Америці рівень переробки ближче до 5 в відсотків. Зазначені показники переробки не враховують матеріали, які були використані повторно (або, наприклад, харчові відходи, що згодувалися курям, або компостовані вдома чи на громадських компостних установках). Більше того, показники переробки не враховують матеріали, які були експортовані для переробки, а потім відхилені (утилізовані) через забруднення або неправильне маркування.

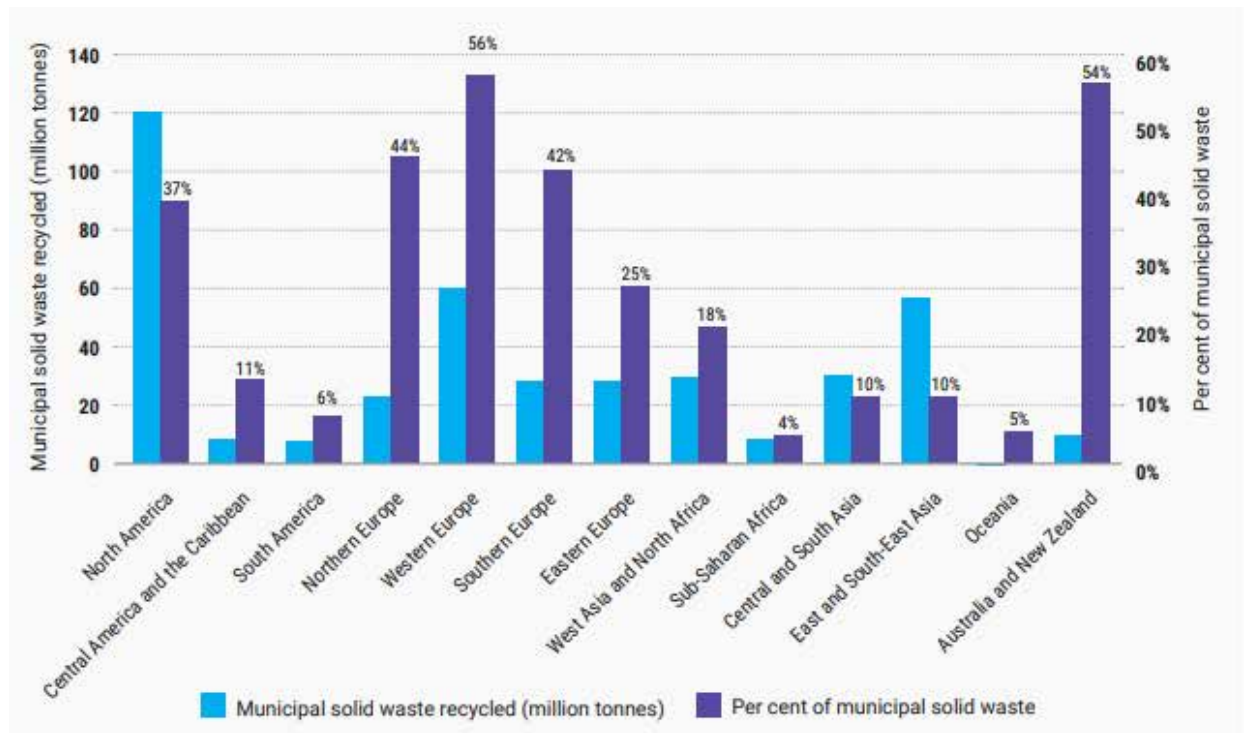


Рис. 8 Перероблені тверді побутові відходи (млн тонн) та показники переробки за регіонами (2020) [44]

Як показано на рисунку 8, Північна та Південна Європа мають один з найвищих показників переробки відходів у світі (44 та 42 відсотки відповідно), хоча загальна кількість відходів, що переробляються у Східній та Південно-Східній Азії, вища, ніж обсяг перероблених відходів у цих європейських регіонах разом узятих, частково тому що значна кількість матеріалів перевозиться з Європи до Азії для переробки (що створює ризик подвійного врахування). «Переробка» тут стосується механічної переробки. Хімічна переробка все ще перебуває на ранній стадії розвитку, і точні припущення щодо її впливу та внеску ще не можна

зробити. Однак можна сказати, що всі технології переробки відходів все ще вимагають їх збору відповідним чином та транспортування на місце, і що такі процеси вимагають постійної сировини і тому можуть конкурувати із зусиллями щодо скорочення відходів.

Термічне перетворення відходів на енергію, також відоме як спалювання з рекуперацією енергії, – це метод обробки відходів, який використовується у відносно невеликій кількості країн. Багато урядів все частіше надають пріоритет скороченню утворення відходів, їхньому повторному використанню та переробці як більш економічно ефективним та екологічно безпечним заходам, ніж використання технології перетворення відходів на енергію. Перетворення відходів на енергію являє собою лінійне використання ресурсів, оскільки матеріали, що спалюються, ніколи не можуть бути відновлені та використані повторно. Хоча технології перетворення відходів на енергію широко використовуються в деяких промислово розвинених країнах, залишаються питання щодо впровадження цих технологій. Питання про те, чи варто впроваджувати перетворення відходів на енергію, є дуже суперечливим, оскільки багато людей стверджують, що технології термічної обробки зменшують стимули до зменшення утворення відходів та переходу до суспільства з нульовими відходами та низьким вмістом вуглецю. Технології термічної обробки залежать від енергії, що вивільняється з висококалорійних відходів (більше 7 мегаджоулів на кг), а саме пластмас, картону, паперу та текстилю, для виробництва електроенергії. Оскільки це матеріали, які, найімовірніше, будуть збиратися неофіційними збирачами відходів для "переробки". З цієї причини асоціації збирачів відходів у Латинській Америці, Африці та Азії протестували проти спалювання, вказуючи на те, що було б бажано розробити комплексний план управління твердими побутовими відходами, заснований на аналізі потоків матеріалів, який інтегрує такі концепції, як ієрархія відходів, циркулярна економіка та створення зелених робочих місць. Інші проблеми включають обмеження технологій термічного спалювання щодо переробки вологих харчових відходів, які можуть домінувати в потоках побутових відходів, неефективні методи збору відходів, відсутність фінансової підтримки, відсутність політики, пов'язаної з проектами енергетичного відновлення, відсутність координації між урядовими органами, брак можливостей екологічного регулювання, низька енергоефективність та утворення небезпечних відходів системами зменшення забруднення. Парникові гази та інші забруднювачі повітря, що викидаються в результаті процесів горіння, також можуть перешкоджати здатності країн виконувати зобов'язання,

пов'язані з їхніми національно визначеними внесками (NDC) та квотами на викиди за схемою торгівлі викидами.

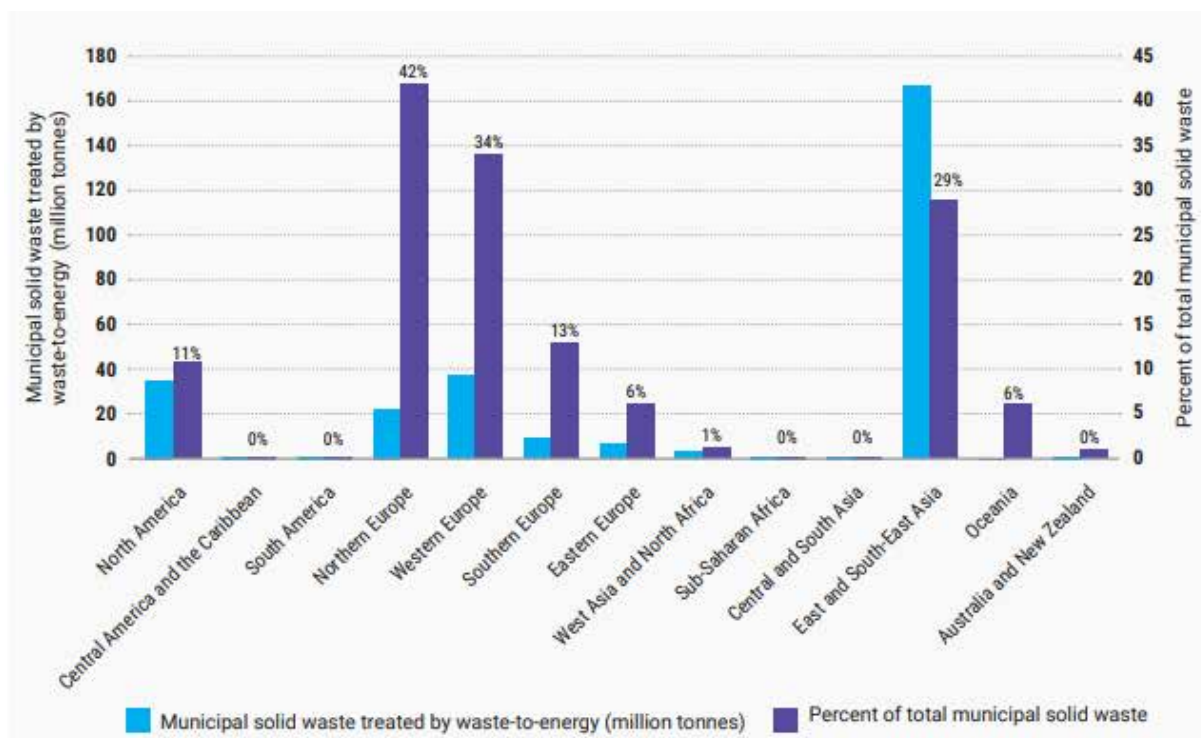


Рис. 9 Тверді побутові відходи, оброблені на заводах з переробки відходів на енергію (млн тонн), та відсоток від загальної кількості твердих побутових в відходів, оброблених за допомогою переробки в відходів на енергію, за регіонами. [44]

Альтернативні методи термічної обробки включають спільне спалювання низькоцінних пластмас у цементних печах. Придатність цієї обробки залежить від наявності цементних печей на відповідній відстані від міських районів. Також проводяться дослідження та розробки з піролізу пластикових відходів у дизельне паливо, компенсуючи потребу в первинному викопному паливі. Однак існують занепокоєння щодо стандартів безпеки під час піролізу в кустарному виробництві, а також щодо викидів вуглецю та інших речовин, що виділяються в результаті спалювання змішаних пластмас та пов'язаних з ними добавок, які можуть негативно вплинути на місцеву якість повітря та здоров'я населення, а також сприяти глобальній зміні клімату.

Досить високий відсоток сміття також розташовується на **санітарних полігонах**. Санітарний полігон – це спроектований об'єкт для утилізації твердих відходів на землі контрольованим способом. Певні ключові особливості відрізняють санітарні полігони від сміттєзвалищ:

- Вибір місця – зазвичай нижче за течією від населених пунктів та з непористою підстилаючою геологією;
- Геомембрани або відповідні бар'єри для запобігання витоку в навколишнє середовище, а також технології для збору рідкого фільтрату та система управління фільтратом;
- Утилізація звалищного газу з утилізацією або рекуперацією енергії;
- Розміщення відходів у комірках з ущільненням та щоденним покриттям інертними матеріалами;
- Огорожі, вагові платформи та заходи безпеки.

Поступове розкладання біорозкладних відходів на звалищах призводить до утворення звалищного газу (також званого біогазом), який багатий на метан. Метан, парниковий газ з потенціалом потепління, більш ніж у 80 разів більшим, ніж у CO₂ протягом 20-річного періоду, відповідає за глобальне потепління на півградуса Цельсія на сьогодні. Щоб зменшити викиди метану зі звалищ, багато країн надали пріоритет перенаправленню біорозкладних відходів на переробку або компостування чи анаеробне розкладання. Посилення зусиль щодо скорочення та переробки відходів зменшить кількість відходів, що утилізуються на звалищах. Тим не менш, звалища, ймовірно, залишатимуться важливою частиною інфраструктури відходів, оскільки вони можуть утримувати залишкові відходи, з яких не можна відновити жодні подальші матеріали та/або енергію (включаючи золошлак з установок з переробки відходів на енергію). Там, де інфраструктура управління відходами перебуває на початковому етапі, будівництво та використання звалищ може бути важливим кроком до більш

сталого управління твердими відходами. Напіваеробне звалище, технологія обробки відходів, що знаходиться посередині між сміттєзвалищем та санітарним звалищем, пропонує доступний варіант і може перетворити існуючі сміттєзвалища на напіваеробні, тим самим «модернізуючи» їх. Дані з Мозамбіку свідчать про те, що модернізація звалища до напіваеробного звалища може зменшити викиди газу зі звалищ на 40 відсотків.

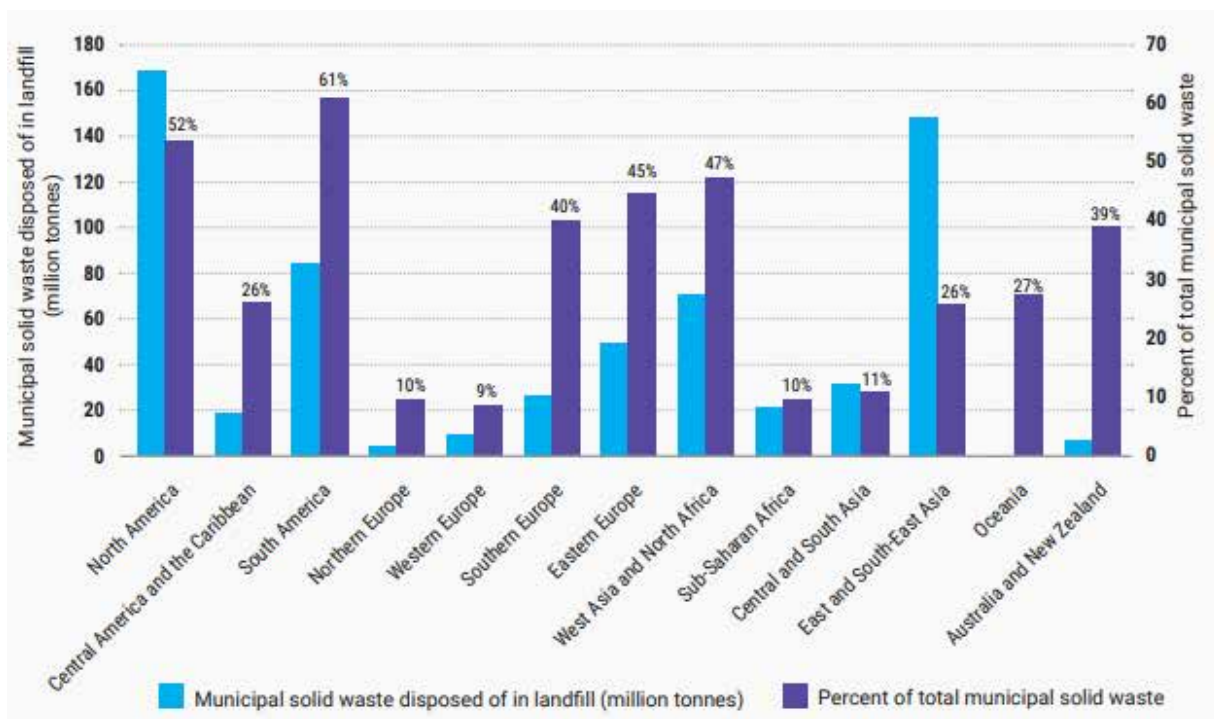


Рис. 10 Рівень захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) та відсоток від загальної кількості ТПВ, що відправляються на звалища, за регіонами (2020).

[44]

Звалища та відкрите спалювання відходів. Хоча люди викидають та спалюють відходи з доісторичних часів, зростання населення та кількості відходів разом зі зростаючою складністю матеріалів означає, що сьогодні неконтрольована практика утилізації відходів стає дедалі проблематичнішою. Рисунок 11 показує поточну залежність від скидання та відкритого спалювання твердих побутових відходів у всьому світі. У світовому масштабі поширена практика відкритого скидання та спалювання відходів створює значну проблему для здоров'я людини та планети. За оцінками, від 400 000 до 1 мільйона людей

на Глобальному Півдні щороку помирають від хвороб, пов'язаних з неправильним управлінням відходами, які включають діарею, малярію, хвороби серця та рак. Викинуті відходи приваблюють шкідників і закупорюють каналізацію, що призводить до місцевої шкоди та створенню місць розмноження хвороботворних комарів, і зрештою сприяє забрудненню моря пластиком.

Спалювання на відкритому повітрі – це спосіб запобігти накопиченню відходів у навколишньому середовищі, на подвір'ях та сміттєзвалищах, а також спосіб видалення пластикової оболонки з металів під час неформальної переробки. Оскільки високі температури знищують патогени, спалювання відходів може бути рекомендованою практикою для лікарень та медичних центрів, які не мають служби управління відходами. Однак спалювання відходів створює широкий спектр забруднювачів повітря, включаючи ненавмисні стійкі органічні забруднювачі та інші хімічні речовини, що становлять загрозу для громадського здоров'я. Забруднювачі з неправильно керованих відходів можуть біоакумулюватися в харчовому ланцюзі та в грудному молоці матері, що може мати наслідки для багатьох поколінь. Чорний вуглець, що виділяється в результаті відкритого спалювання, має негативний вплив на здоров'я людини та довкілля. Він є потужним агентом потепління атмосфери, який збільшує швидкість танення полярного льоду. [44-47]

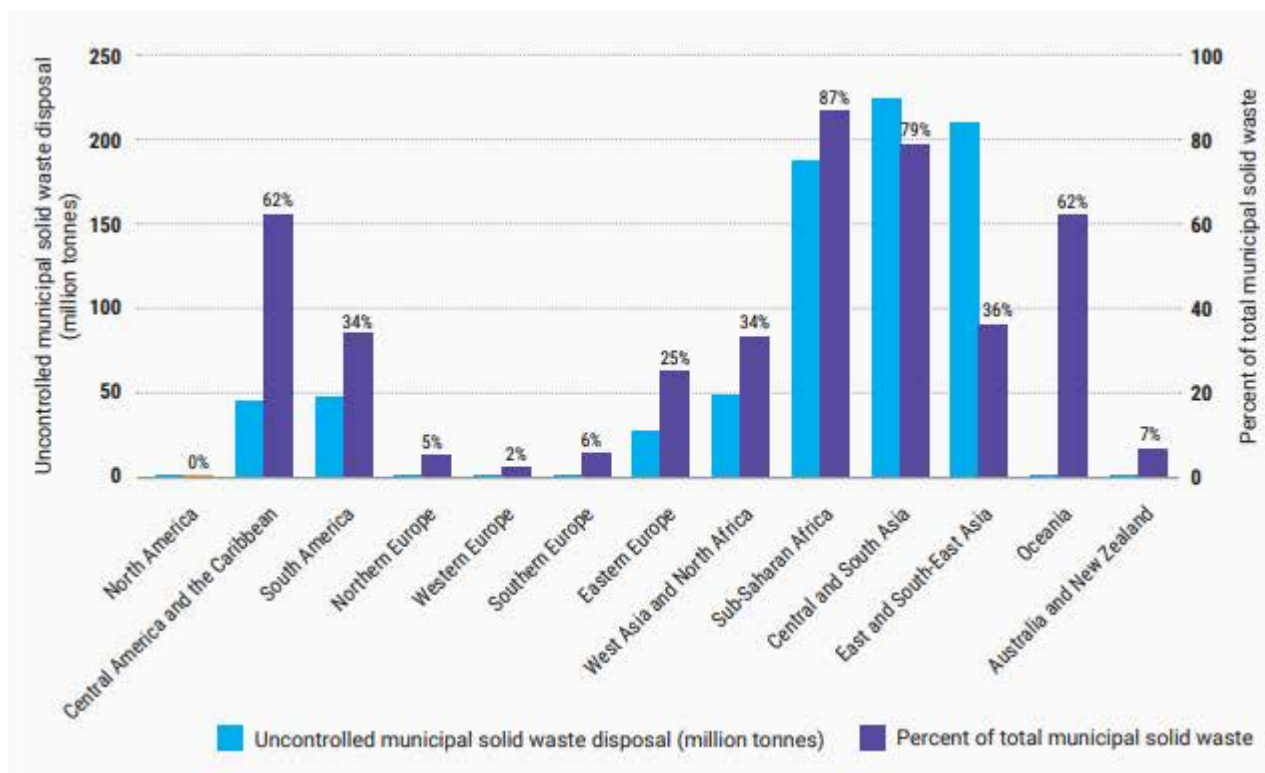


Рис. 11 Регіональний розподіл неконтрольованого захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) у мільйонах тонн та відсотках від загального обсягу ТПВ. [44]

Висновки

Дослідження підтвердило, що дієве управління відходами – це не тільки питання санітарно-гігієнічного добробуту, але й ключовий стратегічний чинник для сталого розвитку суспільства та збереження життєздатності екосистем. Зростання обсягів сміття, їхня різноманітність і потенційна шкідливість вимагають всебічного аналізу наявних підходів та пошуку нових, екологічно чистих і економічно вигідних рішень.

У процесі дослідження було ретельно проаналізовано класифікацію відходів за їх походженням, яка включає: побутові, промислові, сільськогосподарські, медичні, будівельні та радіоактивні відходи. Кожен з цих типів представляє специфічні екологічні ризики: від забруднення ґрунтових і поверхневих вод фільтрами зі сміттєзвалищ і викидів парникових газів до поширення токсичних речовин, інфекційних агентів та довготривалого радіоактивного забруднення. Встановлено, що без належного контролю та ефективних технологій поводження, ці ризики кумулятивно впливають на всі компоненти навколишнього середовища, сприяючи деградації екосистем і ставлячи під загрозу здоров'я людини.

Особлива увага була приділена класифікації відходів за ступенем небезпеки, що є основоположним критерієм для вибору відповідних методів утилізації. Відходи першого (надзвичайно небезпечні) та другого (високонебезпечні) класів потребують застосування найсуворіших методів знешкодження, таких як високотемпературне спалювання у спеціальних інсинераторах з багатоступневими системами очищення газів, хімічна нейтралізація, плазмова газифікація, а також кондиціонування (цементування, склування) та тривале ізольоване захоронення. Ці технології призначені для повного знищення токсичних речовин або їх надійної ізоляції від біосфери. Для помірно (третій клас) та малонебезпечних (четвертий клас) відходів акцент переноситься на максимальне вилучення вторинних матеріалів і їхнє повернення у

виробничий цикл. Це передбачає рециклінг паперу, скла, пластику, металів, компостування органічних відходів, а також енергетичну утилізацію шляхом спалювання з рекуперацією енергії.

Проведене дослідження підкреслює, що екологічне обґрунтування технологій переробки та утилізації відходів має ґрунтуватися на принципах ієрархії поводження з відходами: запобігання утворенню, повторне використання, рециклінг, інші види утилізації і тільки потім – безпечне захоронення. Вибір конкретної технології повинен враховувати не тільки її технічну ефективність і економічну доцільність, але й мінімальний вплив на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу відходів, а також потенціал для відновлення ресурсів.

Робота також висвітлила, що роль пересічних громадян є невід'ємною складовою успішної системи управління відходами. Свідоме споживання, скорочення обсягів сміття, активна участь у роздільному зборі та правильне поводження з небезпечними побутовими відходами є основними кроками, які може зробити кожен для сприяння екологічній безпеці. Освітня та просвітницька діяльність, а також громадська активність, формують основу для зміни суспільної свідомості та створення попиту на екологічно відповідальні рішення.

Був проведений детальний аналіз шляхів переробки та методів утилізації відходів за різними регіонами світу та висвітлені найбільші проблеми що стосуються цих методів. За даними рисунків також можна побачити в якому регіоні які методи поводження з відходами домінують, а які, навпаки, майже не використовуються.

Загалом, результати дослідження демонструють, що перехід до ефективної та екологічно обґрунтованої системи управління відходами в Україні, відповідно до європейських стандартів, є не тільки можливим, але й необхідним. Це потребує комплексного підходу, що охоплює удосконалення законодавчої бази, впровадження сучасних технологій, розширення інфраструктури роздільного збору та переробки, а також

підвищення рівня екологічної свідомості та активної участі всіх зацікавлених сторін – від держави та бізнесу до кожного громадянина. Лише через синергію цих зусиль можна досягти значного зниження негативного впливу відходів на навколишнє середовище, перетворити їх із джерела проблем на цінний ресурс та забезпечити стале, екологічно чисте майбутнє.

Список використаних джерел та літератури

1. Білявський, Г. О., Фурдуй, Р. С., & Костіков, І. Ю. (2005). *Основи загальної екології та неоекології: Підручник*. Київ: Либідь. 407 с.
<https://surl.li/bgnqlt>
2. McNeill, J. R. (2001). *Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World*. New York: W. W. Norton & Company. С. 183-185
https://www.researchgate.net/publication/236829204_Something_New_Under_the_Sun_An_Environmental_History_of_the_Twentieth-Century_World_review
3. Hughes, J. Donald. (2000). *The History of Garbage: From Ancient Times to the Present Day*. Reaktion Books.
4. Програма Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища (UNEP). *Global Waste Management Outlook*
<https://www.unep.org/topics/chemicals-and-pollution-action/waste>
5. Світовий банк (World Bank). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*.
<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
6. Європейське агентство з навколишнього середовища (European Environment Agency - EEA) *State of the Environment Reports (SOER)*
<https://www.eea.europa.eu/themes/waste>
7. Всесвітня організація охорони здоров'я (WHO) (Environmental health). Air Pollution
https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
8. Ellen MacArthur Foundation (Biodiversity) [Електронний ресурс]
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/biodiversity/overview>
9. Про управління відходами: Закон України від 01.12.2022 № 2320-IX
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
10. Про відходи : Закон України від 05 квітня 1998 р. № 187/98-ВР.
URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>

11. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. *Реформа управління відходами триває: розпочато обговорення технічних вимог до сміттєспалювальних установок в Україні*
<https://mepr.gov.ua/reforma-upravlinnya-vidhodamy-tryvaye-rozpochato-obgovorennya-tehnichnyh-vymog-do-smittyespalyuvalnyh-ustanovok-v-ukrayini/>
12. Google Scholar: *History of waste management and the social and cultural representations of waste* [Електронний ресурс]
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-09180-8_7
13. Agro-Waste-Derived Bioplastics: Sustainable Innovations for a Circular Economy/ Yugal Kishore Mohanta, Awdhesh Kumar Mishra, Lakshmayya Nsv, Jibanjyoti Panda
https://www.researchgate.net/publication/391200157_Agro-Waste-Derived_Bioplastics_Sustainable_Innovations_for_a_Circular_Economy
14. Rashmi Vittal. Working towards Full Circle Circularity - a no waste world in the fourth industrial revolution
https://www.researchgate.net/publication/353306218_Working_towards_Full_Circle_Circularity_-_a_no_waste_world_in_the_fourth_industrial_revolution
15. Richmond Dzramado. Waste Disposal
https://www.academia.edu/12021988/Waste_Disposal?sm=b
16. Грушевський, М. С. Історія України-Руси. (Багатотомне видання).
<http://izbornyk.org.ua/>
17. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Національні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні
<https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-pryrodnogo-seredovyshha-v-ukrayini/>

18. Eurostat. (2023). *Waste statistics*.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics
19. GreenMatch UK. (2024). *Why Are Landfills Bad for the Environment?*.
<https://www.greenmatch.co.uk/blog/landfills-environmental-impact>
20. РЕЛАЙН. (2019). *Сміттєзвалища та їх вплив на довкілля*.
<https://www.reline.com.ua/statti/smittezvalyshha-ta-dovkillya/>
21. EPL. (2017). *Полісі-бриф «Поводження з небезпечними відходами по-українськи»*.
<https://epl.org.ua/human-posts/polisi-brif-povodzhennya-z-nebezpechnymy-vidhodamy-po-ukrayinsky/>
22. MCL. (2021). *Оцінка впливу на довкілля при будівництві полігонів ТПВ*.
<https://mcl.kiev.ua/ocenka-vozdjestviya-na-okruzhajushhuju-sredu-pri-stroitelstve-poligonov-tbo/>
23. Про затвердження Державних санітарно-протиепідемічних правил і норм щодо поводження з медичними відходами: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.06.2015 № 325
<https://zakon.rada.gov.ua/go/z0959-15>
24. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку: Закон України від 08.02.1995 № 39/95-ВР
25. КП Міськтеплокомуненерго. Класифікація відходів.
<https://kp-miskteplokomunenergo.info-gkh.com.ua/news/509>
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80#Text>
26. Центр громадського здоров'я МОЗ України. Робота з медичними відходами: нові підходи. (19.01.2023)
<https://www.phc.org.ua/news/roboata-z-medichnimi-vidkhodami-novi-pidkhodi>
27. Р. І. Жовновач. І. В. Ніколаєв. *Екологічні ризики у формуванні екологоекономічної системи металургійних підприємств*
http://www.dy.nayka.com.ua/pdf/1_2020/5.pdf

28. Зелене дос'є. Як сільськогосподарські практики впливають на довкілля та соціальний розвиток.
<https://www.dossier.org.ua/news/yak-silskogospodarski-praktiki-vplivayut-na-dovkillya-ta-socialniy-rozvitok/>
29. Євроком. Електронні відходи: чим вони небезпечні та як зменшити їх кількість? (03.11.2021)
https://eurocom-c.com/news/industrial_computers/e-waste
30. CBRNE UA. РАДІАЦІЙНА НЕБЕЗПЕКА
<https://alert.rcb.gov.pl/ua/%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0-%D0%BD%D0%B5%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D0%B0/>
31. Форест-Україна. Утилізація будівельного сміття | Переробка будівельних відходів
<https://forestukr.com/recycling/pererobka-ta-utyilizacziya-budivelnyh-vidhodiv/>
32. Джигирей В. С., Стольберг В. Ф. *Основи екології та охорона навколишнього природного середовища*: Навч. посіб. — К.: Знання, 2009. — 421 с
33. Рудик А. М. *Управління відходами*: Навч. посібник. — К.: Кондор, 2011. — 368 с.
34. Шевчук В. Я., Саталкін Ю. М., Навроцький В. М. *Екологічне управління*: Підручник. — К.: Центр учбової літератури, 2011. — 568 с
https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=meIZmu4AAAAJ&citation_for_view=meIZmu4AAAAJ:HoB7MX3m0LUC
35. European Environment Agency (EEA). Waste recycling in Europe
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/waste-recycling-in-europe>
36. Розпорядження Кабінету Міністрів України “Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року”

(від 20 лютого 2019 р. № 117-р)

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>

37.Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів" (від 11.02.2023 № 110)

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1102-2023-%D0%BF#Text>

38.ІАЕА (International Atomic Energy Agency). Radioactive Waste Management Glossary.

<https://www.iaea.org/publications/6682/radioactive-waste-management-glossary>

39.ГО "Екологія-Право-Людина" (ЕПЛ). Порядок поводження з відходами руйнації в Україні: чинне нормативно-правове регулювання

<https://ep1.org.ua/announces/poryadok-povodzhennya-z-vidhodamy-rujnatsiyi-v-ukrayini-chynne-normatyvno-pravove-regulyuvannya/>

40.Sue Stewart. Recycling. Oxford University press. 2008. С 72

41. Medium. Life Cycle Assessment.

https://medium.com/@ramaa.rao_24124/life-cycle-assessment-f7885d3bb750

42.Консалтингова група"Сім променів". Відходи

<https://7promeniv.com.ua/vidkhody.html>

43.Eurostat (2023). Waste statistics. European Union.

<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index>

44. United Nations environment programme. Beyond an age of waste Turning rubbish into a resource.

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44939/global_waste_management_outlook_2024.pdf?sequence=3

45.Akera (The Sustainable Agency) 50 + Interesting Recycling Facts & Statistics.

<https://thesustainableagency.com/blog/recycling-facts-and-statistics/>

46.recycl3r. What are the recycling rates in the World? [Электронный ресурс]

<https://recycl3r.com/what-are-the-recycling-rates-in-the-world/>

47. Financial Times. Why the world's recycling system stopped working.

<https://www.ft.com/content/360e2524-d71a-11e8-a854-33d6f82e62f8>