

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С. З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ**

Кафедра сталого природокористування
та захисту довкілля

Допускається до захисту

«_____» _____ 2025 р.

Зав. кафедри _____

(підпис)

к.б.н., доцент Петро ХІРІВСЬКИЙ

наук. ступ., вч. зв. (ініціали та прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Бакалавр

(рівень вищої освіти)

**на тему: «Екологічна оцінка впливу пластикового забруднення на
урбанізовані території та шляхи його мінімізації»**

Виконала: студентка групи Тз-41

спеціальності 183 «Технології захисту

навколишнього середовища»

Занкович Вікторія Богданівна

Дубляни 2025

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування
Факультет агротехнологій та екології

Кафедра екології

Рівень вищої освіти «Бакалавр»

Галузь знань 18 «Виробництво та технології»

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри _____
к.б.н., доцент Петро ХІРІВСЬКИЙ
« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студентки

Занкович Вікторії Богданівні

1. Тема роботи: «Екологічна оцінка впливу пластикового забруднення на урбанізовані території та шляхи його мінімізації»

Затверджена наказом по університету № 631/к-с від 21 листопада 2023 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 05 червня 2025 р.

3. Вихідні дані для кваліфікаційної роботи

Літературні джерела, нормативні документи, методики виконання досліджень, законодавча база України.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які необхідно розробити)

Вступ

1 Огляд літератури

1.1 Пластикове забруднення як екологічна проблема сучасності

1.2 Вплив пластикового забруднення на компоненти урбанізованих екосистем

1.3 Здоров'язбережувальні виклики мікропластикового забруднення міст

1.4 Нормативно-правове регулювання поводження з пластиком в Україні та світі

2 Об'єкт, умови та методика досліджень

2.1 Екологічний стан урбанізованих територій Львівської області

2.2 Методологічні засади та індикатори оцінки пластикового забруднення в урбанізованих середовищах

2.3 Теоретичні моделі оцінки екологічного впливу пластикового забруднення

3 Результати дослідження

3.1 Аналіз просторово-кількісних характеристик пластикового забруднення урбанізованих територій

3.2 Регіональні аспекти формування та акумуляції полімерних відходів

3.3 Міграція та трансформація мікропластикових частинок у навколишньому середовищі

3.4 Витоки мікропластику в урбанізованих екосистемах і необхідність переходу до циркулярної моделі Технологічні рішення для управління та переробки пластикових відходів

3.5 Євроінтеграційні заходи для мінімізації пластикового забруднення в містах

4 Охорона праці

4.1 Ідентифікація потенційних небезпек та шкідливих факторів

4.2 Заходи щодо попередження та мінімізації небезпек

Висновки

Бібліографічний список

5. Перелік графічного матеріалу (подається конкретний перерахунок аркушів з вказуванням їх кількості)_____

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	Іванків М. Я. доцент кафедри екології			
4	Городецький І. М., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання 21 листопада 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	При-мітка
1	Написання вступу та розділу «Огляд літератури»	21.11.23 р.– 04.05.24 р.	
2	Написання розділу «Об’єкт, умови та методика досліджень»	05.05.24 р.– 16.12.24 р.	
3	Написання розділу «Результати досліджень»	17.12.24 р.– 15.04.25 р.	
4	Написання розділу «Охорона праці», формулювання висновків, укладання списку використаних джерел	16.04.25 р.– 05.06.25 р.	

Студентка _____ Вікторія ЗАНКОВИЧ
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Мар’яна ІВАНКІВ
(підпис)

УДК 504.05:504.06:628.47:711.4

Екологічна оцінка впливу пластикового забруднення на урбанізовані території та шляхи його мінімізації. Занкович В. Б. Кваліфікаційна робота. Кафедра сталого природокористування та захисту довкілля. Львів-Дубляни, ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького, 2025.

65 ст. текст. част., 10 табл., 15 рис., 41 джерела

У роботі здійснено комплексний аналіз сучасних наукових даних щодо походження, розповсюдження та екологічного впливу пластмасових відходів в урбанізованих середовищах. Проаналізовано просторово-кількісні масштаби акумулювання пластикових відходів, включно з поширенням макро-, мікро- та нанопластику, а також досліджено їхні шляхи міграції в компонентах довкілля.

Встановлено прямі причинно-наслідкові зв'язки між пластиковим забрудненням та іншими екологічними проблемами, такими як зміна клімату, втрата біорізноманіття та погіршення здоров'я населення.

Проведено оцінку впливу пластикових відходів на екосистеми та життєдіяльність людини, а також соціально-економічних наслідків цієї проблеми. На основі отриманих результатів обґрунтовано та запропоновано комплекс шляхів мінімізації пластикового забруднення, що включає впровадження екологічно безпечних альтернатив, оптимізацію системи збору та переробки відходів, застосування принципів циркулярної економіки, підвищення екологічної свідомості населення та вдосконалення законодавчої бази.

Проаналізовано питання охорони праці.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	9
1.1 Пластикове забруднення як екологічна проблема сучасності .	9
1.2 Вплив пластикового забруднення на компоненти урбанізованих екосистем	13
1.3 Здоров'язбережувальні виклики мікропластикового забруднення міст	17
1.4 Нормативно-правове регулювання поводження з пластиком в Україні та світі	19
2 ОБ'ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23
2.1 Екологічний стан урбанізованих територій Львівської області	23
2.2 Методологічні засади та індикатори оцінки пластикового забруднення в урбанізованих середовищах	27
2.3 Теоретичні моделі оцінки екологічного впливу пластикового забруднення	29
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	31
3.1 Аналіз просторово-кількісних характеристик пластикового забруднення урбанізованих територій	31
3.2 Регіональні аспекти формування та акумуляції полімерних відходів	37
3.3 Міграція та трансформація мікропластикових частинок у навколишньому середовищі	41
3.4 Витоки мікропластику в урбанізованих екосистемах і необхідність переходу до циркулярної моделі	47
3.5 Технологічні рішення для управління та переробки пластикових відходів	51
3.6 Євроінтеграційні заходи для мінімізації пластикового забруднення в містах	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1 Ідентифікація потенційних небезпек та шкідливих факторів .	57
4.2 Заходи щодо попередження та мінімізації небезпек	58
ВИСНОВКИ	60
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	62

ВСТУП

Актуальність теми. Упродовж останніх десятиліть глобальна техногенна трансформація довкілля зазнала кардинальних змін під впливом винаходів, що вийшли за межі традиційного матеріального виробництва. Одним із таких інноваційних проривів стало повсюдне впровадження синтетичних полімерів – пластиків, які завдяки своїм універсальним фізико-хімічним властивостям (мала питома вага, стійкість до деформацій, гнучкість, низька собівартість виробництва) набули глобального розповсюдження в усіх сферах людської діяльності. Термін «пластик» сьогодні часто асоціюється з поняттям «матеріалу тисячі застосувань», що лише частково відображає масштабність його впливу на біогеоценологічні системи.

Комерціалізація пластмас розпочалася під час Другої світової війни, однак інтенсивне зростання їх виробництва припало на другу половину XX століття. За даними Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP), щорічний обсяг глобального виробництва перевищує понад 430 млн т пластику, з яких близько 60–80 % припадає на одноразові вироби з коротким життєвим циклом (< 30 днів), що обумовлює його швидке трансформувannya у відходи й надмірне накопичення в міських екосистемах [36, 41]. Така динаміка свідчить про стрімку ескалацію споживчої залежності від синтетичних полімерів. Щороку близько 11 млн т пластикових відходів потрапляє у Світовий океан [2, 27, 33].

Пластикове забруднення стало однією з найгостріших екологічних проблем сучасності. Особливо критичним є його вплив на урбанізовані території, де висока щільність населення, промисловий розвиток і транспортна інфраструктура створюють передумови для накопичення значних обсягів пластикових відходів. Урбаністичні екосистеми мають обмежену спроможність до самовідновлення, а тому пластикове забруднення поглиблює екологічну деградацію, спричиняє порушення у функціонуванні екосистем, негативно впливає на здоров'я населення і знижує якість життя.

Важливо зазначити, що масштабні вигоди від використання пластиків супроводжуються серйозними екологічними наслідками – кумулятивним ефектом забруднення екосистем макро-, мікро- і нанофрагментами пластмас, які проникають у всі компоненти довкілля (атмосферу, літосферу, гідросферу) та стають чинниками деструкції екосистемної рівноваги.

Найбільшу небезпеку становить тенденція до утворення мікро- та нанопластиків, які внаслідок процесів фотодеструкції, механічного зношення та біохімічного розпаду набувають здатності до дифузного поширення у повітрі, воді та ґрунтах, з подальшим проникненням у трофічні ланцюги. Біота як наземних, так і водних екосистем зазнають токсикологічного стресу, викликаного впливом полімерних фрагментів, що проявляється у вигляді гастроінтестинальних ушкоджень, репродуктивних дисфункцій, імуносупресії та навіть летальних випадків. Крім того, мікропластик викликає широкоспектральні порушення у здоров'ї людини – від серцево-судинних і ниркових патологій до тератогенних ефектів і онкозахворювань [19, 34, 38].

На тлі вищезазначених викликів постає нагальна потреба у всебічній системній оцінці впливу пластикового забруднення, особливо в межах урбанізованих територій, які акумулюють основні джерела полімерних викидів. Саме в міських агломераціях спостерігається найвища щільність пластикоспоживання й, відповідно, генерацію відходів, що робить такі простори еталонними (репрезентативними) для дослідження екологічних ризиків та апробації інноваційних механізмів мінімізації їхнього впливу.

Наприклад, місто Київ продукує понад 1 млн т побутових відходів на рік [13], значна частина яких – пластик. При цьому лише 6% українського пластику переробляються (для порівняння – близько 70% у країнах ЄС) [17, 25, 35]. Саме тому, гострота екологічної ситуації в урбанізованих зонах потребує глибокого наукового вивчення та пошуку ефективних рішень для зменшення навантаження на довкілля.

Таким чином, інвестиції в дослідження та впровадження інноваційних підходів до боротьби з пластиковим забрудненням є критично важливими для сталого розвитку міст і збереження здорового довкілля для майбутніх поколінь.

Наукова обґрунтованість кваліфікаційної роботи полягає в комплексному аналізі екологічних наслідків пластикового забруднення на міських територіях та розробці адаптованих до українських реалій механізмів його мінімізації.

Основною метою дослідження було здійснення комплексної екологічної оцінки впливу пластикового забруднення на урбанізовані території України та розробка науково обґрунтованих рекомендацій для мінімізації цього впливу.

З метою досягнення поставленої мети було реалізовано такі завдання:

- проаналізувати сучасну наукову літературу й звіти міжнародних організацій щодо джерел та наслідків пластикового забруднення в містах;
- дослідити масштаби забруднення пластиковими відходами компонентів урбанізованого середовища (ґрунтів, водних об'єктів і атмосферного повітря);
- визначити механізми міграції пластику з джерел у довкілля та оцінити ризики для екосистем і здоров'я населення;
- проаналізувати міжнародний досвід (політики ЄС, ООН, ініціативи міст) у сфері запобігання та зменшення пластикового забруднення;
- розробити практичні рекомендації щодо мінімізації негативного впливу пластикових відходів на міське довкілля.

Об'єктом дослідження – процеси пластикового забруднення та його вплив на компоненти урбанізованого довкілля України.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Пластикове забруднення як екологічна проблема сучасності

Однією з найгостріших екологічних проблем сучасних урбанізованих територій є зростаюче антропогенне навантаження, зумовлене інтенсивним утворенням, нагромадженням та нераціональною утилізацією відходів [16, 19, 23]. Стрімке збільшення рівня урбанізації, у поєднанні з високими темпами споживання й трансформацією стилю життя містян, створює потужний екологічний тиск на компоненти довкілля в межах міських територій [27, 36].

Особливої актуальності проблема набуває в країнах із перехідною економікою, де спостерігається значний приріст міського населення та зростання попиту на ресурси, товари й послуги [19, 22]. Рейтинг, розроблений *агентством 24/7 Wall Street*, демонструє 10 країн із найбільшою кількістю сміття на душу населення. Канада лідирує у цьому списку з 36 тоннами відходів на людину, тоді як Україна займає 9 позицію з 10,6 тоннами (рис. 1.1).

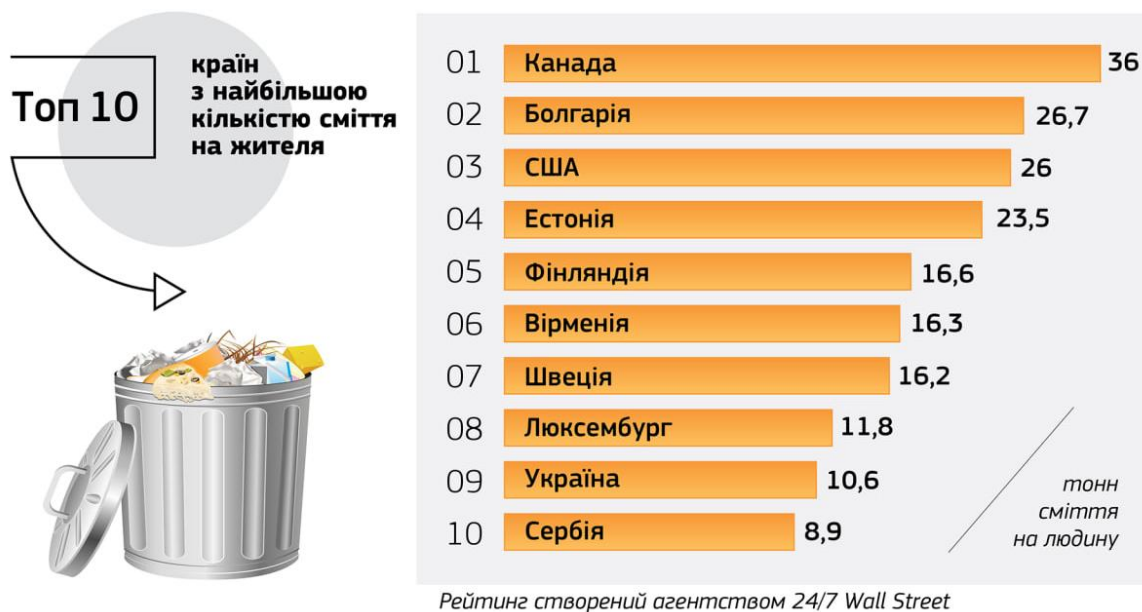


Рисунок 1.1 – Рейтинг країн за кількістю відходів на жителя [39]

На відміну від високорозвинених держав, які вже інтегрували принципи сталої екологічної політики та володіють високим рівнем екологічної свідомості, країни, що розвиваються, часто не мають достатньо розвиненої інфраструктури для ефективного управління відходами [3, 4, 12, 28].

Глобальні трансформації природного середовища дедалі більше зумовлені антропогенними факторами, зокрема безперервною експлуатацією природних ресурсів у рамках екстенсивних, ресурсоємних моделей виробництва. Історичний прогрес людства, спрямований на нарощування технологічного потенціалу й інноваційний розвиток, водночас призводить до порушення екологічної рівноваги [6, 10]. Неефективність традиційних парадигм господарювання, що ігнорують взаємозв'язок між економічною діяльністю та екологічною безпекою, загострює структурні зміни в екосистемах, які все частіше набувають ірреверсивного характеру [22, 25, 34].

Проблема пластикового забруднення залишається надзвичайно актуальною з кількох причин. По-перше, зростання виробництва пластику випереджає можливості його безпечної утилізації: за останні 30 років виробництво пластику зросло у 4 рази і, за оцінками, без нових обмежень може подвоїтися протягом наступних 20 років [27, 36]. Це призводить до непропорційного зростання обсягу пластикових відходів, що потрапляють у довкілля. По-друге, в умовах війни та інших криз в Україні реалізація екологічних заходів ускладнена, а акумульовані раніше відходи становлять додаткову загрозу.

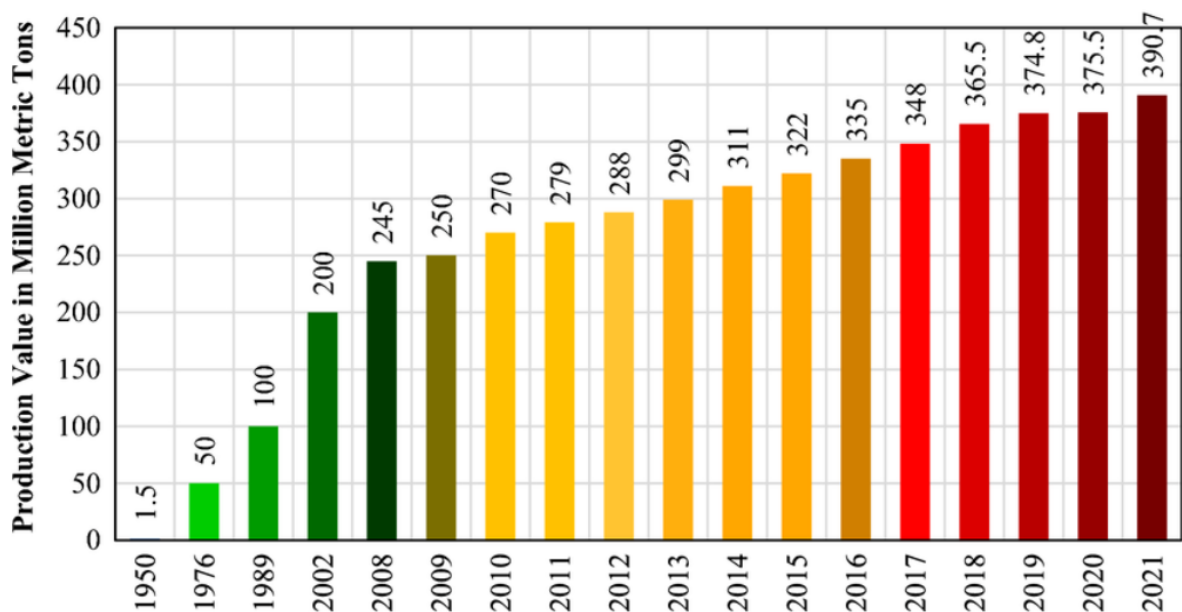


Рисунок 1.2 – Світове виробництво пластмас у 1950–2021 роках (Statista, 2023) [39]

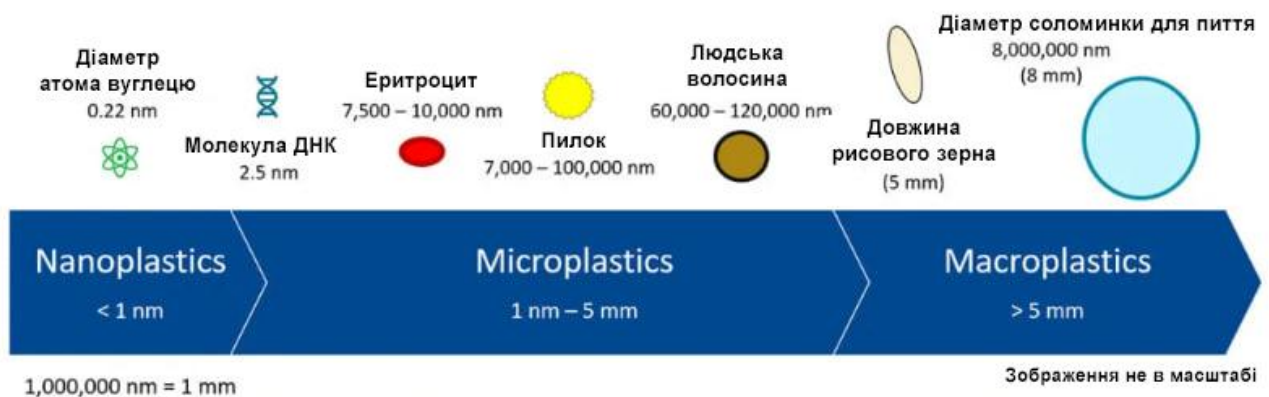
Водночас світова спільнота посилює ініціативи у цій сфері: наприклад, Європейський Союз ухвалив Директиву SUP («Single Use Plastics», 2019) про одноразові пластики, яка забороняє оксо-деградовані пластикові вироби і встановлює ціль 77% збору пластикових пляшок (PET) до 2025 року [5, 28, 31,

35, 38, 40]. ЄС також поставив завдання скоротити на 50% викиди пластикового сміття в моря та на 30% – викиди мікропластику в довкілля у рамках Плану дій «Нуль забруднення» [11]. В Україні 10 грудня 2021 року набув чинності закон, що обмежує використання пластикових пакетів, – очікується, що це зменшить обсяг цих відходів та покращить екобезпеку [15]. До того ж у 2024 р. Україна приєдналася до Глобальної Коаліції високих амбіцій проти пластикового забруднення [17], що підтверджує міжнародну підтримку створення національних стратегій зменшення пластику. З огляду на вище викладене, всебічне дослідження впливу пластикового забруднення на міське довкілля та пошук ефективних шляхів мінімізації цього впливу є невідкладним завданням.

Пластикове забруднення є особливо небезпечним у урбанізованих територіях, оскільки:

- порушує природні біогеохімічні цикли через накопичення у ґрунтах, водних екосистемах та атмосфері;
- спричиняє економічні збитки, ускладнюючи роботу комунальних служб з утилізації відходів;
- несе небезпеку для здоров'я населення через розповсюдження мікропластику у питній воді, продуктах харчування та повітрі.

Урбанізовані ландшафти виступають локусом інтенсивної генерації пластмасових відходів, де концентрація як макро- (≥ 25 мм), мезопластик (5 – 25 мм), так і мікро- (20 мкм – 5 мм) та наночастинок (< 1 мкм) (рис. 1.3) досягає критичних порогів, сприяючи абіотичному та біотичному векторному перенесенню цих фракцій у ґрунті, атмосферні та гідрологічні системи.



Джерело: Агентство з охорони навколишнього середовища штату Іллінойс.

Рисунок 1.3 – Діапазон пластикових частинок за розміром: нано-, мікро- та макропластики [40]

Фотохімічне розщеплення під дією UV-опромінення, механічне фрагментування і хімічна деградація призводять до утворення розчинних вільних радикалів, які каталізують подальше руйнування полімерних ланцюгів та адсорбцію небезпечних органічних і неорганічних сполук (фталатів, ВРА, PBDE) на поверхні частинок (рис. 1.4).

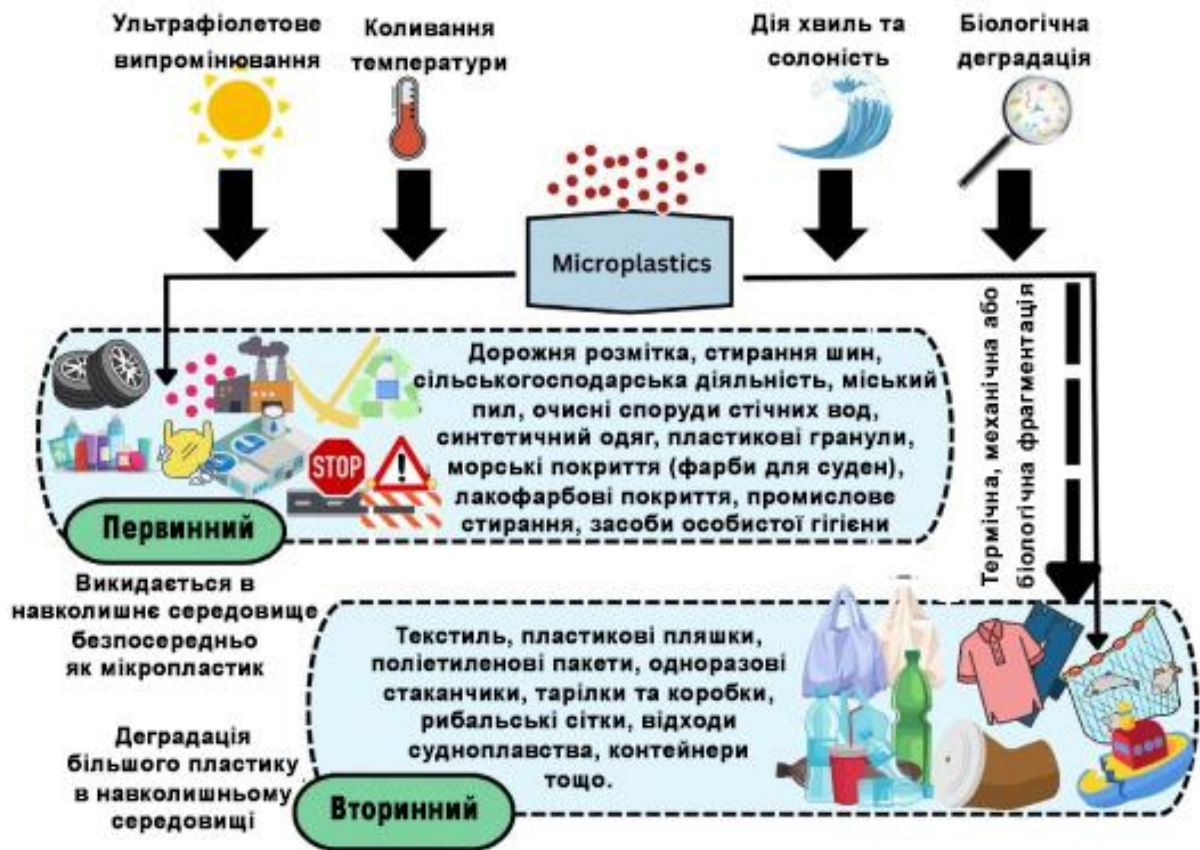


Рисунок 1.4 – Джерела та трансформація мікропластику [38]

Рисунок 1.4 ілюструє комплексні шляхи утворення мікропластику у навколишньому середовищі, розділяючи їх на первинні та вторинні джерела. Первинні мікропластики (наприклад, дорожня розмітка, стирання шин, синтетичний одяг, косметика) потрапляють безпосередньо у довкілля. Вторинні мікропластики утворюються внаслідок деградації більших пластикових виробів (таких як пляшки, пакети, рибальські сітки) під впливом ультрафіолетового випромінювання, коливань температури, механічної дії хвиль, солоності води та біологічного розкладу. Це підкреслює, що проблема мікропластику є багатогранною і вимагає цілісних підходів для зменшення його надходження в екосистеми.

1.2 Вплив пластикового забруднення на компоненти урбанізованих екосистем

Пластикове забруднення є «тихим руйнівником екосистем», що загрожує біорізноманіттю на суші та у воді, змінюючи середовища існування, вносячи токсини та руйнуючи ключові ланки в харчових ланцюгах. Воно також знижує здатність екосистем адаптуватися до зміни клімату.

1.2.1 Вплив на ґрунти та ґрунтову біоту

Забруднені пластиком ґрунти мають значний вплив на продовольчу безпеку, якість води та загальний стан екосистем. Мікропластик безпосередньо впливає на здоров'я ґрунту, змінюючи його фізико-хімічні властивості, такі як щільність, вологоутримуюча здатність, кислотність та агрегація.

Вплив мікропластику на ґрунтову біоту є багатограним. Він значно збільшує мікробну біомасу, але при цьому зменшує ріст і розмноження ґрунтової фауни, зокрема нематод, колембол та дощових черв'яків. Мікропластик також знижує бактеріальне різноманіття ґрунту та змінює структуру мікробних спільнот, що може мати згубні наслідки для здатності наземних екосистем надавати життєво важливі послуги, такі як регулювання клімату, підтримання родючості ґрунту та виробництво продовольства. Крім того, мікропластик може слугувати переносником токсичних хімічних речовин та патогенів, що додатково впливає на структуру та стійкість мікробних спільнот. Для рослин присутність мікропластику перешкоджає проростанню насіння та росту розсади, порушує їхні фізіологічні процеси, що призводить до зниження врожайності та погіршення поживної цінності плодів та овочів [34, 39].

1.2.2 Вплив на водні об'єкти та водні екосистеми

Пластикові відходи, особливо одноразові пластики, є основним чинником забруднення міських річок та озер, перетворюючи їх на токсичні канали. Це призводить до значного зниження біорізноманіття та погіршення якості води. У риб, птахів та морських ссавців зафіксовано нагромадження мікропластикових фрагментів у внутрішніх органах, що, своєю чергою, призводить до інтоксикації, репродуктивної дисфункції та явища так званої «смерті через голод» внаслідок помилкового відчуття ситості (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Зростання кількості мікропластику у Східній тропічній частині Тихого океану: поточний стан та прогноз до 2100 року (МАГАТЕ, 2020)

Як видно з рис. 1.5, у 2008 році показник кількості частинок мікропластику на кубічний метр води (N/m^3) становив близько 41,28, тоді як до 2100 року прогнозується його зростання до 520,1 N/m^3 [26], що свідчить про істотне та тривале забруднення морських екосистем.

Управління зливовими стоками є критично важливим аспектом, оскільки тверді поверхні в містах сприяють швидкому перенесенню мікропластику в прилеглі водні об'єкти. Забруднення пластиком може засмічувати зливові стоки та водотоки, що призводить до частих повеней під час сильних дощів. Наприклад, річки Мітхі в Мумбаї, яка перетворилася на токсичний канал через пластикові відходи та інші забруднювачі, і де очисні заходи значно зменшили ризики повеней, є яскравим підтвердженням цього [39].

1.2.3 Вплив на атмосферне повітря та зелену інфраструктуру

Мікропластик дедалі частіше виявляється в атмосферному повітрі урбанізованих територій, що становить зростаючу загрозу для здоров'я населення. Основними джерелами його потрапляння в повітряне середовище є синтетичні волокна, які вивільняються з текстильних матеріалів (особливо з флісу та інтерлоку та інших полімерних тканин), абразивне зношування автомобільних шин, частинки міського пилу, а також фрагменти дорожнього

покриття [29, 32, 34]. Мікропластик може інгалюватися людиною разом із дрібнодисперсним пилом, що збільшує ризики розвитку респіраторних, алергічних та системних захворювань.

Окрім того, накопичення мікропластикових часток у зелених зонах міст – парках, скверах, бульварах – негативно впливає не лише на стан урбаністичних екосистем, але й на психоемоційне та соціальне благополуччя мешканців. Забруднення зелених просторів знижує їхню естетичну привабливість, рекреаційну функцію та екологічну цінність, особливо для вразливих категорій населення (дітей, літніх людей, осіб із хронічними захворюваннями).

Крім того, мікропластик у ґрунті зелених насаджень порушує мікробіологічну рівновагу, знижує родючість і аераційні властивості ґрунту, пригнічує ріст рослин та може викликати фітотоксичні ефекти [34]. Таким чином, зелені зони втрачають здатність повноцінно виконувати свої екосистемні функції – зменшення шуму, абсорбцію вуглекислого газу, зниження температури повітря та очищення атмосфери.

Отже, вплив мікропластикового забруднення на атмосферне повітря та зелену інфраструктуру урбанізованих територій має як екологічні, так і соціально-медичні наслідки, що потребує всебічного дослідження та інтеграції відповідних заходів до системи міського екологічного управління [23, 27].

Таблиця 1.1 – Екологічні та медичні наслідки пластикового забруднення в урбанізованих екосистемах [38, 39]

Компонент екосистеми/ Система організму	Тип впливу	Конкретні наслідки	Приклади забруднювачів/ хімікатів
1	2	3	4
Ґрунт	Фізичний, Хімічний, Біологічний	Зміна фізико-хімічних властивостей (щільність, вологостримуюча здатність, кислотність, агрегація); Зниження росту с/г культур; Зниження ґрунтового біорізноманіття (бактерії, фауна); Перенос токсинів та патогенів; Порушення проростання насіння	Мікропластик, нанопластик, фталати, ВРА, важкі метали (адсорбовані на пластику)

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Вода	Фізичний, Хімічний, Біологічний	Зниження якості води; Засмічення водотоків, підвищення ризиків повеней; Закупорки та смерть водних організмів; Вплив на водне біорізноманіття (риби, молюски, зоопланктон)	Макро-, мікро-, нанопластик, фталати, ВРА, метилртуть, патогени (адсорбовані)
Атмосферне повітря	Фізичний, Хімічний	Забруднення повітря мікропластиком; Зниження естетичної цінності міських просторів; Вплив на психічне та соціальне здоров'я	Мікро-, нанопластик (волокна, знос шин, пил), Токсичні хімікати
Здоров'я людини (дихальна система)	Фізичний, Хімічний	Запалення легень, астма, алергії, хронічні захворювання легень	Вдихувані мікро- та нанопластики, фталати, ВРА, канцерогени
Здоров'я (ендокринна система)	Хімічний	Гормональні порушення, ендокринні розлади	Фталати, ВРА, ендокринні руйнівники
Здоров'я людини (репродуктивна система)	Хімічний	Проблеми з фертильністю, порушення розвитку плода, вроджені вади	Фталати, ВРА, інші репродуктивні токсиканти
Здоров'я людини (травна система)	Фізичний, Хімічний, Біологічний	Засмічення травного тракту, запалення, окислювальний стрес; Перенос патогенів; Накопичення токсичних хімікатів	Мікро- та нанопластик (з їжі та води), патогени, важкі метали, ПАУ (адсорбовані)
Здоров'я людини (іmunна система)	Хімічний	Імунна супресія, хронічне запалення, підвищена вразливість до хвороб	Хімічні добавки до пластику, мікропластик
Загальний вплив на біорізноманіття	Фізичний, Хімічний, Біологічний	Зміна середовищ існування; Внесення токсинів; Руйнування харчових ланцюгів; Зниження здатності екосистем адаптуватися до зміни клімату	Макро-, мікро-, нанопластик, токсичні хімікати, Інвазивні види (переносяться пластиком)

Крім того, наявність пластику у довкіллі істотно знижує адаптаційний потенціал екосистем до змін клімату, зменшуючи їхню резистентність до зовнішніх стрес-факторів.

Варто наголосити, що мікропластик не є просто інертними частинками; вони **діють як «носії токсичних хімічних речовин та патогенних мікроорганізмів»**, оскільки можуть концентрувати шкідливі речовини та сприяти їхньому потраплянню в організм. Завдяки високій поверхневій активності мікропластик легко абсорбує токсиканти з навколишнього середовища й у разі потрапляння в організм живих істот слугує каналом транспорту цих речовин. З огляду на їхню стійкість, низьку біодеградацію та здатність до біоаккумуляції, навіть мінімальні концентрації мікропластику можуть викликати хронічні патологічні стани, особливо у представників вразливих груп населення (діти, вагітні, люди з імунними розладами) [38, 39].

Таким чином, проблема пластикового забруднення не обмежується лише наявністю видимого сміття, а стосується й невидимих, але стійких та небезпечних форм антропогенного впливу, які часто залишаються недооціненими. Це підсилює аргументацію на користь застосування **«принципу обережності»** в екологічній політиці, що передбачає випереджувальне управління ризиками навіть у разі неповної наукової визначеності.

1.3 Здоров'язбережувальні виклики мікропластикового забруднення міст

Мікропластикове забруднення становить одну з найнебезпечніших загроз для здоров'я мешканців урбанізованих територій. Постійний контакт людини з мікропластиком – через споживання контамінованої їжі та питної води, інгаляцію повітря, насиченого мікропластиковими частинками, або побутове використання полімерних виробів – призводить до кумулятивного токсичного навантаження на організм. Сучасні наукові дослідження доводять, що мікропластик та супутні йому хімічні домішки (фталати, бісфеноли, пер- та поліфторалкільні речовини – ПФАС) виступають ендокринними руйнівниками, провокуючи гормональні порушення, онкологічні захворювання, репродуктивну дисфункцію й відхилення в розвитку нейрофізіологічних функцій, особливо у дітей [34, 38].

Щоденне використання пластикового посуду, упаковки та інших побутових виробів із полімерів створює додаткове джерело впливу токсичних компонентів на організм людини. Унаслідок дифузії й температурного впливу хімічні добавки з пластикової тари мігрують у харчові продукти та питну воду. Крім того, мікропластик здатний інгалюватися: пил з міських вулиць, збагачений фрагментами шин, текстилю та синтетичних матеріалів, потрапляє у дихальні шляхи. Згідно з даними Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP), мікропластик було виявлено в тканинах легенів, печінки, нирок, а також у плаценті новонароджених, що засвідчує його здатність до транспортування через біологічні бар'єри.

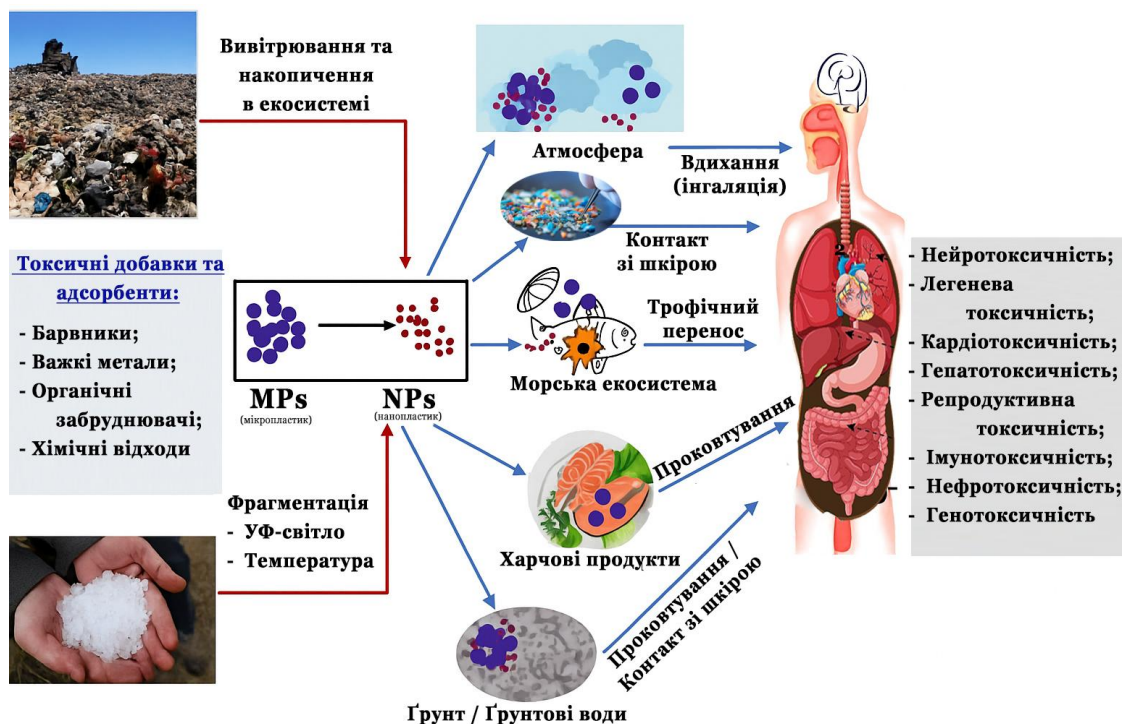


Рисунок 1.5 – Механізми впливу мікропластику на біологічні системи та здоров'я людини [38]

Особливе занепокоєння викликає здатність мікропластикових частинок проникати до внутрішніх органів і тканин, де вони можуть виступати як носії токсичних речовин або викликати запальні реакції. Урбанізоване середовище, яке концентрує значну кількість джерел пластикових емісій, стає епіцентром пластикозалежних ризиків з довгостроковими екологічними та безпосередніми біомедичними наслідками [21]. Це зумовлює необхідність міждисциплінарних досліджень і впровадження системних стратегій профілактики, моніторингу та мінімізації ризиків впливу мікропластику на здоров'я міського населення.

Крім того, зональною сферою особливої екологічної уваги є великі міські агломерації, у межах яких посилюється взаємодія численних джерел мікропластикового навантаження: несанкціоновані звалища, неочищені зливові стоки, транспортування аерозольних частинок повітрям. Осідання мікропластикових фрагментів у міських ґрунтах зумовлює зміни у структурі ґрунтової мікробіоти, порушення водно-повітряного режиму, прояви фітотоксичності, зниження аерації й родючості, що погіршує стан урбаноекоценозів [27, 34, 36, 39].

Атмосферні аерозолі, збагачені полімерними волокнами, додатково підвищують ризики респіраторних і системних захворювань у населення, зокрема серед дітей, осіб із хронічними патологіями органів дихання, алергіками та представників чутливих соціальних груп. Отже, пластикове забруднення урбанізованого середовища є не лише екологічною, а й важливою медико-соціальною проблемою, що потребує термінового реагування на рівні державної політики, міського планування та індивідуальної гігієнічної обізнаності населення.

1.4 Нормативно-правове регулювання поводження з пластиком в Україні та світі

Ефективне управління пластиковими відходами та мінімізація впливу мікропластику на довкілля та здоров'я людини є неможливим без міцної законодавчої бази. Розбудова такої системи потребує гармонізації національного законодавства з міжнародними зобов'язаннями та передовими практиками Європейського Союзу, що є ключовим вектором розвитку України.

Першочерговим актом став Закон України «Про управління відходами» (чинний з 09.07.2023), що імплементує ключові принципи Рамкової директиви ЄС 2008/98/ЄС: ієрархію поводження з відходами (пріоритет запобігання утворенню, підготовка до повторного використання, переробка, відновлення і лише наприкінці – захоронення) та принцип *«забруднювач платить»*. Цей закон вводить розширену відповідальність виробника (РВВ) для упаковки та одноразових пластикових виробів, встановлює амбітні цілі переробки побутових відходів (не менше 10 % до 2025 року, та 35 % до 2040 року) і

зобов'язує розробляти національні, регіональні та місцеві плани управління відходами з акцентом на мінімізацію пластикових відходів [8].

Закон України «Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України» (чинний з 10.12.2021) забороняє безоплатне розповсюдження надтонких, тонких та оксорозкладних пластикових пакетів, передбачає поетапне обмеження їх продажу з урахуванням винятків для первинної упаковки певних продуктів, а також встановлює штрафні санкції за порушення. Однак успіх цієї норми залежить від поєднання з просвітницькими кампаніями та освітніми програмами, які змінюють споживчу поведінку [18].

Проект Закону «Про обіг упаковки та відходів упаковки» (на стадії опрацювання) має імплементувати Директиву 94/62/ЄС, встановлюючи вимоги до дизайну упаковки, цілі зі збирання й переробки пластикової тари, стимулюючи використання меншого обсягу матеріалів та забезпечуючи придатність упаковки до переробки. Впровадження РВВ у рамках цього закону розширює відповідальність виробників на весь життєвий цикл упаковки [15].

Національна стратегія управління відходами України до 2030 року окреслює довгострокові цілі: скорочення обсягів утворення відходів, збільшення частки переробки, розвиток інфраструктури збору й переробки, зменшення захоронення [11]. Для пластику це означатиме посилення заходів циркулярної економіки – зменшення частки пластикових відходів на полігонах і стимулювання повторного використання матеріалів.

На міжнародному рівні Україна зобов'язана імплементувати Рамкову директиву про відходи (2008/98/ЄС) в рамках Угоди про асоціацію з ЄС, а також враховувати Директиву (ЄС) 2019/904 про зменшення впливу окремих пластикових виробів (SUPD), яка встановлює обмеження на конкретні одноразові вироби, цілі зі скорочення споживання (наприклад, контейнерів для їжі та напоїв), вимоги до маркування, розширену відповідальність виробника (сигаретних фільтрів, риболовних знарядь), цілі зі збору пластикових пляшок (90 % до 2029 року) та вимоги до дизайну продукції (кришечки, що залишаються прикріпленими). Імплементція SUPD стає пріоритетом для України у боротьбі з пластиковим забрудненням. Базельська конвенція з поправками щодо пластикових відходів (з 2021 року) встановлює контроль за

транскордонним перевезенням пластикових відходів, обмежуючи їх експорт до країн, які не мають відповідних потужностей для переробки [5, 41].

Таблиця 1.2 – Нормативне регулювання пластикового забруднення в Україні

Назва законодавчого акта/ ініціативи	Рік прийняття/ впровадження	Основні положення	Ступінь гармонізації з ЄС	Основні виклики у впровадженні
Закон України «Про управління відходами»	2022; набув чинності 09.07.2023	Впровадження ієрархії відходів, принципу «забруднювач платить», РВВ, цілі з переробки (10% до 2025, 35% до 2040)	Висока, основана на європейських директивах	Значні обсяги накопичених відходів, відсутність інфраструктури, низький рівень роздільного збору, слабка інституційна спроможність, вплив війни
Закон України «Про обмеження обігу пластикових пакетів»	набув чинності 10.12.2021	Заборона безоплатного розповсюдження тонких пластикових пакетів, встановлення мінімальних цін	Часткова, відповідає певним директивам ЄС	Низька обізнаність населення, доступність альтернатив, контроль за виконанням
Розширена відповідальність виробника (РВВ)	Передбачено Законом "Про управління відходами" (2022), очікується впровадженн я окремими законами	Виробники несуть відповідальність за життєвий цикл своєї продукції, включаючи утилізацію	Висока, відповідає європейським стандартам	Відсутність чітких механізмів, фінансові обмеження, низька обізнаність бізнесу, відсутність фінансових гарантій
Національна стратегія та план дій циркулярної економіки	Ініційовано у 2023 (за підтримки ЄС)	Інтеграція принципів циркулярної економіки в усі сектори економіки, розвиток нових бізнес-моделей	Висока, відповідає Європейському зеленому курсу	Низький рівень роздільного збору, фінансові обмеження, вплив війни, потреба у значних інвестиціях

Європейська стратегія щодо пластмас у циркулярній економіці (2018) окреслює напрями трансформації виробництва й споживання пластику: підвищення показників переробки упаковки, забезпечення придатності всіх пакувальних матеріалів для повторного використання або переробки до 2030 року, обмеження навмисного й ненавмисного мікропластику, а також сприяння інноваціям і інвестиціям у циркулярні рішення. Українське законодавство використовує цю «дорожню карту» як орієнтир для розробки національних політик [12, 28].

У сфері мікропластику важливо врахувати європейські підходи (наприклад, обмеження мікропластику у косметичі) та розробити національні норми, що запобігають утворенню мікропластику з різних джерел (пральні машини, шини, фарби тощо), передбачаючи вимоги до фільтрації стічних вод, стандарти на вироби з потенційним викидом мікрочасток і заохочення інновацій у зменшенні утворення наночасток.

Законодавчі ініціативи мають стимулювати ринок вторинних матеріалів: через податкові пільги, державні закупівлі або встановлення вимог до вмісту переробленого пластику у продукції. Водночас ключовим є посилення контролю й невідворотності санкцій за порушення норм, а також узгодження українських стандартів із європейськими, що полегшить торгівлю вторинними матеріалами й інтеграцію в глобальні ланцюги постачання [41].

Незважаючи на значний прогрес, виклики залишаються: потреба розробки вторинних нормативних документів (постанов, наказів), відпрацювання механізмів розширеної відповідальності виробника, системне регулювання мікропластику, посилення контролю й стимулювання інновацій у сфері переробки та скорочення споживання. Успішна реалізація цих законодавчих та регуляторних ініціатив визначить екологічне майбутнє урбанізованих територій України та сприятиме зменшенню пластикового забруднення.

2 ОБ'ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Інформаційною основою дослідження виступають: нормативно-правові акти України; офіційні дані Державної служби статистики України, звіти й матеріали Департаменту екології та природних ресурсів Львівської ОВА; аналітичні документи міжнародних організацій, що моніторять і оцінюють потоки відходів; регіональні та місцеві регламенти й стандарти у сфері поводження з відходами; наукові публікації українських і зарубіжних фахівців; а також електронні інформаційні ресурси та довідкова література. Така широка літературна база забезпечує всебічне висвітлення проблематики, зокрема екологічної оцінки впливу пластикового забруднення на урбанізовані території та розроблення ефективних шляхів його мінімізації.

2.1 Екологічний стан урбанізованих територій Львівської області

Урбанізована територія є надзвичайно складною системою, що інтегрує природні та антропогенні компоненти, які спільно формують умови для життєдіяльності людини та функціонування міських екосистем. Міста, за своєю суттю, є штучним середовищем, створеним внаслідок антропогенної діяльності. У цих системах природні фактори, такі як клімат, рельєф, геологічна будова, флора та фауна, нерозривно взаємодіють з технічними аспектами, що включають особливості промисловості, транспортної мережі та способу життя населення. Ця взаємодія часто призводить до значних екологічних викликів.

Тенденції урбанізації в Україні відображають глобальні процеси. З 1940 року, коли міське населення становило 14 мільйонів осіб, до 1990 року ця цифра зросла до 31,5 мільйона, і на сьогоднішній день третина українців проживає у містах. Розвиток великих міст-агломерацій, таких як Київ, Львів, Харків, Дніпро, Одеса, а також формування індустріальних масивів, як-от Донбас, призводить до посилення негативного впливу на біосферу. Цей стрімкий розвиток міст, хоча й є показником економічного прогресу, одночасно створює комплексні екологічні проблеми [16, 18].

Ключові екологічні проблеми урбанізованих територій України мають взаємопов'язаний характер, що створює мультиплікативний негативний ефект. Міста генерують значні обсяги промислових та побутових стічних вод (від 0,1 до

0,4 м³ на особу щоденно), а також забруднений зливовий стік, що містить суспендовані речовини, солі, нафтопродукти та інші шкідливі компоненти. Це означає, що пластикове забруднення не існує ізольовано, а посилюється вже наявними проблемами забруднення води, ґрунту та повітря, формуючи складну урбоекологічну кризу.

Забруднення повітря є ще однією значною проблемою, основними джерелами якої є енергетичні об'єкти, промислові підприємства та транспорт. Щорічно в атмосферу України викидається понад 6 мільйонів тонн шкідливих речовин та вуглекислого газу, при цьому вихлопні гази автомобілів у великих містах зросли на 50-70%. Накопичення відходів також є критичним викликом, оскільки міста виробляють величезні обсяги побутових відходів, що створює складну проблему їх утилізації. Середній обсяг відходів на міського жителя становить 160-190 кг на рік, а загальний обсяг відходів – 250-300 кг на рік [39].

Крім того, міста стикаються з фізичним забрудненням, що проявляється у збільшенні інтенсивності шуму (85-87 дБ на вулицях) та формуванні власного мікроклімату, що характеризується зростанням температури та утворенням смогу.

Львівська область – один із найурбанізованіших регіонів західної частини України. У межах агломерацій екологічна ситуація формується під тиском промислових підприємств, транспорту, побуту й споживчої активності.

Атмосферне повітря урбанізованих районів області, насамперед м. Львова та навколишніх агломерацій, відзначається підвищеним рівнем забруднення, зумовленим викидами транспорту, теплоенергетичних установок та підприємств. Основні забруднювачі включають діоксид азоту (NO₂), оксиди вуглецю (CO), пил PM₁₀/PM_{2.5} та леткі органічні сполуки.

Згідно з програмою державного моніторингу атмосферного повітря на 2021–2025 рр. Львівської зони, функціонує близько 56 стаціонарних пунктів спостереження, а в рамках проєкту GIZ додатково встановлено шість мобільних станцій у Шептицькому та Добротворі (табл. 2.1) [14]. Моніторинг показує, що концентрація дрібнодисперсного пилу, яка включає частинки мікропластику, у пікові періоди перевищує гранично допустимі значення, створюючи додаткову загрозу для здоров'я населення. Середні значення AQI PM_{2.5} у Львівській області варіюються від «добре» до «помірно забруднено» залежно від району [18].

Таблиця 2.1 – Кількість станцій моніторингу атмосферного повітря

Територія	Кількість станцій	Джерело
Львів (місто)	37	Програма моніторингу атмосферного повітря 2021–2025 (deplv.gov.ua)
Львівська область (інші)	19	Програма моніторингу атмосферного повітря 2021–2025 (deplv.gov.ua)
Додаткові мобільні станції	~6	Проект GIZ (Шептицький, Добротвір тощо) (deplv.gov.ua)

За даними Департаменту екології та природних ресурсів Львівської ОВА та SaveEcoBot, значні концентрації забруднювачів зафіксовано у центральних районах Львова (Галицького, Залізничного) та в містах-агломераціях – AQI PM2.5 до 68 – 105. Серед інших домінантних забруднювачів повітря від транспортних засобів найвагомішу частку становлять оксиди вуглецю (CO) – до 74 %, діоксид азоту (NO₂) – близько 12 % та вуглеводні – близько 11 %. За даними карти SaveEcoBot, центральні райони Львова характеризуються нижчими значеннями AQI (приблизно 20–30), тоді як на периферії та в промислових районах показники AQI вищі (приблизно 50–88).

Стан водних ресурсів області викликає занепокоєння через значне навантаження на поверхневі й підземні води. Урбанізовані ділянки формують великі обсяги забрудненого стоку з побутовими й промисловими складовими.

За рішенням Львівської облдержадміністрації, мережа державного моніторингу у 2025 році складається з 43 пунктів спостережень (табл. 2.2) [18].

Таблиця 2.2 – Пункти моніторингу якості поверхневих вод за басейнами

Басейн річки	Кількість пунктів	Джерело
Західний Буг	11	Рішення ЛОВА «Мережа державного моніторингу якості поверхневих вод»
Дністер	24	Рішення ЛОВА (loda.gov.ua)
Сян	6	Рішення ЛОВА (loda.gov.ua)
Дніпро (суббасейн Прип'яті)	2	Рішення ЛОВА (loda.gov.ua)

За даними офіційних річних звітів моніторингу якості води, оприлюднених в Екологічному паспорті 2023 року [18], у пробах річок Західного Бугу та Полтви фіксується перевищення концентрацій нітратів, підвищений вміст органічних речовин і сполук азоту й фосфору внаслідок побутового та промислового стоку, а також наявність синтетичних полімерів – зокрема через мікропластик, використання мийних і пральних засобів, абразивних косметичних продуктів та пластикового пилю з міських поверхонь. Однак даних Національного екологічного паспорту недостатньо для точного визначення кількісних показників, тому рекомендується проводити додаткові цілеспрямовані дослідження.

Ґрунтовий покрив в урбанізованих зонах деградований через ущільнення, ерозію, забруднення важкими металами, нафтопродуктами, а також фрагментами пластикових матеріалів. Значна частина міських ґрунтів забруднена полімерними залишками через несанкціоноване викидання сміття, порушення правил поводження з ТПВ та низький рівень контролю над стихійними звалищами, що особливо актуально для периферійних територій Львова та прилеглих населених пунктів.

Рівень озеленення в центральних урбанізованих районах Львова залишається недостатнім для нейтралізації антропогенних викидів. Інтенсивна житлова забудова супроводжується скороченням площі зелених зон, що обмежує здатність міського середовища до самоочищення. Озеленення зазвичай не виконує екологічних функцій повною мірою, особливо в місцях з високим транспортним навантаженням.

Транспортне навантаження у місті Львові зростає щороку, що спричиняє інтенсивне вивітрювання полімерних частинок з шин, дорожнього полотна та гальмівних систем. Це є суттєвим джерелом вторинного мікропластику в повітрі та зливових стоках. Недостатній рівень розвитку громадського транспорту та висока залежність населення від приватних авто посилюють цю проблему.

Інфраструктура поводження з відходами в області загалом перебуває на стадії трансформації, проте поки що не забезпечує повноцінного циклу обробки пластикових відходів. Основний обсяг відходів, у тому числі пластикових фракцій, потрапляє на полігони. Рівень охоплення роздільним збором пластику

залишається низьким, як і ступінь переробки вторинних полімерних матеріалів. У багатьох населених пунктах області відсутні контейнери для роздільного збору, а сортування, у кращому разі, здійснюється на стадії сортувальних ліній без попереднього розділення на джерелі утворення.

Серед **ключових факторів накопичення пластикового сміття** у межах урбанізованого середовища Львівщини слід виокремити:

- надмірне використання одноразової пластикової продукції (упаковка, посуд, пакети, пляшки);
- відсутність ефективних механізмів зменшення утворення пластику на рівні споживання;
- низьку мотивацію до сортування серед мешканців через відсутність інфраструктури;
- наявність стихійних сміттєзвалищ у зоні багатоповерхової та приватної забудови;
- інфільтрацію пластику у зливову систему внаслідок несистемного прибирання та відсутності фільтраційних установок.

Таким чином, аналіз екологічного стану урбанізованих територій Львівщини вказує на наявність комплексної проблеми, де пластикове забруднення є не ізольованим явищем, а наслідком багатофакторної деградації міського середовища. Подолання цієї проблеми вимагає системного підходу, що включає як інфраструктурні рішення, так і зміну моделі споживання ресурсів.

2.2 Методологічні засади та індикатори оцінки пластикового забруднення в урбанізованих середовищах

Оцінка пластикового забруднення вимагає комплексного підходу, який охоплює не лише кількісне визначення обсягів пластику, але й ідентифікацію його джерел, шляхів поширення та кінцевої долі в довкіллі. З огляду на зростаючу кризу пластикового забруднення, науковці розробили різноманітні методології для його кількісної оцінки. Проте така різноманітність часто ускладнює вибір найбільш відповідного методу для практиків.

Для вирішення цієї проблеми були створені спеціалізовані інструменти. Одним з таких є «Plastic Pollution Assessment Methodologies Suitability Toolkit» (PLAST), розроблений для характеристики та порівняння методологій оцінки пластикового забруднення. **PLAST** допомагає користувачам вибрати найбільш

підходящі варіанти на основі їхніх вимог, категоризуючи методології за такими важливими ознаками, як сфера застосування, очікувані результати та вимоги до даних. Це дозволяє автоматично оцінювати та ранжувати методології за заданими критеріями, надаючи користувачам інформацію про відносну придатність різних методологічних підходів [41].

Існування такого інструменту, як PLAST, свідчить про зростаючу зрілість наукового підходу до пластикового забруднення, яка виходить за рамки простого виявлення до систематичної кількісної оцінки та визначення джерел. Однак сама потреба в такому інструментарії також вказує на відсутність універсальної стандартизації або єдиного універсального підходу. Це означає, що методології оцінки все ще розвиваються і вимагають ретельного вибору на основі конкретних цілей проєкту та наявних ресурсів.

Тому дослідники мають критично підходити до обрання методологій, аргументуючи свій вибір відповідно до поставлених задач та доступних ресурсів, а не просто застосовувати усталені підходи. Це додає складності, але й стимулює подальший розвиток та удосконалення методологічного інструментарію в екології.

Урбанізовані середовища мають специфічні особливості, тому методології оцінки забруднення повітря, ґрунту та води слід адаптувати до міських умов. Оцінка пластикового забруднення в таких середовищах передбачає застосування різноманітних методик і індикаторів, адаптованих до конкретного середовища (повітря, ґрунт, вода) та розміру пластикових частинок [3, 12, 29, 36, 39, 41].

Різнманіття методик оцінки в різних екологічних середовищах (повітря, ґрунт, вода) та для частинок різного розміру (макро-, мікро-, нано-) засвідчує складність проблеми пластикового забруднення як наукового завдання. Фрагментація підходів ускладнює формування єдиної цілісної картини рівня забруднення й його впливу, що потребує міждисциплінарних підходів і, можливо, розробки нових стандартизованих протоколів для всебічної екологічної оцінки. Вибір методів залежить від фізико-хімічних властивостей пластикових частинок (розміру, форми, щільності, типу полімеру) та від характеристик середовища. Хоч це методологічне різноманіття й є необхідним, воно ускладнює порівняння результатів між дослідженнями та підрозділами екологічного моніторингу [16, 41].

Таблиця 2.3 – Порівняння методів оцінки пластикового та мікропластикового забруднення в різних середовищах

Тип середовища	Цільовий розмір пластику	Основні методи відбору проб	Ключові аналітичні техніки	Переваги	Недоліки/Виклики	Типові індикатори
Повітря	Мікро-, Нано-	Депозиційні пробовідбірники, Активні пробовідбірники	Мікроскопія, FTIR, Raman, SEM, Py-GC	Дозволяють кількісну та якісну оцінку; ідентифікація полімерів	Відсутність стандартизації; складність аналізу нанопластиків; високі вимоги до обладнання	Кількість частинок/м ³ /кг маси тіла; маса/м ³ /кг маси тіла; форма, колір, тип полімеру
Ґрунт	Мікро-, Нано-	Візуальний огляд (стереомікроскопія)	Micro-FTIR, SEM-EDS	Ідентифікація типу пластику та елементного складу; аналіз морфології	Складні процедури попередньої обробки (наприклад, золочення для SEM-EDS); висока вартість та трудомісткість	Кількість частинок/кг ґрунту; форма, розмір, тип полімеру
Вода	Макро-, Мікро-, Нано-	Планктонні сітки, Сита, Лопати, Грейфери	Мікроскопія, SEM, Raman, FT-IR	Виявлення широкого діапазону розмірів; ідентифікація полімерів	Вплив біообростання на плавучість; складність кількісної оцінки для нанопластиків	Кількість частинок/об'єм води/маса осаду; форма, розмір, колір, тип полімеру

Такий стан справ вказує на наявний дослідницький пробіл: потребу в уніфікованих протоколах, які забезпечували б більш інтегроване розуміння розподілу та долі пластикового забруднення в міському середовищі. Окрім того, комплексна оцінка вимагає значних технічних знань і спеціалізованого обладнання.

Ключовими індикаторами мають бути кількісні концентрації (частинок чи маси пластику на одиницю середовища), структурно-хімічні характеристики (тип полімера, форма, розмірний розподіл), токсикологічні ознаки (адсорбовані шкідливі домішки, оцінка потенційного ризику), а також просторово-часові параметри (карти «гарячих зон», сезонні тренди) і показники інфраструктурної спроможності (охоплення роздільного збору, наявність переробки). Забезпечення належного контролю якості (QA/QC), стандартизація процедур відбору та аналізу проб, а також продумана організація збирання й обробки даних у GIS-середовищі підвищують порівнянність і достовірність результатів.

Одночасно важливо враховувати ресурсні й технічні обмеження, адже не всі методи можуть бути доступними у локальному контексті; тому слід комбінувати дороговартісні аналітичні підходи з більш доступними скринінговими чи громадськими ініціативами (citizen science). Нарощування лабораторної спроможності, міждисциплінарна координація, публічне залучення та прозоре звітування результатів створюють передумови для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Прагнення до уніфікації протоколів і одночасна адаптація їх до специфіки урбанізованих територій забезпечать більш інтегроване й оперативне розуміння розподілу та похідної екологічної й соціальної шкоди від пластикового забруднення. У довгостроковій перспективі це сприятиме розробці ефективних превентивних і ремедіаційних заходів, орієнтованих на мінімізацію пластикового навантаження в містах та підвищення стійкості урбанізованих екосистем.

2.3 Теоретичні моделі оцінки екологічного впливу пластикового забруднення

Для дослідження впливу полімерних забруднювачів застосовуються низка теоретичних підходів (табл. 2.4) [21, 24, 30, 37, 41].

Серед яких основними є:

- **матеріальний потік (Material Flow Analysis, MFA)** – дозволяє відстежувати потоки полімерів у межах урбанізованих систем: виробництво – споживання – накопичення – утилізація;
- **оцінка життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA)** – аналізує екологічні наслідки на всіх етапах життєвого циклу полімеру;
- **ризик-орієнтований підхід (ERA – Environmental Risk Assessment)** – включає виявлення небезпечних властивостей, шляхи міграції та оцінку екологічного ризику;
- **екологічне моделювання просторового розподілу полімерів** – базується на ГІС та використовує дані про міські потоки, метеорологічні умови та морфологію міста.

Таблиця 2.4 – Порівняльна характеристика методів оцінки екологічного впливу пластикового забруднення

Метод	Ціль оцінки	Ключові параметри	Обмеження
MFA	Визначення обсягів забруднень	Обсяг, тип, напрямок потоку	Недостатність даних
LCA	Визначення впливу на довкілля	GHG-викиди, токсичність	Потребує точного інвентарю
ERA	Визначення рівня ризику	Концентрація, токсикологія	Чутливість до припущень
ГІС-моделювання	Просторовий аналіз	Джерела, траєкторії переносу	Залежить від якості картографії

Інтеграція цих методів дозволяє отримати більш повну картину впливу пластикового забруднення, однак для підвищення точності оцінок необхідні:

- стандартизація даних,
- розвиток мультидисциплінарних підходів,
- вдосконалення моніторингових систем.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.3 Аналіз просторово-кількісних характеристик пластикового забруднення урбанізованих територій

Відходи пластикових матеріалів становлять окрему категорію у загальній морфологічній структурі побутових відходів, вирізняючись особливостями їх утворення, потенціалом до повторного залучення у виробничо-економічний цикл, а також високим ступенем екологічної загрози у разі неконтрольованого потрапляння в навколишнє середовище. Їхня хімічна інертність, стійкість до біодеградації та здатність до тривалого накопичення у різних компонентах урбанізованих екосистем визначають пластик як один із ключових антропогенних чинників деградації міських ландшафтів.

У великих містах щодня генеруються тисячі тонн ТПВ, значну частку яких становить пластик (залежно від регіону, від 10% до 30% і більше). Згідно зі статистичними даними Департаменту екології та природних ресурсів ЛОВА, сукупний обсяг утворених відходів на території Львівської області у 2023 році, що походять від підприємств та домогосподарств, склав **2830,4 тис. т.**

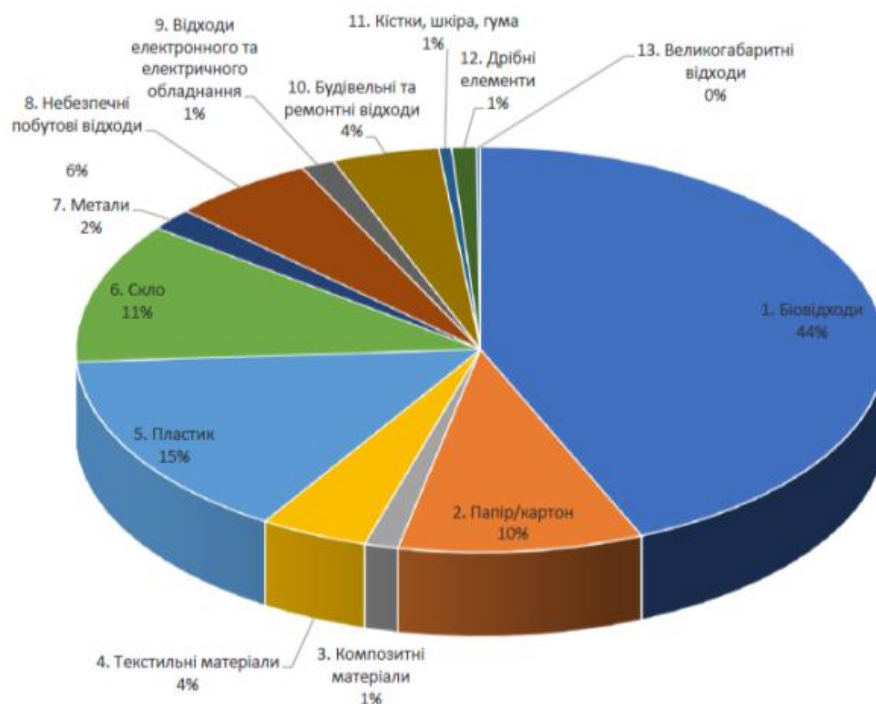


Рисунок 3.1 – Морфологічне дослідження складу побутових відходів Львівської територіальної громади [18]

Згідно з рис. 3.1, **пластик** становить **15%** від загальної маси побутових відходів. Це робить його одним з найбільших компонентів після біовідходів (44 %). Слід зазначити, що пластик є нерозкладним матеріалом і може зберігатися в навколишньому середовищі сотні років (до 1000 років). Незважаючи на потенціал переробки, фактичний рівень вторинної переробки пластику часто залишається низьким (лише **1%-3%** пакетів піддаються вторинній переробці по всьому світу) [31, 40]. Це пов'язано з різноманітністю типів пластику, складністю сортування та економічною недоцільністю деяких процесів.

У середньому одна сім'я використовує **15** пакетів на один похід до супермаркету. Щосекунди у світі використовується **160 тисяч** пластикових пакетів [39].

Згідно звітів, у Шостому національному повідомленні України з питань зміни клімату частка пакувальних полімерів у загальному обсязі побутових відходів оцінюється на рівні 9–15 % [17], тоді як моніторингові дані за п'ятьма українськими містами фіксують діапазон 8,9–16,7 % (середнє значення 12,9 %) [18]. За іншими даними [27, 38], обсяг полімерного пакування в структурі міських ПВ варіюється між 6,78 % та 11,09 %, при цьому існують суттєві відмінності між окремими дослідженими територіями. Для порівняння: у країнах із високим рівнем індустріалізації частка ВПМ зазвичай становить близько 11,5 % загального обсягу побутових відходів.

Згідно з оцінками Центру «Хімкур'єр» [17], пакувальні матеріали формують приблизно 28 % полімерних відходів у загальній масі ТПВ. Загалом із 391 млн т полімерів, що продукуються в світі щорічно, 40,5 % спрямовується на виробництво пакувальної продукції [39], із яких 42,3 % становить транспортне пакування. Серед відходів пакувальних полімерів найбільшу питому вагу займають поліетилену (35 %, з яких 22 % – LDPE), поліетилентерефталату (28 %) та поліпропілену (12 %), що відображає їх домінування серед матеріалів для пакування [29, 40].

Таблиця 3.1 – Морфологічний склад пластикових відходів (за типами полімерів) [39]

Скорочення полімеру	Повна назва полімеру	Частка у відходах (%)	Основні сфери застосування (приклади)
PE	Поліетилен	36	Пакети, плівки, пляшки для побутової хімії, контейнери, труби.
PETE	Поліетилентерефталат	26	Пляшки для напоїв (вода, соки, газовані напої), упаковка для харчових продуктів, волокна.
PVC	Полівінілхлорид	16	Труби, віконні профілі, кабелі, лінолеум, медичні вироби, деякі види упаковки.
PP	Поліпропілен	12	Контейнери для їжі, стаканчики для йогуртів, кришки, автомобільні деталі, волокна.
PS	Полістирол	10	Одноразовий посуд, упаковки (наприклад, для яєць), іграшки, ізоляційні матеріали (пінопласт).

Як видно з табл. 3.1, більшу частину пластикових відходів становлять поліетилену (PE) та поліетилентерефталату (PETE), на які сумарно припадає **62%**. Це є важливим для розробки стратегій переробки, оскільки саме ці види пластику є найпоширенішими і мають найбільший потенціал для вторинної переробки.

Значна частка **ПВХ (16%)** також є викликом, оскільки його переробка є складнішою через наявність хлору в складі та виділення токсичних речовин при неправильній утилізації.

Таблиця 3.2 – Збирання та перевезення побутових відходів на території Львівської міської громади за 2023 рік [18]

Змішані побутові відходи та їх компоненти, які збираються роздільно	Обсяги збирання, т	Обсяги перевезення, т	у тому числі на:		
			заготівельні пункти, т	ділянки компостування, т	полігони (звалища), т
Змішані ТПВ	221341,52	219140,99	-	-	219176,71
Великогабаритні відходи	5559,81	4993,91	-	-	4993,91
Макулатура (картон, папір)	77,76	77,76	77,76		
Полімери (плівка, пакети, ПЕТ пляшки і коробки, пластмаса тощо)	1358,62	1358,62	1258,62	-	-
Упаковка Тетра Пак та інша (комбінована, багатошарова)	9,28	9,28	9,28	-	-
Метали (чорні, кольорові)	-	-	-	-	-
Скло (склотара, скlobій)	1118,20	1118,20	1118,20	-	-
Текстиль (синтетичний, натуральний, змішаний)	-	-	-	-	-
Органічні компоненти, які здатні до біологічного розкладання (харчові відходи, відходи рослинного походження тощо)	8524,32	8524,32	-	8524,32	-
Електричне та електронне обладнання	3,90		-	-	-
Небезпечні компоненти	-	-	-	-	-
Інші	1152,00	-	-	-	1152,00
Всього	239145,41	235223,08	2563,86	8524,32	225322,62

Дані табл. 3.2 вказують на успішну практику роздільного збору полімерних відходів, оскільки всі зібрані 1358,62 тонни були перевезені, і більшість з них (1258,62 тонни) направлена на заготівельні пункти для переробки. Таким чином, представлені дані показують успішність роботи з тією часткою пластикових відходів, яка вже потрапляє в систему роздільного збору, але також підкреслюють необхідність розширення охоплення роздільного збору для зменшення загального обсягу пластику, що захоронюється. Важливо пам'ятати, що загальний обсяг «змішаних ТПВ» становить 221341,52 тонни, з яких 219176,71 тонни потрапляють на звалища. Це означає, що значна частина пластику, що міститься у змішаних відходах (це до 15% від ТПВ), все ще потрапляє на полігони, якщо він не був розділений.

Згідно з останніми оцінками, щорічний глобальний випуск полімерних виробів перевищує **400 млн т**, при цьому суттєва частина цих матеріалів надходить на полігони складування або без попередньої утилізації потрапляє безпосередньо у водойми [18].

Досліджено, що масштаби пластикового забруднення у світі та в Україні досягли критичного рівня. Глобальне виробництво одноразових пластикових відходів сягнуло 139 мільйонів тонн у 2023 році, що на 6 мільйонів тонн більше, ніж у 2021 році [25, 27, 39]. Це еквівалентно майже 1 кілограму додаткових відходів на кожну людину на планеті за два роки, що значною мірою обумовлено зростаючим попитом на гнучку упаковку, таку як плівки та пакети. Щорічно у світі утворюється близько 220 мільйонів тонн пластикового сміття, що становить приблизно 28 кілограмів на особу, і цей показник зріс на 7,11% з 2021 року. Отримані дані чітко вказують на те, що зростання обсягів пластикових відходів випереджає можливості управління ними. Це свідчить, що поточні стратегії, включаючи заборони та переробку, є недостатніми для вирішення проблеми, і необхідний більш радикальний підхід, що фокусується на скороченні виробництва первинного пластику та фундаментальній зміні споживчих моделей, а не лише на кінцевому управлінні відходами.

Таблиця 3.3 – Розподіл споживання пластикових матеріалів за галузями в Україні

Сфера споживання	Частка (%)
Будівництво	27
Тара і упаковка	27
Автомобілебудування	8
Виробництво меблів	8
Електроніка	7
Товари широкого вжитку	4
Агропромисловість	2
Інші галузі	17

Аналіз табл. 3.3 показує, що українська економіка значною мірою залежить від пластикових матеріалів, особливо у будівельній галузі та секторі пакування. Ці дві сфери разом відповідають за більш ніж половину (54%) загального споживання пластику в Україні. Для агропромисловості,

незважаючи на низький відсоток (2%), також важливо враховувати специфіку пластику, що використовується, та його подальшу утилізацію.



Рисунок 3.2 – Урбанізовані відходи та їхній вплив на екологічну стійкість і життєзабезпечення людей (розроблено Сергієнко Л. В.) [19]

У багатьох населених пунктах спостерігається поступова трансформація рекреаційних або озелених територій у несанкціоновані майданчики для накопичення побутових відходів. Такі неформальні полігони стають джерелами емісії шкідливих речовин і мікрочасток, які можуть надходити як в атмосферу, так і у водні ресурси. Ігнорування довгострокових екологічних наслідків цих практик призводить до зростання ризику забруднення довкілля та погіршення санітарно-гігієнічних умов: випаровування летких сполук із пластмасових матеріалів може знижувати якість повітря, а фрагменти та забруднення зі стихійних звалищ проникають у поверхневі та підземні водні потоки.

4.4 Регіональні аспекти формування та акумуляції полімерних відходів

Виготовлення полімерних матеріалів належить до енерго- та ресурсозатратних технологічних ланок, котрі несуть суттєве навантаження на екосистеми передусім через генерацію парникових газів. Зокрема, за оцінками, у 2019 році глобальний випуск пластикового матеріалу зумовив викиди приблизно **1,8 млрд т** еквіваленту CO₂ парникових газів, що становило близько 3,4 % усіх емісій у світі [25, 39, 40].

Установлено, що домінуючу частку побутових відходів становить пакувальна полімерна продукція. На підставі даних низки досліджень [1, 3, 4, 16, 17], які аналізували морфологічний склад побутових відходів у різних містах України, наведено співвідношення пакувальних полімерів у загальному обсязі (рис. 3.3).

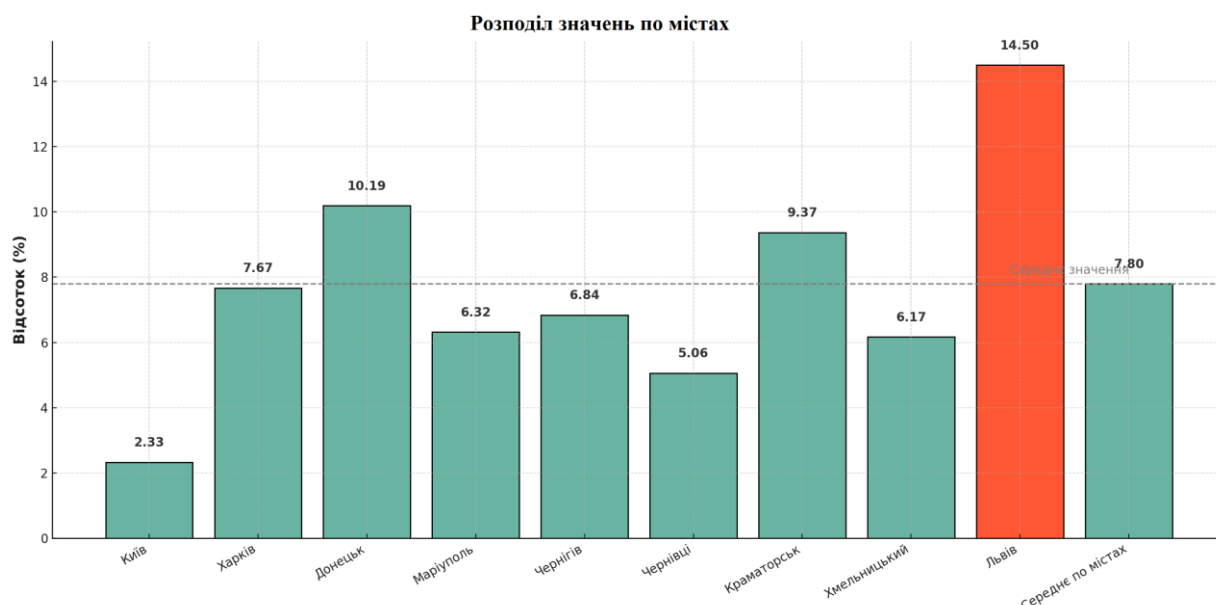


Рисунок 3.3 – Уміст полімерного упакування в побутових відходах у містах України

Попри наявність імпорту пластикових відходів для потреб переробної галузі, понад 80% пластику, що генерується в Україні, продовжує складуватися на сміттєзвалищах та полігонах.

У межах Львівської області змішані побутові відходи розміщуються на 22 офіційно санкціонованому полігоні та 4 сміттєзвалищах, сумарна площа яких перевищує 150,1 га. На цих об'єктах акумульовано понад 5 млн т побутових відходів, при цьому середній рівень заповненості полігонів становить близько

75%. Станом на 2023 рік, численних несанкціонованих сміттєзвалищ (табл. 3.4). зафіксовано 41, площею понад 46 га. Отже, понад 31 % сміття складаються стихійно [18].

Таблиця 3.4 – Перелік найбільших діючих несанкціонованих сміттєзвалищ у Львівській області станом на 2021 р., за даними Львівської ОВА (Андрейчук, Безручко, Біланюк, 2021) [9]

Адміністративний район	Населений пункт	Площа, га
Самбірський	м. Рудки	3,5
Старосамбірський	м. Добромиль	3,0
	м. Хирів	1,0
Миколаївський	м. Новий Розділ	6,2
Сколівський	с. Славське	1,2
Яворівський	м. Яворів	0,5
Жидачівський	м. Ходорів	2,5
	см. Журавно	2,7
Бродівський	с. Гаї-Смоленські	0,5
	Голубиця	0,6
	с. Лешнів	1,0
	с. Накваша	1,0
	с. Станіславчик	0,5
	с. Черниця	0,7

Найбільшим сміттєзвалищем на початку 2020 р. залишалося звалище в місті Стрий площею 53,2 га. Об'єкти середнього масштабу (приблизно по 10 га) розміщувалися у Жидачеві, Сокалі та Самборі, тоді як решта 16 сміттєзвалищ мали площу не більше 6 гектарів кожне.

Досліджено, що у межах Львівської області несанкціоновані полігони відходів відіграють центральну роль у накопиченні пластикових матеріалів. Неналежна експлуатація цих полігонів призводить до вивітрювання фрагментів пластику, їх рознесення вітром та потрапляння в суміжні ґрунти й водні об'єкти. Зокрема, у разі порушення технологічних норм захоронення, а також за відсутності достатніх заходів із запобігання викидам під час сортування або

транспортування, значна частина пластикових відходів стає джерелом вторинного забруднення середовища. Разом із тим нерідко виникають нелегальні сміттєзвалища, зокрема у дослідженнях **Danube-Interreg** відзначено: *«незаконне скидання відходів уздовж річок у регіоні є не випадковим, а регулярним... явищем»*, коли побутові чи будівельні відходи з пластику викидаються вздовж русел річок і лісосмуг, формуючи постійні «гарячі точки» забруднення [40]. Картографічні дані моніторингу (GIS) підтверджують концентрацію таких нелегальних звалищ переважно в агломерації Львова та вздовж річкових долин, що створює локальні осередки постійного надходження пластикових фрагментів у довкілля.

Річкові системи Львівської області інтегрують забруднені зливові води, що містять мікропластик із доріг, горизонту, сміттєзвалищ. Моніторинг показує, що річки виступають основними транспортерами пластику у водні системи, а потім – в басейни Чорного й Балтійського морів. Моніторингові звіти Департаменту екології та природних ресурсів ЛОДА фіксують виявлення пластикових часток у пробах поверхневих вод під час пікових опадів та весняного стоку [18].

Слід зазначити, що відходи генеруються в Львівській області в масштабах суттєво вищих, ніж відбувається їх знешкодження та використання (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Динаміка генерування побутових відходів у Львівській області

Рік	Кількість населення, тис. осіб	Обсяг зібраних ТПВ, тис. т	Питоме генерування ТПВ, кг/ особу/ рік
2018	2529,6	2139,3	847
2019	2522,0	2159,7	858
2020	2512,1	3121,1	1246
2021	2497,8	3688,6	1175
2022	2478,134	3212,2	1295
2023	2478,13	2937,4	1185,1

Протягом 2018–2023 років спостерігається поступове зменшення кількості населення області з **2529,6 тис. осіб** (2018 р.) до **2478,13 тис. осіб**

(2023 р.), що може бути зумовлено міграційними процесами. Попри зниження чисельності населення, загальний обсяг зібраних побутових відходів зріс з **2139,3 тис. т у 2018 р.** до **максимального значення 3688,6 тис. т у 2021 р.** У 2023 році цей показник зменшився до **2830,4 тис. т**, що може свідчити про зміни у сфері збору чи обліку. Питоме навантаження на одного мешканця зросло з **847 кг/особу/рік (2018 р.)** до понад **1185 кг/особу/рік (2023 р.)**, що свідчить про підвищення рівня споживання, зменшення частки вторинного використання відходів або збільшення частки одноразової упаковки й товарів. У 2020 р. питоме навантаження склало **1246 кг/особу/рік**, що значно перевищувало попередні роки. Це може бути пов'язано з пандемією COVID-19, зростанням онлайн-замовлень, збільшенням кількості одноразових матеріалів і засобів індивідуального захисту.

Важливо зазначити, що у Львівській області **генерація побутових відходів на одну особу зростає**, що вказує на інтенсифікацію споживання матеріальних ресурсів та актуалізує необхідність екологічно сталого управління відходами, зокрема – зменшення полімерного забруднення.

Пластикові відходи в містах генеруються насамперед із побутового сектора (упаковки, пакети, одноразовий посуд) і транспортної інфраструктури. Так, у структурі побутових відходах переважають легкопаливні фракції (пластик, папір, текстиль): наприклад, в одному лише Києві вони становлять до 40% обсягу сміття [13, 19]. Значну частину міського мікропластику утворюється внаслідок зношування автомобільних шин і дорожнього покриття: шведські дослідження свідчать, що найбільшу частку антропогенних мікропластикових частинок у вуличному пилу походить від фрагментів гуми шин та асфальту [27]. Інші важливі джерела – синтетичні волокна з одягу, пластикові фарби для дорожньої розмітки, пластикові упаковки з продуктів. Наприклад, науковці **Anja Verschoor і E de Valk** підкреслюють, що такими масовими джерелами є шини, дорожні покриття, пластикові деталі автомобілів і абразивні миючі засоби [39]. Хоча синтетичні косметичні мікробісерки в багатьох країнах заборонені, вони все ще постачають **мікрочастки** разом із побутовою хімією. Ці частки після дощів і вітрів переносяться у канами, ріки і акумулюються у ґрунтах міських парків і полігонів відходів, перетворюючи міські території на «гарячі точки» пластикового забруднення.

4.5 Міграція та трансформація мікропластикових частинок у навколишньому середовищі

У контексті стрімкого урбанізаційного розвитку та інтенсифікації промислово-побутових процесів проблема пластикового забруднення набуває дедалі більшої актуальності. Урбаністичні агломерації об'єднують кілька ланок екологічного циклу, у яких пластик виконує роль як вектора передачі забруднювачів, так і каталізатора трансформаційних процесів. Макропластик (≥ 25 мм) та мезопластик (5 – 25 мм) накопичуються на санкціонованих та стихійних сміттєзвалищах, де під дією сонячного випромінювання, температурних коливань й механічного руйнування ці частинки подрібнюються до мікропластику (20 мкм–5 мм), а згодом – до наночастинок (< 1 мкм). Ці дрібні фрагменти, насичені додатковими адсорбованими забруднювачами – фталатами, бісфенолом А, полібромованими діфеніловими ефірами – розносяться вологими та сухими атмосферними аерозолями, проникають у ґрунтову матрицю під дією інфільтраційних потоків, а також мігрують разом із стічними водами до дренажних систем і міських річок.



Рисунок 3.4 – Схематичне представлення циклу мікропластику в навколишньому середовищі та стратегій боротьби з ним [29]

Варто зазначити, що складність цієї проблеми полягає в тому, що пластик не просто зникає, а проходить складний процес розпаду (поступово фрагментується у дрібніші частинки), який займає значний час і призводить до утворення менших, але потенційно більш небезпечних форм (мікро- та нанопластику). Елемент «**дні – місяці – роки – десятиліття – століття**» ефективно ілюструє довготривалий характер цієї екологічної проблеми (рис. 3.5).

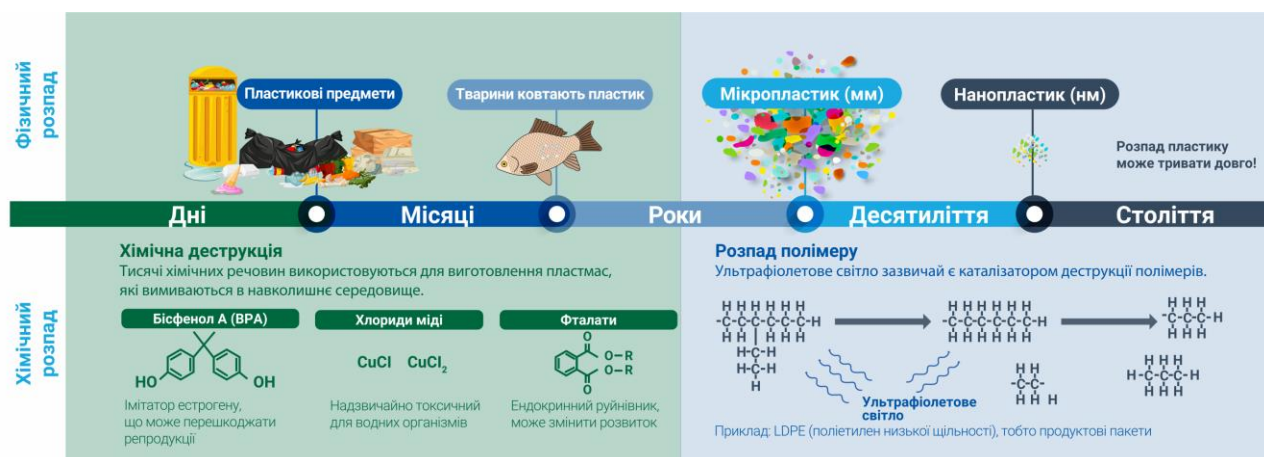


Рисунок 3.5 – Етапи фізичного та хімічного розпаду пластику і утворення мікро- та нанопластиків у довкіллі [36]

На рис. 3.5 візуалізовано процеси розпаду полімерних матеріалів, а саме «**фізичний розпад**»: **часова шкала** – ця вісь показує, як пластик змінює свою форму з плином часу – від днів до століть, а також «**хімічний розпад**» – фокусується на хімічних процесах, що супроводжують деградацію пластику, та небезпечних речовинах, які при цьому вивільняються у навколишнє середовище.

Мікропластик, що має низьку густину, зазвичай перебуває у завислому стані або на поверхні водних об'єктів, здійснюючи просторову міграцію під впливом зовнішніх динамічних чинників. Таким чином, міжфазовий обмін мікропластикових частинок між різними середовищами (літосфера, гідросфера, атмосфера) набуває циклічного характеру.

Екологічна значущість такого розповсюдження полягає не лише в безпосередньому **фізичному порушенні** структурних параметрів середовища (закупорка пор, зміна гідропроникності ґрунтів, оптичне затемнення водних поверхонь), але й у **біохімічному впливі** через передавання токсикантів уздовж урбаністичних трофічних ланцюгів. Накопичення мікропластику в міських

грунтах призводить до зниження аерації та вологоутримуючої здатності, що спричинює фітотоксичні прояви – скорочення кореневого апарату, пригнічення метаболізму рослин і порушення мікробіоценозу. Водночас, атмосферне забруднення аерозольними волокнами пластику збільшує ризики розвитку хронічних респіраторних та системних захворювань у міського населення, що вимагає інтегрованого підходу до моніторингу й оцінки здоров'я людини в контексті екологічної безпеки.

Дослідження підтверджують, що мікропластик поширений повсюдно — від земної поверхні до полярних льодовиків, що свідчить про його міжсередовищну мобільність.

Основними транспортними векторами є:

- **водні шляхи**, зокрема річки та озера відіграють роль прямих провідників пластикових відходів від глибини суші до морів та океанів. Особливо важливим механізмом перенесення мікропластику в водні об'єкти є злизові стоки з урбанізованих територій. Крім того, неочищені скиди промислових і муніципальних стічних вод безпосередньо скидають мікропластик у місцеві поверхневі води, звідки він може транспортуватися вниз за течією до озер, естуаріїв і, зрештою, заток та океанів.

- **Атмосферні шляхи** – вітер є ефективним переносником легких та дрібних мікропластиків. Мікропластик потрапляє в повітря при виробництві, використанні та утилізації пластикових виробів, а також внаслідок стирання (наприклад, частинок зносу шин) та вивітрювання більших фрагментів пластику.

- Пластик потрапляє **в ґрунт** через несанкціоновані звалища, розкидання сміття, а також через використання біошламів (осадів стічних вод) як добрив, після чого мікропластик може розноситися вітром під час сушіння.

За даними низки досліджень, щорічно міські ґрунти й водні системи акумулюють десятки тисяч тонн пластикових фрагментів, що призводить до порушення гідропористої структури едафотопу, зміни капілярності та вологоутримувальної здатності, а також до небезпечної біоаккумуляції в організмах ґрунтових безхребетних і водних тварин (рис. 3.6) [34].



Рисунок 3.6 – Міграція мікропластику та його екологічні наслідки [34]

З огляду на це, екологічна оцінка впливу пластикового забруднення на урбанізовані території є багатоаспектним завданням, що охоплює аналіз синергетичних ефектів фізико-хімічних трансформацій полімерів у довкіллі, оцінку біологічних ризиків для міських екосистем та здоров'я людини, а також розробку інтегрованих стратегій їх мінімізації через технологічні, нормативні та соціально-поведінкові інструменти. Саме на стику цих аспектів розгортається подальше дослідження, спрямоване на пошук оптимальних шляхів забезпечення стійкого функціонування міських агломерацій у умовах зростаючого пластикового навантаження.

Світові дослідження вказують на складну, міжсередовищну природу поширення мікропластиків, що підвищує ризики полімерної контамінації в урбанізованих територіях. Цей трансмісивний характер забруднення потребує інтегрованого моніторингу всіх компонентів довкілля, а також застосування мультидисциплінарних підходів до розробки моделей оцінки ризиків і сценаріїв мінімізації наслідків.

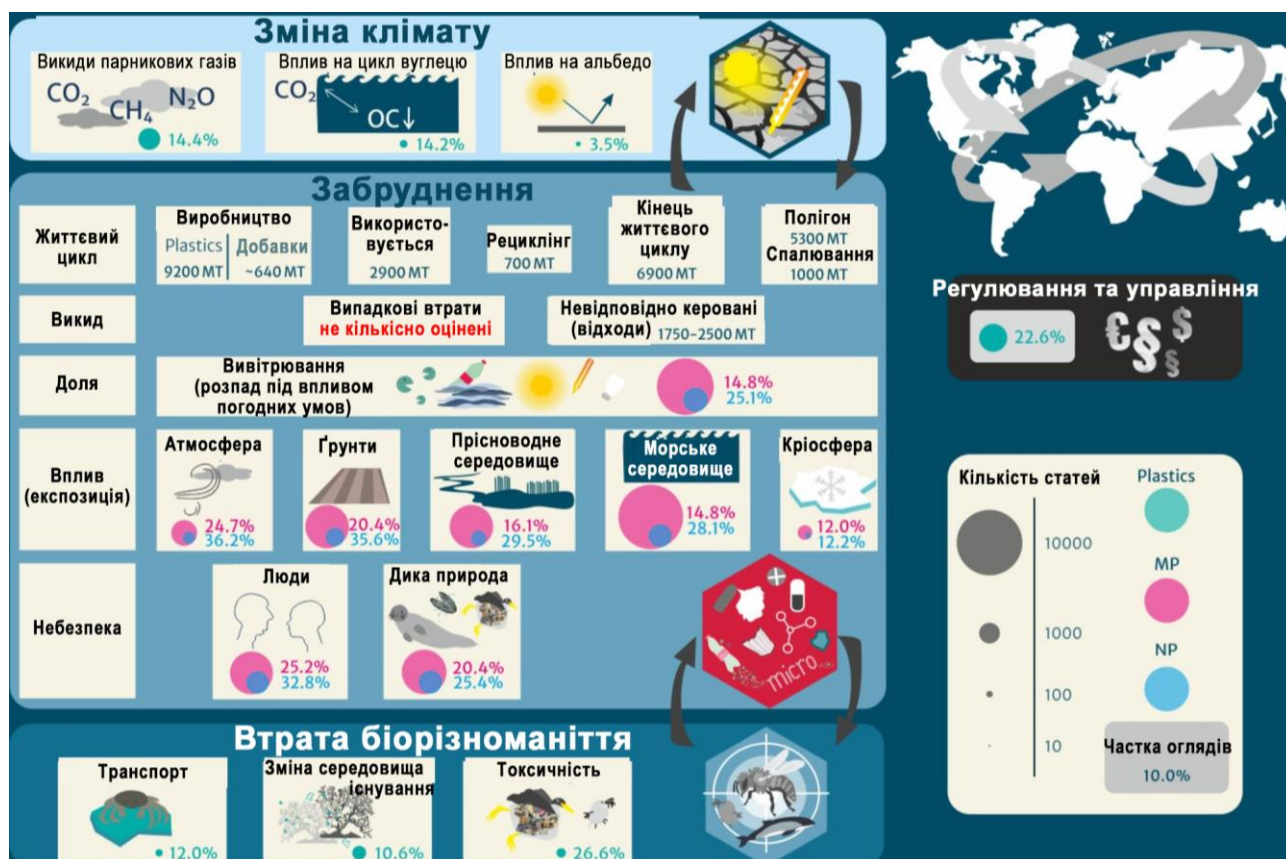


Рисунок 3.7 – Вплив пластмас на потрійну планетарну кризу [27]

На рис. 3.7 узагальнено складний та багатогранний вплив пластику на ключові глобальні екологічні виклики: зміну клімату, забруднення навколишнього середовища та втрату біорізноманіття.

Пластик впливає на клімат на різних етапах свого життєвого циклу. Виробництво пластмас та добавок (9200 MT та ~640 MT відповідно) призводить до значних викидів парникових газів (14,4% від загального впливу). Впливає на цикл вуглецю (14,2%) та альбедо (відбивна здатність поверхні – 3,5%), що додатково посилює зміни клімату.

З 9200 MT вироблених пластмас, лише 700 MT (менше 8%) переробляється. Більша частина – 5300 MT – потрапляє на полігони, 1000 MT спалюється, а 1750–2500 MT залишаються неконтрольованими, забруднюючи довкілля.

Пластикові відходи, піддаючись вивітрюванню, фрагментуються та поширюються в атмосфері (24,7-36,2% експозиції), ґрунтах (20,4-33,6%), прісноводному (16,1-29,3%) та морському (14,8-28,1%) середовищах, а також у кріосфері (12,0-12,2%). Це свідчить про універсальність проблеми забруднення.

Мікропластик становить небезпеку як для людей (25,2-32,8% впливу), так і для дикої природи (20,4-25,4%), що підкреслює пряму загрозу для біологічних систем.

Пластик сприяє втраті біорізноманіття через різні механізми, зокрема транспорт (12,0%), зміну середовища існування (10,6%) та токсичність (26,6%). Це показує, що пластик не лише фізично впливає на організми (наприклад, заплутування), але й спричиняє екотоксикологічні наслідки.

Таким чином, пластик є системним деструктивним чинником для клімату, екосистем і біоти. Проблема не обмежується лише накопиченням відходів, а охоплює весь життєвий цикл пластику. Незважаючи на зростання наукових досліджень, існуючі механізми регулювання та управління залишаються недостатніми для ефективного протистояння цій глобальній загрозі.

У *грунтах* полімерні частинки проникають углиб через інфільтрацію, супроводжувану механічною фрагментацією та мікробіологічними впливами. У процесі розпаду на новоутворених поверхнях адсорбуються токсичні добавки (фталати, бісфенол А, ПБДЕ тощо), що підвищує ризики для ґрунтової біоти та водоносних горизонтів. У *водному середовищі* мікропластик і забруднювачі концентруються в дренажних системах і річках, які щорічно транспортують до океану до 2,7 млн тонн таких речовин, забруднюючи прибережні й морські екосистеми. В *атмосфері* мікрочастинки піднімаються аерозольно завдяки турбулентності й термічним потокам, осідаючи з опадами, часто на великій відстані від джерела. Ці міжсередовищні переміщення зумовлюють кумулятивні ризики для біоценозів і підсилюють екологічне навантаження на урбанізовані території, що вимагає комплексного моніторингу та заходів мінімізації пластикового забруднення.

Основні проблеми, пов'язані з пластиковим забрудненням в урбанізованих територіях, включають:

- накопичення макропластику на вулицях, у водоймах і зелених зонах;
- формування мікропластику – через процеси фотодеградації, механічного зношування шин та прання синтетичних тканин;
- блокування систем водовідведення та порушення гідрологічного балансу;
- негативний вплив на міську фауну й флору;
- потрапляння токсичних речовин до організму людини з водою, повітрям та їжею.

4.6 Витоки мікропластику в урбанізованих екосистемах і необхідність переходу до циркулярної моделі

Забруднення мікропластиком в межах урбанізованих територій набуває рис багатовимірної екологічної кризи, що поєднує екосистемні, соціальні й санітарно-гігієнічні загрози. Однією з ключових екологічних проблем є інтеграція мікропластичних фрагментів у трофічні ланцюги за рахунок їх поглинання мікроорганізмами, макрофітами, безхребетними й хребетними тваринами. Завдяки великій питомій поверхні мікропластик діє як сорбент шкідливих хімічних речовин – пестицидів, важких металів, стійких органічних забруднювачів, що потенційно зумовлює кумулятивний токсичний ефект.

У соціальному вимірі актуалізується питання ризиків для здоров'я населення, зокрема у зв'язку з можливим надходженням мікропластику до організму людини з питною водою, морепродуктами та іншими харчовими продуктами, що спричиняє низку біомедичних наслідків (ендокринні порушення, хронічні запалення, імунні реакції).

Визначення джерел утворення мікропластику в урбанізованих середовищах є необхідною передумовою для розроблення ефективних заходів запобігання. Найбільш вагомі категорії включають:

- **одноразову упаковку та вироби короткотривалого використання** – до 36% глобального обсягу виробництва пластикової продукції припадає саме на пакування, з яких близько 85% потрапляє на сміттєзвалища або як нерегульовані відходи. Це охоплює широкий спектр продуктів, таких як пластикові пакети, контейнери, обгорткові матеріали, що викидаються з побутовими відходами. Окрему екологічну загрозу становлять сигаретні недопалки, фільтри яких містять крихітні пластикові (ацетатцелюлозні) волокна й є найпоширенішим фрагментарним забруднювачем вуличного середовища;

- **Побутові та споживчі товари**, насамперед ця категорія включає як недовговічні товари з терміном служби менше трьох років (пластиковий посуд, пакети для сміття, підгузки, синтетичний одяг), так і довговічні товари, які використовуються понад три роки (побутова техніка, меблі, килими, споживча електроніка).

- **Промислові та будівельні відходи**, зокрема полімери, що використовуються у виробництві теплоізоляційних матеріалів, покриттів, труб, фарб та клеїв, які внаслідок ерозійних процесів утворюють мікропластичні частки;
- **Неналежне поводження з відходами** (включає несанкціоновані звалища, сміття, що викидається безпосередньо в навколишнє середовище, а також втрати гранул пластику під час транспортування або виробництва, що свідчить про низький рівень контролю на критичних етапах логістичного ланцюга);
- **Стічні води та зношування матеріалів**, оскільки мікропластик формується при пранні синтетичного текстилю, стиранні шин на дорожньому покритті, фрагментації будівельних матеріалів, після чого потрапляє в міську каналізацію, дощові стоки або розсіюється з пилом в атмосфері.

Висока концентрація одноразових полімерів у міському середовищі, а також структурна неефективність систем управління відходами вказують на критичну системну проблему, яка виходить за межі індивідуальної відповідальності споживача. Це свідчить про те, що ефективні стратегії мінімізації повинні бути спрямовані не лише на підвищення обізнаності громадськості, а й на виробництво та дизайн продукції на початкових етапах життєвого циклу, а також на розвиток інфраструктури управління відходами на кінцевих етапах. Проблема полягає не лише в тому, що споживається, а й у тому, як продукти виробляються та утилізуються. Одноразові вироби за своєю суттю призначені для швидкого викидання, і якщо системи управління відходами неефективні, вони неминуче стають джерелом забруднення. Отже, рішення мають виходити за рамки простого заклик до переробки. Вони повинні зосереджуватися на «перекритті крана» виробництва пластику (зменшення кількості несуттєвих пластиків), сприянні багаторазовим альтернативам та значних інвестиціях у надійну, циркулярну інфраструктуру управління відходами. Таким чином, переносить акцент з індивідуальної відповідальності на системні зміни.

На рис. 3.9 показано класифікацію пластмас на основі фізико-хімічних властивостей і застосування, походження матеріалу та здатності до біологічного розкладання, життєвого циклу та міжнародних стандартів.

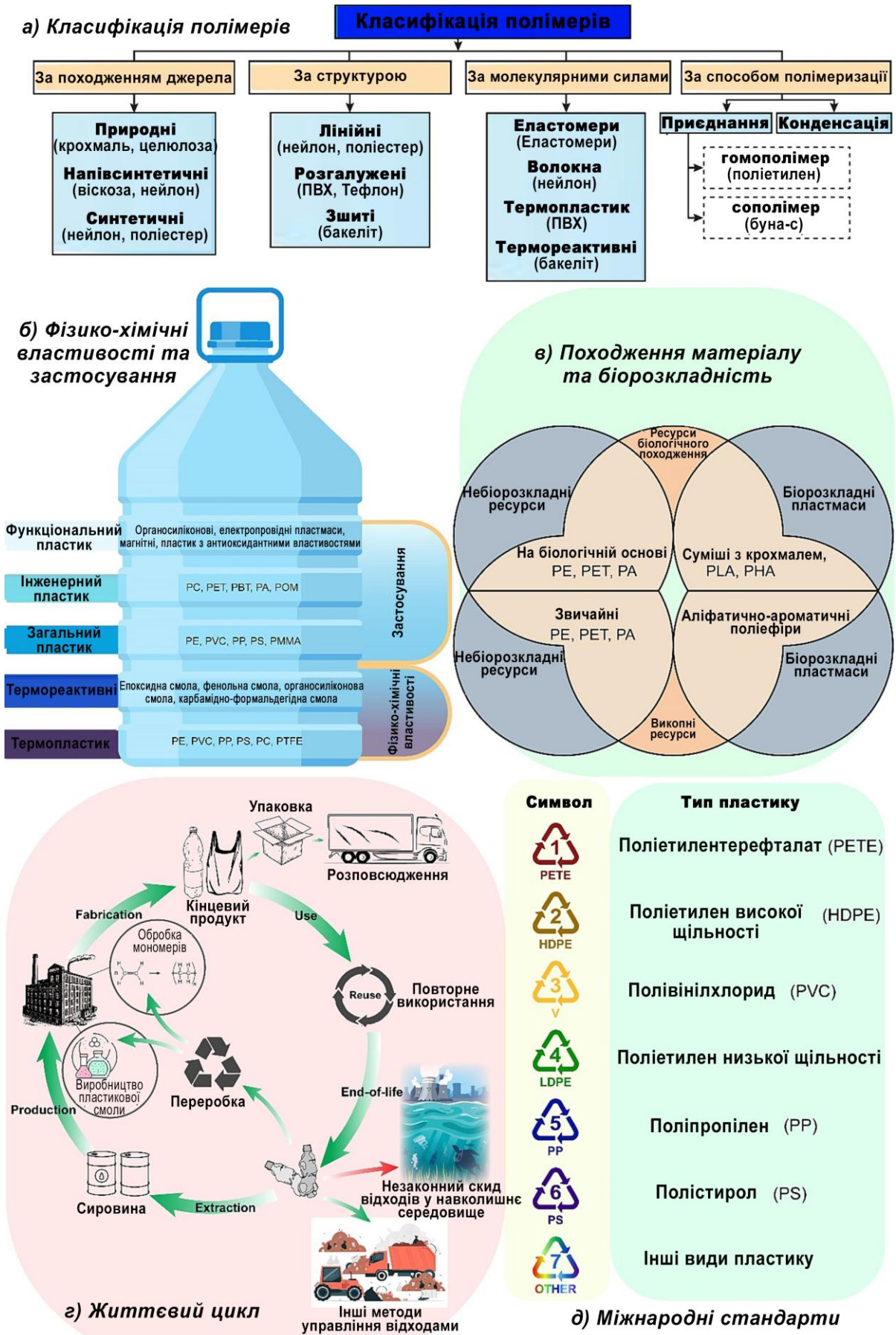


Рисунок 3.9 – Класифікація полімерів за різними критеріями [39]

Відтак, у фокусі наукового й прикладного дискурсу перебуває перехід від лінійної моделі споживання ресурсів до **циркулярної економіки**, що передбачає зменшення первинного виробництва, упровадження екодизайну, розширення циклів повторного використання й забезпечення високотехнологічної переробки [28, 41].

Особливістю циркулярного підходу є акцент на **превентивні заходи**: контроль за використанням неекономічних і нефункціональних видів пластику, стимулювання багаторазових альтернатив (мультиразове пакування, біорозкладні матеріали), розвиток інфраструктури селективного збирання та утилізації. Отже, стратегічна орієнтація має ґрунтуватися не на риториці індивідуальної відповідальності, а на інституційному впровадженні **системних трансформацій**, що охоплюють законодавчі ініціативи, інноваційні технології, освітні програми та державно-приватне партнерство.

Таким чином, боротьба з мікропластичним забрудненням у містах неможлива без перегляду засад виробничо-споживчої моделі та радикального переходу до циркулярних практик, які здатні зменшити екологічне навантаження на урбанізовані екосистеми та захистити здоров'я населення.



Рисунок 3.10 – Порівняння лінійної та циркулярної економіки в управлінні пластиковими матеріалами [28]

Рис. 3.10 чітко ілюструє, що перехід від лінійної до циркулярної економіки в секторі пластику дозволяє закрити ресурсні цикли, зменшити екологічний слід і створити стійкіші моделі виробництва та споживання. Замість «добув – вироби – зітри» циркулярна модель працює за принципом **«проєктуй – використовуй – переробляй – повторно використай»**.

4.7 Технологічні рішення для управління та переробки пластикових відходів

Сучасні технологічні рішення відіграють ключову роль у мінімізації пластикового забруднення, пропонуючи альтернативи традиційним методам захоронення та спалювання відходів. Перехід від лінійної моделі до циркулярної економіки вимагає впровадження інноваційних підходів на всіх етапах життєвого циклу пластику.

Інноваційні технології управління пластиковими відходами:

- **«розумні» системи управління відходами** використовують датчики та аналітику даних (Інтернет речей, IoT) для оптимізації маршрутів збору відходів, моніторингу рівня заповнення контейнерів та виявлення несправностей, що значно підвищує ефективність та знижує витрати;
- **штучний інтелект та робототехніка** автоматично сортують та ідентифікують різні типи пластику, покращуючи якість вторинної сировини та ефективність переробних центрів;
- **пневматичні системи збору відходів** підземного транспортування відходів зменшують потребу в смітєвих вантажівках, скорочують викиди та підвищують загальну продуктивність.

Переробка пластикових відходів:

- **механічна переробка** (сортування → миття → подрібнення → виробництво пластикових пластівців) залишається базовим способом підготовки пластику до повторного виробництва;
- **хімічна переробка** дає змогу знову отримати мономери або цінні хімічні сполуки навіть із забруднених і змішаних потоків пластику. Методи включають піроліз (розкладання пластику на рідкі вуглеводні за високих температур без кисню), газифікацію (перетворення на синтез-газ), хемоліз, деполімеризацію та сольволіз (розчинення пластику за допомогою розчинників). Хімічна переробка

є особливо цінною для складних потоків відходів, які не піддаються механічній переробці;

- **біологічні підходи**, зокрема використання ферментів та мікроорганізмів для біорозкладання стійких пластиків, таких як PET, є екологічно чистою альтернативою хімічним методам;

- **перетворення пластику на енергію (Waste-to-Energy, WTE)** – цей процес передбачає перетворення органічних відходів (включаючи певні види пластику) на біогаз або біопаливо за допомогою анаеробного зброджування або термічної обробки, а також спалювання для виробництва електроенергії або тепла. WTE є особливо корисним в урбанізованих районах з обмеженим простором для звалищ.

- **інноваційними розробками** вважаються, такі як дорожнє покриття з переробленого пластику (проект PlasticRoad у Нідерландах) [40], пакування з морських водоростей та використання специфічних видів грибів (наприклад, *Aspergillus tubingensis*) для розщеплення поліуретану [29, 37].

Перехід від традиційних методів захоронення/спалювання до передових технологій переробки та перетворення відходів на енергію відображає рух до оцінки пластикових відходів як ресурсу в рамках циркулярної економіки.

Таблиця 3.6 – Огляд технологічних рішень для мінімізації пластикових відходів

Назва технології	Опис принципу дії	Переваги	Недоліки/Виклики	Приклади впровадження
«Розумні» системи управління відходами	Використання датчиків та аналітики даних для оптимізації збору та моніторингу контейнерів	Підвищення ефективності, зниження витрат, зменшення викидів	Високі початкові інвестиції, потреба в інфраструктурі зв'язку	Міста по всьому світу (наприклад, Франція, Польща)
ІІІ та робототехніка для сортування	Роботи з ІІІ для автоматичного розпізнавання та сортування різних типів пластику	Підвищення точності сортування, зменшення людського фактора, прискорення процесу	Висока вартість обладнання, потреба у кваліфікованому персоналі	Компанії, що займаються переробкою (наприклад, Bin-e)

Механічна переробка	Збір, сортування, миття, подрібнення та переплавка пластику в нові вироби	Відносно проста, дозволяє повторне використання матеріалів	Обмеження щодо типів пластику, зниження якості матеріалу (даунсайклінг), проблема забруднення	Широко поширені у всьому світі
Хімічна переробка (піроліз, газифікація, сольволіз)	Розкладання пластику на мономері або інші хімічні речовини за допомогою термічних/хімічних процесів	Переробка змішаних та забруднених пластиків, отримання високоякісної сировини	Значні інвестиції, енергоємність, потреба в подальшому вдосконаленні	Проекти UrbanMill (Фінляндія)
Біологічна переробка (ферментативна, мікробна)	Використання ферментів або мікроорганізмів для розкладання пластику	Екологічно чиста, потенціал для складних пластиків	На ранніх стадіях розвитку, обмежена масштабованість	Дослідження в лабораторіях
Перетворення відходів на енергію (WTE)	Перетворення органічних відходів (включаючи пластик) на біогаз, біопаливо або електроенергію	Зменшення обсягу відходів на звалищах, виробництво енергії	Потенційні викиди забруднюючих речовин (при спалюванні), високі початкові витрати	Швеція, міста з обмеженим простором для звалищ
Біорозкладні матеріали	Розробка пакувальних матеріалів на основі водоростей, кукурудзяного крохмалю тощо	Зменшення довгострокового забруднення, природне розкладання	Виклики щодо масштабування виробництва, вартість, умови розкладання	Evoware (Індонезія)

Успішна реалізація та масштабування вказаних технологій сильно залежать від економічної життєздатності, сприятливої політики (наприклад, розширена відповідальність виробника) та розвитку надійної інфраструктури. Таким чином підкреслюючи необхідність багатогранного підходу, який інтегрує технології з економічними стимулами та політичними рамками.

Підтримуючими заходами залишаються кампанії з підвищення обізнаності та екологічної освіти населення, які створюють соціальну підтримку законодавчих змін і сприяють сталому поводженню з пластиковими виробами. Прикладом впровадження принципів циркулярної економіки у світових компаніях є:

- компанія **Adidas** впровадила *стратегію «трьох циклів»* – переробка, повторне використання, регенерація – для зменшення пластикових відходів у своїй продукції, розробляючи взуття, яке повністю підлягає переробці;
- компанія **Philips** дотримується принципів «використовуй менше, використовуй довше, використовуй знову», пропонуючи програми повернення продукції та *моделі «продукт як послуга»* для медичних пристроїв та споживчих товарів;
- проект **PlasticRoad (Нідерланди)** створив ділянки велодоріжок з переробленого пластику, демонструючи інноваційні шляхи повторного використання відходів;
- **Швеція** успішно впровадила програму «відходи в енергію», перетворюючи неперероблювані відходи на тепло та електроенергію, що дозволило зменшити обсяг відходів на звалищах до менш ніж 1%;
- **ініціативи Earth5R** – організації, яка переробляє пластикові відходи на еко-цеглу, тканини та споживчі товари, створюючи кругові джерела доходу та зменшуючи забруднення.

Ці приклади демонструють, як законодавчі стимули й ринкові механізми можуть сприяти зменшенню пластикових відходів.

3.6 Євроінтеграційні заходи для мінімізації пластикового забруднення в містах

Мінімізація пластикового забруднення в урбанізованих територіях України вимагає комплексного підходу, що враховує поточні виклики, зокрема наслідки військових дій, та стратегічні цілі євроінтеграції.

Перш за все, це посилення законодавчої бази та впровадження розширеної відповідальності виробника (РВВ): прискорення гармонізації українського законодавства з директивами ЄС щодо управління відходами, зокрема

щодо повноцінного впровадження РВВ для пакувальних відходів та інших пластикових виробів. Це передбачає розробку відповідних підзаконних актів та створення дієвих фінансових механізмів, які стимулюватимуть виробників до екологічного дизайну та переробки своєї продукції. Розробка та впровадження ефективних механізмів контролю та відповідальності за порушення у сфері поводження з відходами, включаючи посилення штрафів та моніторингу.

По-друге, це розвиток інфраструктури управління відходами:

- будівництво сучасних сміттєпереробних заводів, сортувальних ліній, а також об'єктів для хімічної та біологічної переробки пластику. Передусім має бути інтегровано в плани післявоєнного відновлення, використовуючи найкращі європейські практики;

- впровадження систем роздільного збору відходів на рівні домогосподарств та підприємств, включаючи небезпечні відходи (батарейки, лампи) та будівельне сміття, що утворилося внаслідок бойових дій. Необхідно забезпечити доступність та зручність таких систем для громадян;

- створення сприятливих умов для залучення інвестицій у сектор управління відходами, зокрема через державно-приватне партнерство та міжнародні фонди.

По-третє, це заохочення інноваційних технологій:

- підтримка досліджень та розробок у сфері нових матеріалів (наприклад, біорозкладні пластики, пакування з водоростей) та передових методів переробки (хімічна, ферментативна); впровадження пілотних проектів з використання «розумних» систем управління відходами та автоматизованих рішень для збору та сортування, що дозволить оптимізувати процеси та зменшити людський фактор.

По-четверте, підвищення обізнаності та зміна споживчої поведінки:

- проведення постійних національних та місцевих просвітницьких кампаній, спрямованих на зменшення споживання одноразового пластику, пояснення важливості сортування та заохочення повторного використання. Кампанії мають бути адаптовані до місцевих умов та використовувати різноманітні канали комунікації;

- заохочення використання багаторазових альтернатив та підтримка ініціатив «без пластику» серед населення та бізнесу;

- впровадження програм екологічної освіти в навчальних закладах, починаючи з раннього віку, для формування культури сталого споживання та відповідального поводження з відходами.

По-п'яте, інтеграція принципів циркулярної економіки:

- розробка та реалізація національної стратегії та плану дій з інтеграції принципів циркулярної економіки в усі сектори економіки України. Перш за все має бути не просто екологічна ініціатива, а стратегічний шлях для економічної модернізації та євроінтеграції;

- стимулювання бізнесу до екодизайну продукції, що передбачає її легке розбирання, ремонт та повторне використання, а також впровадження замкнених циклів виробництва.

Рекомендації для України повинні чітко враховувати унікальний контекст післявоєнного відновлення, який представляє як величезні виклики (наприклад, відходи від руйнувань), так і безпрецедентні можливості для побудови сучасної, циркулярної системи управління відходами з нуля, що відповідає стандартам ЄС. Це означає, що стратегічне планування мінімізації пластикового забруднення має бути інтегроване в ширші національні зусилля з реконструкції, а не розглядатися як окрема екологічна проблема. Війна створила величезні обсяги відходів від руйнувань, що поглиблює проблему. Однак це також надає унікальну можливість відновити інфраструктуру, використовуючи сучасні принципи циркулярної економіки, а не просто відновлювати старі, неефективні системи.

Отже, запропоновані рекомендації наголошують на інтеграції управління пластиковими відходами та ініціатив циркулярної економіки безпосередньо в національні плани післявоєнного відновлення та євроінтеграції. Це означає, що розглядаємо відходи не лише як проблеми, які потрібно вирішити, а як ресурс для відбудови, використовуючи гармонізацію з ЄС як важіль для швидкої, сталої трансформації.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Ідентифікація потенційних небезпек та шкідливих факторів

Небезпеки та шкідливі фактори можуть виникати на різних етапах дослідження та реалізації запропонованих рішень.

1. Небезпеки, пов'язані зі збором та сортуванням пластику (якщо це передбачено дослідженням):

- механічні (порізи від гострих країв пластику, уколи від сторонніх предметів (скло, метал), падіння, травми від перевантажень при переміщенні великих обсягів відходів);
- біологічні (контакт з біологічно небезпечними відходами, що можуть бути змішані з пластиком (залишки їжі, медичні відходи), ризик зараження інфекційними захворюваннями);
- хімічні (контакт з залишками хімічних речовин на пластиковій упаковці (миючими засобами, розчинниками, побутовою хімією).
- фізичні (вплив несприятливих погодних умов (якщо роботи проводяться на відкритому повітрі), шум (при використанні обладнання для пресування/сортування), пил);
- ергономічні (незручні робочі пози, монотонні рухи, що можуть призвести до захворювань опорно-рухового апарату).

2. Небезпеки, пов'язані з лабораторними дослідженнями (якщо вони проводяться в рамках роботи):

- хімічні, що включають використання реагентів для аналізу пластику (наприклад, для визначення типу полімеру, наявності добавок, мікропластику). Ризик отруєння, подразнення шкіри та дихальних шляхів;
- фізичні, зокрема робота з лабораторним обладнанням (мікроскопи, спектрометри, термостати), ризик ураження електричним струмом, опіків;
- пожежна небезпека (робота з легкозаймистими розчинниками, горючими матеріалами).

4.2 Заходи щодо попередження та мінімізації небезпек

Обов'язково здійснюється ідентифікація потенційних небезпек та шкідливих факторів, які можуть виникнути під час проведення дослідження та імплементації його результатів. Це є найважливішою частиною аналізу. Можливі небезпеки можуть бути класифіковані за різними типами:

1. механічні небезпеки, які виникають при роботі зі збором та сортуванням пластику. Це можуть бути порізи від гострих країв пластикових виробів, уколи від сторонніх предметів (скло, металеві уламки, шприци), що часто потрапляють у потоки відходів. Також існують ризики травм від падінь, ударів, перевантажень при переміщенні значних обсягів сміття, особливо на непідготовлених ділянках чи під час польових досліджень мікропластику.

2. Пластикові відходи, особливо в урбанізованих територіях, можуть бути забруднені біологічно небезпечними речовинами: залишки їжі, медичні відходи, екскременти тварин. Це створює ризик зараження інфекційними захворюваннями (наприклад, гепатитом, сальмонельозом, лептоспірозом) через прямий контакт або через пошкодження шкіри.

3. Пластик часто містить залишки хімічних речовин (миючі засоби, розчинники, барвники, пестициди, гербіциди), які можуть викликати подразнення шкіри, слизових оболонок, дихальних шляхів. При лабораторних дослідженнях, що можуть включати використання агресивних розчинників для виділення та ідентифікації полімерів або мікропластику, зростає ризик інтоксикації та хімічних опіків.

4. Фізичні небезпеки, передусім включають вплив несприятливих погодних умов (екстремальні температури, опади) під час польових робіт. Шум та вібрація можуть бути факторами ризику при роботі з обладнанням для пресування або шредування пластику. Небезпеку становить також пил, який утворюється при руйнуванні та переробці пластику, а також небезпека ураження електричним струмом при роботі з електрообладнанням. Особливу увагу слід приділити мікропластику, який може вдихатися і потрапляти в організм, викликаючи респіраторні проблеми та інші негативні наслідки для здоров'я, що безпосередньо пов'язано з темою роботи.

5. Ергономічні небезпеки, які пов'язані з незручними робочими позами, монотонними рухами, підняттям важких предметів, що може призвести до розвитку захворювань опорно-рухового апарату, перевтоми та зниження уваги.

На основі ідентифікованих небезпек розробляються заходи щодо попередження та мінімізації ризиків. Ці заходи повинні бути комплексними:

- Організаційні заходи, насамперед розробка детальних інструкцій з охорони праці для всіх видів робіт (збір, сортування, лабораторні аналізи). Проведення обов'язкових інструктажів та регулярних навчань з безпеки праці та надання першої домедичної допомоги. Забезпечення систематичних медичних оглядів для працівників, які контактують з відходами. Запровадження системи контролю за дотриманням вимог охорони праці.

- Технічні заходи, передусім використання відповідних засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), таких як щільні захисні рукавички (стійкі до проколів, порізів, хімічних речовин), спеціальний одяг та взуття, захисні окуляри, респіратори (для захисту від пилу та мікропластику), маски. Максимальна механізація та автоматизація процесів збору, сортування та переробки пластику для мінімізації прямого контакту людини з відходами. Забезпечення ефективної вентиляції у закритих приміщеннях, де проводяться роботи з пластиком або хімічними речовинами. Наявність та справність засобів пожежогасіння (вогнегасники, пожежна сигналізація).

- Санітарно-гігієнічні заходи передбачають забезпечення чистоти робочих місць, регулярне прибирання та дезінфекція обладнання та інструментів. Доступ до засобів особистої гігієни (проточна вода, мило, антисептики). Організація належної утилізації всіх видів відходів, включаючи небезпечні.

Запропоновані заходи з охорони праці є не просто формальною вимогою, а практичною дорожньою картою для забезпечення безпеки тих, хто буде залучений до процесів мінімізації пластикового забруднення на урбанізованих територіях. Дотримання цих принципів та нормативів є запорукою не лише збереження здоров'я працівників, але й ефективного та сталого вирішення екологічних проблем.

ВИСНОВКИ

Пластикові матеріали перебувають у центрі уваги світової спільноти, адже їхнє виробництво є надзвичайно ресурсомістким, а викиди в довкілля залишаються значною мірою неконтрольованими. До того ж, брак належного контролю за хімічним складом цих матеріалів створює додаткові ризики. Проведене дослідження підтверджує, що **пластикове забруднення вже вийшло за межі безпечного для планети рівня**, торкаючись багатьох аспектів функціонування земних систем – від етапу: «видобуток ресурсів і виробництво» до «безпосередніх викидів у природу та їхніх наслідків». Отже, проблема пластикового забруднення в урбанізованих територіях є багатогранною та системною екологічною загрозою, що має глибокі наслідки для екосистем, біорізноманіття та здоров'я людини.

Комплексний аналіз сучасних наукових джерел засвідчив, що спроба визначити універсальну «планетарну межу» для пластику є обмеженою через багатофакторність його впливів. пластик чинить суттєвий вплив на основні екологічні виклики планети. Із 9200 млн тонн вироблених пластмас лише близько 700 млн т (менше 8%) піддаються переробленню, тоді як 5300 млн т потрапляє на полігони, 1000 млн т спалюється, а 1750–2500 млн т залишаються неконтрольованими, забруднюючи довкілля. На етапі виробництва та використання пластмас викиди парникових газів становлять 14,4% від сукупного впливу, порушення вуглецевого циклу – 14,2%, а зміни альбедо – 3,5%.

Мікропластик потрапляє до атмосфери (24,7–36,2%), ґрунтів (20,4–33,6%), прісноводних (16,1–29,3%) і морських (14,8–28,1%) екосистем, а також у кріосферу (12,0–12,2%). Вплив на здоров'я людини сягає 25,2–32,8%, а на дику природу – 20,4–25,4%. Через токсичність (26,6%), транспорт (12,0%) і зміну середовищ існування (10,6%) пластик прямо сприяє втраті біорізноманіття, що підтверджує його багатовекторну загрозу для довкілля.

Урбанізовані території визначено як ключові осередки генерації та акумулювання пластикових відходів. Через складні механізми поширення – водні потоки, атмосферне перенесення, міграцію в ґрунтах – пластик активно переміщується між компонентами довкілля, утворюючи макро-, мікро- та наночастинки. Особливу стурбованість викликає здатність мікропластику

проникати в організм людини через інгаляцію та споживання, викликаючи токсичні, імунні та генотоксичні ефекти.

Слід констатувати, що міські сміттєзвалища, несанкціоновані скиди, промислові об'єкти та транспортна інфраструктура виступають активними джерелами пластикового навантаження. Річкові системи, зокрема функціонують як комунікаційні «канали» для перенесення пластику з урбанізованих ділянок до більших басейнів. Водночас, промислові підприємства генерують первинні емісії мікропластику через технологічні процеси та стоки.

Аналіз показав, що існують різноманітні методології для оцінки пластикового забруднення в різних середовищах, але їхня фрагментація вказує на потребу в стандартизованих, інтегрованих підходах для отримання цілісної картини. Кейс-стаді продемонстрували, що пластикове забруднення не лише завдає екологічної шкоди, а й має відчутні економічні витрати та прямий вплив на міські послуги. Таким чином, інвестиції в боротьбу з пластиковим забрудненням є виправданими з точки зору сталого розвитку.

Шляхи мінімізації пластикового забруднення вимагають комплексних рішень, що охоплюють технологічні інновації (від «розумних» систем управління відходами до передових методів переробки, таких як хімічна та біологічна), законодавчі та регуляторні ініціативи (включаючи гармонізацію з ЄС та впровадження Розширеної Відповідальності Виробника), а також масштабні просвітницькі програми, що заохочують стале споживання та зміну поведінки.

Для України, яка перебуває на шляху євроінтеграції та післявоєнного відновлення, вирішення проблеми пластикового забруднення є не лише екологічним, а й стратегічним завданням. Впровадження принципів циркулярної економіки, що передбачає усунення відходів, циркуляцію матеріалів та регенерацію екосистем, є ключовим для побудови сучасної, ресурсоефективної та конкурентоспроможної економіки. Запропоновані рекомендації, що охоплюють посилення законодавчої бази, розвиток інфраструктури, заохочення інновацій, підвищення обізнаності та інтеграцію циркулярних принципів, мають бути реалізовані в контексті національних планів відновлення. Це дозволить перетворити виклики, пов'язані з відходами, на можливості для сталого розвитку та європейської інтеграції України.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аналіз ринку полімерів ПЕ України. 2018. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analizrynka-polimerov-pe-ukrainy-2018-god>
2. Бакова А., Кушнір В. Вплив пластику та мікропластику на життя та здоров'я морських тварин, птахів та риб запобігання потрапляння нового пластику в моря та океани. *Agrarian bulletin black sea littoral*. 2022, ISSUE 104-105. <http://lib.osau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3756/1/24.pdf>
3. Відходи пластикових матеріалів: оцінка утворення та поводження в регіонах північно-західного Причорномор'я // Т. А. Сафранов, В. Ю. Приходько, В. І. Михайленко. *Український гідрометеорологічний журнал*, 2023, № 31. С.122-130. http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11849/1/uhmj_31_2023_122.pdf
4. Денисенко, Т. М. Дослідження сучасних технологій переробки пластикових виробів. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*. 2014. № 1(71). С. 56-65.
5. Директива Європейського парламенту та ради 2008/98/ЄС про відходи та скасування деяких Директив від 19 листопада 2008 року. Електронний ресурс: <https://menr.gov.ua/news/31288.html>
6. Ілляш О.Е., Бредун В.І., Чухліб Ю.О. Навчальний посібник «Управління відходами: Частина 1. Управління відходами на регіональному та місцевому рівнях». Полтава: ПП «Астроя», 2021. 187 с. URL: <https://surl.li/xiykzs>
7. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
8. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/2320-20>
9. Геоєкологія Львівської області: монографія / Ю. Андрейчук, Л. Безручко, В. Біланюк та ін. / за заг. ред. Є. Іванова. Львів: Простір-М, 2021. С. 316–338.
10. Михайлова Є. О. Пластикове забруднення – одна з головних екологічних проблем людства. *Комунальне господарство міст*. 2020. Том 4, № 157. С. 109–121. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-4-157-109-121>
11. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>

12. Омеляненко, Т., Маковецька, Ю. Напрями вдосконалення екологічної політики у сфері поводження з відходами в Україні на основі відповідного досвіду Європейського Союзу. *Економіка природокористування і охорони довкілля*. 2015. С. 35-43.

13. Побутові відходи в Україні та ЄС: обсяги та стан поводження. URL: <http://edclub.com.ua/analytika/pobutovi-vidhody-vukrayini-ta-yes-obsyagy-ta-stan-povodzhennya>

14. Посібник для тренінгової програми з питань управління твердими побутовими відходами в об'єднаних територіальних громадах / Підготовлено консалтинговою компанією «АНТ-Group» в рамках ініціативи «Покращення якості послуг з управління твердими побутовими відходами в об'єднаних територіальних громадах» Програми «U-LEAD з Європою» та проектом GIZ.

15. Проект Закону України «Про упаковку та відходи упаковки». URL: <https://www.minregion.gov.ua/baselaw/grom-convers/elektronni-konsultatsiyi-z-gromadskisty/roekt-zakonuukrayini-pro-upakovku-ta-vidhodi-upakovki/>

16. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Манасарян А. Б. Класифікація відходів упаковки у складі твердих побутових відходів та передумови ефективного поводження з ними в регіонах України. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2020. Вип. 34. С.153- 161. doi: [10.26565/1992-4224-2020-34-15](https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-34-15)

17. Приходько В.Ю., Сафранов Т.А. Ресурсоцінна складова твердих побутових відходів окремих регіонів України: монографія. Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2024. 101 с. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/13062/1/pryhodko_safranov_resurso_skladova_tver_pob_vidhodiv_monogr_2024.pdf

18. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року». URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80/page>

19. Сергієнко Л. В. Екологічні наслідки урбанізації в системі загроз безпеці урбанізованим територіям. *Право та державне управління*. № 4. 2021. С. 147–158. URL: http://pdu-journal.kpu.zp.ua/archive/4_2021/21.pdf

20. Тверді побутові відходи в Україні: потенціал розвитку. Сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами. Підсумковий звіт. IFC (група Світового банку). 2015. 110 с.

21. Управління відходами в Україні. Режим доступу: http://ekosphaera.org/wpcontent/uploads/2018/02/Ukraine_Newsletter_01_ukr.pdf
22. Управління твердими побутовими відходами в умовах розвитку місцевого самоврядування та міжмуніципального співробітництва: Навчально-практичний посібник / За заг. редакцією Толкованова В.В., Ілляш О.Е. Київ, 2018. 369 с.
23. Чинники формування екологічного стану урбанізованого довкілля // О.І. Запорожець, Я.І. Мовчан, В.А. Гроза, В.І. Савченко, А.К. Соловейкіна, С.В. Карпенко, Ю.С. Шевченко. *Вісник НАУ*. 2010. №4. С. 94-99.
24. Шаніна Т.П., Губанова О.Р., Клименко М.О. та ін. Управління та поводження з відходами: підручник. Одеса: Вид-во ТЕС, 2012. 272 с.
25. Інформація компанії Waste to Energy Canada Inc. (WTEC). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://wtcanada.com/>
26. Anthony L. Andrady. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 2011. Volume 62, Issue 8. Pp. 1596-1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
27. A multidisciplinary perspective on the role of plastic pollution in the triple planetary crisis // C. Schmidt et al. *Environment International* 193 (2024) 109059 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412024006457?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=938d28523deaca55
28. A review on European Union's strategy for plastics in a circular economy and its impact on food safety // C. Matthews, F. Moran and A.K. Jaiswal. *Journal of Cleaner Production* 283 (2021) 125263. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620353075>
29. All in plastic. Eastern European Association of the Green. Retrieved from <https://eea-greens.eu/2019/05/16/all-inplastic/> 16.05.2019.
30. Ayilara M. S., Olanrewaju O. S., Babalola O. O., Odeyemi O. Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*. 2020, 12, 4456; doi: 10.3390/su12114456
31. Baseline report on plastic waste. (2020). Retrieved from <file:///C:/Users/USER/Downloads/UNEP-CHW-PWPWG.1-INF-4.English.pdf>.

32. Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7). Retrieved from <https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>.
33. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
34. New insights in to the environmental behavior and ecological toxicity of microplastics // S. Saud, A. Yang, Z. Jiang et al. *Journal of Hazardous Materials Advances* 10 (2023) 100298. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772416623000694>
35. Plastic pollution. In Encyclopædia Britannica online. Retrieved from <https://explore.britannica.com/explore/savingearth/plastic-pollution>
36. Plastics pollution exacerbates the impacts of all planetary boundaries // Patricia Villarrubia-Gomez, Bethanie Carney Almroth, Marcus Eriksen, Morten Ryberg, Sarah E. Cornell. *One Earth* 7, December 20, 2024 2135 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332224005414?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=92a688f6aedd77b6
37. Suppressing effect of goethite on PCDD/F and HCB emissions from plastic materials incineration / Guang-Zhu Jin et al. *Chemosphere*. 2008. Volume 70 (9). Pp. 1568- 1576. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.08.059>
38. The emerging role of microplastics in systemic toxicity: Involvement of reactive oxygen species (ROS) / Amlan Das. *Science of The Total Environment*. Volume 895, 15 October 2023, 165076. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723036999?via%3Dihub>
39. The world of plastic waste: A review // P.G.C. Nayanathara Thathsarani Pilapitiya, Amila Sandaruwan Ratnayake. *Cleaner Materials*. Volume 11, March 2024, 100220. P. 1-23. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772397624000042>
40. Single-use plastics: A roadmap for sustainability. UNEP, 2018. https://www.greenpolicyplatform.org/sites/default/files/downloads/resource/singleUsePlastic_sustainability.pdf
41. United Nations Environment Programme, Waste: Investing in Energy and Resource Efficiency – Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/22012>