МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Зав. кафедрою екології
доц._____Вікторія КАЦЕВИЧ
«_____» червня 2026р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «Бакалавр»
на тему: **«Екологічна оцінка управління відходами у м.Верхівцево Дніпропетровської області»**

Виконав: здобувач вищої освіти 5 курсу,
групи Ез-21 спеціальності 101 «Екологія»

_____ Дмитро ДУБЧАК

Керівник_____доц. Наталія ВОРОШИЛОВА

Дніпро 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Водогосподарської інженерії та екології
Кафедра: Екології
Освітньо-професійна програма: «Екологія»
Спеціальність: 101 «Екологія»
Ступінь вищої освіти: Бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедрою екології
_____Вікторія КАЦЕВИЧ
«_____»_____2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на підготовку кваліфікаційної роботи

Дубчаку Дмитру Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи: «Екологічна оцінка управління відходами у м.Верхівцево Дніпропетровської області»**

Науковий керівник: Ворошилова Н.В., к.б.н., доцент

затверджена наказом по ДДАЕУ від «24.04. 2026 р.» № 821

2. **Термін подання здобувачем роботи:** червень 2026 р.
3. **Вихідні дані до роботи:** Статистичні данні житлово-комунального господарства.
4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)**: Вступ. 1 Огляд літератури; 2 Фізико-географічна характеристика району досліджень; 3 Методи дослідження; 4 Результати досліджень та їх обговорення; 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаної літератури
5. **Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):**_____

_____

6. **Дата видачі завдання:** «_____» _____ 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапівроботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою досліджень	27.04.2026р.-01.05.2026р.	Виконано
2	Характеристика методів досліджень і фізико-географічних умов	04.05.2026р.-15.05.2026р.	Виконано
3	Методи досліджень	18.05.2026р.-22.05.2026р.	Виконано
4	Обробка експериментальних досліджень	22.05.2026р.-29.05.2026р.	Виконано
5	Оформлення дипломної роботи	01.06.2026р.-10.06.2026р.	Виконано

Здобувач (ка) _____ Дмитро ДУБЧАК
(підпис) . (Ім’я та прізвище)

Керівник роботи _____ Наталія ВОРОШИЛОВА
(підпис) (Ім’я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 99 сторінок друкованого тексту, включаючи 3 рисунки та 21 таблицю. Список використаних джерел налічує 20 найменування.

Метою дипломної роботи є проведення комплексної екологічної оцінки системи управління відходами у місті Верхівцеве Дніпропетровської області, визначення відповідності місця видалення відходів чинним екологічним вимогам та розроблення рекомендацій щодо зменшення негативного впливу відходів на навколишнє природне середовище.

Основними завданнями роботи є:

1. Проаналізувати нормативно-правову базу України та сучасні наукові підходи у сфері управління відходами.
2. Дослідити обсяги утворення, склад та особливості накопичення твердих побутових відходів на території м. Верхівцеве.
3. Оцінити технічний та екологічний стан місця видалення відходів відповідно до паспортних характеристик.
4. Визначити екологічні ризики, пов’язані з функціонуванням полігону та його впливом на компоненти довкілля.
5. Проаналізувати ефективність існуючої системи збирання, транспортування та захоронення відходів.
6. Розробити рекомендації щодо вдосконалення системи управління відходами шляхом впровадження елементів роздільного збирання та переробки відходів.

Об’єкт дослідження – система управління відходами у місті Верхівцеве Дніпропетровської області.

Предмет дослідження – екологічні аспекти функціонування місця видалення відходів, а також організаційно-технічні заходи щодо підвищення ефективності системи управління відходами.

У процесі виконання роботи застосовувалися методи аналізу нормативно-правової документації, статистичної обробки даних, порівняльного аналізу, оцінки екологічних ризиків, картографічні методи та методи експертних оцінок.

Ключові слова: ВІДХОДИ, УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, МІСЦЕ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ, ПОЛІГОН ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ, ЕКОЛОГІЧНИЙ АУДИТ, РОЗДІЛЬНЕ ЗБИРАННЯ ВІДХОДІВ, УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ.

ЗМІСТ

	ВСТУП	8
1	ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ	11
1.1	Теоретичні засади сталого управління відходами: європейський та вітчизняний досвід.	11
1.2.	Аналіз Закону України «Про управління відходами» (2023) та вимог до паспортизації об'єктів.	15
1.3.	Специфіка екологічного навантаження на малих залізничних вузлах.	18
1.4.	Міжнародний досвід управління відходами на залізничних вузлах та територіях «Brownfields»	20
1.5.	Фізико-хімічні та біологічні процеси в тілі полігону: механізми формування екологічних ризиків	21
1.6.	Соціально-економічні аспекти реформи: розширена відповідальністьвиробника (РВВ) у малих громадах	23
2	ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ РЕГІОНУ ДОСЛІДЖЕННЯ	25
2.1.	Географічне положення, рельєф та геологічна будова м. Верхівцеве	25
2.2.	Кліматичні особливості регіону та їх роль у поширенні забруднюючих речовин	28
2.3.	Гідрологічна мережа та ґрунтовий покрив Кам’янського району: вразливість до техногенного впливу	31
2.4.	Рослинний і тваринний світ регіону: екологічна роль і вплив антропогенних факторів	36
2.5.	Демографічні та соціально-економічні фактори як складова екологічного стану регіону	40
3	ОБ’ЄКТ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	43
3.1.	Техніко-екологічна характеристика м. Верхівцеве як джерела утворення відходів	43
3.2.	Детальна характеристика об'єкта дослідження: аналіз Паспорта місця видалення відходів (МВВ), проєктні потужності, фактичні обсяги накопичення	46
3.3.	Методика оцінки морфологічного складу твердих побутових відходів (ТПВ)	49
3.4	Методи розрахунку емісій забруднюючих речовин в атмосферу та прогнозування міграції фільтрату	53
4	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	60
4.1.	Результати аудиту відповідності реального стану полігону його паспортним даним	60

4.2.	Оцінка екологічного стану компонентів довкілля (атмосфери, ґрунту, підземних вод) у зоні впливу МВВ.	66
4.3.	Розробка стратегічної моделі оптимізації системи управління відходами у м. Верхівцеве	73
4.4.	Економічне та екологічне обґрунтування запропонованих заходів	81
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	87
5.1.	Аналіз умов праці на підприємствах, що здійснюють санітарну очистку м. Верхівцеве	87
5.2.	Забезпечення безпеки під час управління відходами різних класів небезпеки	89
5.3.	План реагування та заходи безпеки у разі виникнення надзвичайних ситуацій на полігоні ТПВ	91
	ВИСНОВКИ	95
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	98

ВСТУП

Актуальність теми Зростання обсягів утворення відходів та посилення антропогенного впливу на довкілля обумовлюють необхідність удосконалення систем управління відходами на всіх рівнях. У сучасних умовах ефективна організація процесів збирання, транспортування та захоронення твердих побутових відходів є ключовим фактором забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку територій. Для Дніпропетровської області ця проблема особливо актуальна через високий рівень промислового навантаження та великі обсяги утворення побутових та промислових відходів.

На рівні малих міст питання з відходами ускладнюється обмеженістю фінансових і технічних ресурсів. Водночас місто Верхівцеве має важливу перевагу — наявність офіційно затвердженого місця видалення відходів, що функціонує відповідно до чинних нормативних вимог. Це свідчить про впорядкованість процесів захоронення та наявність системного підходу до управління відходами на рівні громади.

Функціонування паспортизованого об’єкта дозволяє вести контроль обсягів накопичення відходів, дотримуватися екологічних нормативів та створює передумови для подальшого вдосконалення системи управління. Однак навіть за наявності належної інфраструктури актуальним залишається питання підвищення ефективності та безпечності експлуатації полігону, зокрема контролю стану підземних вод, процесів утворення фільтрату та викидів біогазу.

Таким чином, актуальність теми визначається не лише необхідністю вирішення екологічних проблем, а й можливістю вдосконалити вже наявну, частково сформовану систему управління відходами, впровадивши сучасні підходи, зокрема елементи роздільного збирання та повторного використання ресурсно-цінних компонентів відходів.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тематика дослідження відповідає положенням Національного плану управління відходами до 2030 року та регіональних програм охорони навколишнього природного середовища.

Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є комплексна оцінка стану системи управління відходами у місті Верхівцеве, визначення рівня відповідності функціонування місця видалення відходів екологічним вимогам та розроблення рекомендацій щодо мінімізації негативного впливу на довкілля.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

1. Проаналізувати нормативно-правову базу України у сфері управління відходами.
2. Дослідити обсяги утворення та склад твердих побутових відходів у межах міста.
3. Проаналізувати технічні характеристики і фактичний стан місця видалення відходів відповідно до паспортних даних.
4. Оцінити екологічні ризики, пов’язані з впливом полігону на ґрунтово-гідрологічні системи.
5. Дослідити ефективність системи збирання та транспортування відходів.
6. Обґрунтувати заходи щодо впровадження роздільного збирання та переробки відходів.

Об’єкт та предмет дослідження:

Об’єктом дослідження є система управління відходами у місті Верхівцеве, включно з процесами їх утворення, збирання, транспортування та захоронення.

Предметом дослідження є екологічні аспекти впливу відходів на довкілля та організаційно-технічні підходи до вдосконалення системи управління ними.

Методи дослідження

У роботі застосовано:

- аналіз нормативної документації;

- статистичні методи обробки даних;
- картографічний підхід для визначення зони впливу полігону;
- експертні оцінки для прогнозування подальшої експлуатації об’єкта.

Наукова новизна

Наукова новизна полягає у комплексному екологічному аналізі функціонування паспортизованого місця видалення відходів у місті Верхівцеве, визначенні відповідності фактичного стану об’єкта його проектним характеристикам та розробленні підходів до оптимізації системи управління відходами для малих міст.

Практичне значення

Отримані результати можуть бути використані органами місцевого самоврядування та комунальними службами для вдосконалення системи санітарного очищення території. Запропоновані заходи можуть застосовуватися для планування подальшої експлуатації полігону, його реконструкції або рекультивації.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ

1.1. Теоретичні засади сталого управління відходами: європейський та вітчизняний досвід.

Трансформація глобальної екологічної політики у першій половині 20-х років XXI століття зумовила перехід від концепції «контролю забруднення» до стратегії «циркулярного управління ресурсами». У сучасній науковій літературі управління відходами розглядається як багатофакторна система, де екологічна безпека безпосередньо залежить від глибини впровадження технологій рециклінгу та рівня правової відповідальності суб'єктів господарювання.

Таблиця 1.1 Концептуальні основи європейської моделі: від 3R до 9R

Рівень (R)	Модель	Сутність та механізм впливу на екосистему	Пріоритетність
R0 — Refuse	9R	Повна відмова від продуктів з надмірною упаковкою. Найвищий рівень екологізації через запобігання утворенню відходів.	Найвищий
R1 — Rethink	9R	Переосмислення: інтенсивніше використання продукту через сервіси спільного споживання (sharing economy).	Високий
R2 — Reduce	3R / 9R	Скорочення: ефективніше використання ресурсів на етапі проектування (еко-дизайн).	Високий

Рівень (R)	Модель	Сутність та механізм впливу на екосистему	Пріоритетність
R3 — Reuse	3R / 9R	Повторне використання виробу за прямим призначенням без зміни його фізичної форми.	Середній
R4 — Repair	9R	Ремонт: відновлення функціональності зламаного виробу для подовження його життєвого циклу.	Середній
R5 — Refurbish	9R	Оновлення: модернізація старого виробу до сучасних технічних або естетичних стандартів.	Середній
R6 — Remanufacture	9R	Перевиробництво: використання справних частин старого виробу в новому продукті.	Помірний
R7 — Repurpose	9R	Перепрофілювання: використання відходу в продукті з абсолютно іншою функцією (апсайклінг).	Помірний
R8 — Recycle	3R / 9R	Рециклінг: переробка матеріалів у сировину (скло, метал, полімери) для нового виробництва.	Низький
R9 — Recover	9R	Відновлення енергії: інсинерація (спалювання) залишків для	Мінімальний

Рівень (R)	Модель	Сутність та механізм впливу на екосистему	Пріоритетність
		отримання теплової або електроенергії.	

Фундаментом європейського досвіду є «Waste Hierarchy» (ієрархія відходів), закріплена Рамковою Директивою 2008/98/ЄС. Проте у дослідженнях 2023–2025 років простежується перехід до більш деталізованої моделі «9R Framework», яка включає:

Refuse (Відмова): Робить продукт надлишковим, шляхом відмови від його функцій або пропозиції тієї самої функції за допомогою радикально іншого продукту.

Rethink (Переосмислення): Інтенсивніше використання продукту (наприклад, через спільне використання).

Reduce (Скорочення): Ефективніше виробництво або використання продукту за рахунок меншої кількості природних ресурсів.

Європейський Зелений Курс (European Green Deal) встановив амбітні цілі: до 2030 року подвоїти рівень використання циркулярних матеріалів порівняно з 2020 роком. Для таких об'єктів як паспортизовані полігони - це означає поступову трансформацію у «ресурсні центри», де захороненню підлягає лише інертний залишок, що не має енергетичної чи матеріальної цінності.

Вітчизняна практика: адаптація до вимог воєнного та післявоєнного часу

Для України 2023–2024 роки стали періодом «нормативного вибуху» у сфері екології. Прийняття Закону України «Про управління відходами» № 2320-IX ознаменувало відхід від застарілих радянських стандартів ГОСТ на користь європейських ДСТУ та регламентів.

Наукові праці Т. В. Омельяненко та О. І. Бондара (2024 р.) підкреслюють, що впровадження цифрового обліку через інформаційну систему управління відходами (ЕкоСистема) є ключовим інструментом боротьби з несанкціонованими звалищами. Це дозволяє простежити шлях кожної тонни сміття від моменту утворення у громаді до моменту його потрапляння на паспортизоване місце видалення відходів (МВВ).

Особливої ваги у вітчизняному досвіді набуває концепція Розширеної відповідальності виробника (РВВ). Теоретично вона базується на тому, що вартість утилізації упаковки має бути закладена у ціну товару. Це критично важливо для малих міст, як Верхівцеве, оскільки дозволяє залучити приватні інвестиції у створення сортувальної інфраструктури, не покладаючи весь фінансовий тягар на місцевий бюджет.

Таблиця 1.2 Екологічна безпека паспортизованих об'єктів захоронення

Параметр порівняння	Старий підхід (Закон 1998 р.)	Новий підхід (Закон 2023 р.)	Вплив на екобезпеку
Дозвільна система	Ліміти на утворення та розміщення	Дозвіл на здійснення операцій з оброблення	Посилення контролю за технологією
Облік відходів	Паперові статистичні звіти (2-ТП)	Цифрова система «ЕкоСистема», QR-коди	Виключення «сірих» потоків сміття
Класифікація	4 класи небезпеки (ГОСТ)	Європейський перелік (List of Waste)	Гармонізація з вимогами ЄС
Відповідальність	Адміністративні штрафи (мінімальні)	Розширена відповідальність виробника (РВВ)	Фінансування утилізації бізнесом
Закриття об’єктів	Стихійне припинення експлуатації	Обов’язковий план рекультивації та фінансовий застав	Гарантія відновлення земель

У працях фахівців за 2025 рік акцентується увага на тому, що наявність Паспорта МВВ не є гарантією екологічної стабільності, а лише юридичною передумовою для моніторингу. Стале управління передбачає:

Контроль фільтратоутворення: Запобігання проникненню токсичних речовин у підземні водоносні горизонти, що є особливо актуальним для степової зони Дніпропетровщини.

Дегазацію полігонів: Збір метану (біогазу), який є потужним парниковим газом.

Морфологічний моніторинг: Регулярний аналіз складу відходів для корекції планів управління на рівні територіальної громади.

Таким чином, поєднання європейської ієрархії із специфікою української нормативної бази 2023-2026 років створює теоретичне підґрунтя для розробки стратегії екологічної безпеки у м. Верхівцеве.

1.2. Аналіз Закону України «Про управління відходами» (2023) та вимог до паспортизації об'єктів.

Якісна трансформація правового поля України у сфері екологічної безпеки розпочалася із набранням чинності 9 липня 2023 року Закону України «Про управління відходами» (№ 2320-IX). Цей нормативно-правовий акт не просто замінив застарілий закон 1998 року, а докорінно змінив філософію державного регулювання, запровадивши європейські стандарти «polluter pays» (забруднювач платить) та встановивши жорсткі вимоги до інфраструктурних об'єктів, таких як місця видалення відходів (МВВ).

Інституційні зміни та нові дозвільні процедури

Ключовою новацією Закону є запровадження трирівневої системи планування (національний, регіональний та місцевий плани), що робить управління відходами у м. Верхівцеве частиною цілісної стратегії Дніпропетровської області. Згідно зі статтею 40 Закону, експлуатація об’єктів

оброблення відходів (включаючи полігони та звалища) тепер можлива лише за наявності дозволу на здійснення операцій з оброблення відходів.

Отримання такого дозволу нерозривно пов’язане з процедурою Оцінки впливу на довкілля (ОВД). Для паспортизованого МВВ у м. Верхівцеве це означає необхідність підтвердження того, що його експлуатація не призводить до транскордонного забруднення чи деградації локальних екосистем. Більше того, новий закон вимагає від операторів об'єктів наявності фінансового забезпечення (страхування або банківської гарантії) для подальшої рекультивації та моніторингу полігону після його закриття .

Сучасні вимоги до паспортизації та обліку

Паспортизація місць видалення відходів залишається ключовим інструментом ідентифікації та контролю техногенного навантаження. Однак, з 2024 року процедура зазнала суттєвої цифровізації. Ведення Паспорта МВВ тепер інтегровано в загальнодержавну інформаційну систему «ЕкоСистема».

Згідно з актуальними вимогами (Постанова КМУ №1216 у новій редакції), паспорт об’єкта має містити не лише загальні технічні дані, а й розширений перелік параметрів:

Геопросторова прив’язка: точні координати меж полігону та санітарно-захисної зони (СЗЗ).

Морфологічний моніторинг: деталізація кодів відходів згідно з новим Національним переліком відходів (гармонізованим з Переліком відходів ЄС).

Гідрогеологічний аналіз: дані про стан контрольних свердловин для моніторингу підземних вод.

Інженерний захист: інформація про наявність та стан протифільтраційного екрана, системи збору фільтрату та відведення біогазу.

Науковий аналіз нормативної бази свідчить, що Паспорт МВВ перестав бути статичним документом. У контексті реформи він трансформується у динамічну карту об’єкта, яка повинна щорічно оновлюватися на основі даних

про фактичні обсяги накопичення та результатів лабораторних досліджень довкілля.

Реєстр об’єктів оброблення відходів

Важливим аспектом Закону 2023 року є створення Реєстру об’єктів оброблення відходів. Якщо раніше паспортизація була внутрішнім процесом реєстрації в органах місцевого самоврядування та екологічних інспекціях, то тепер об’єкт має бути верифікований у відкритій електронній базі. Це забезпечує прозорість для громадськості та дозволяє здійснювати автоматизований контроль за дотриманням лімітів.

Для малих міст законодавство встановило перехідні періоди, проте вимоги до екологічної безпеки є безкомпромісними. Зокрема, статтею 33 Закону заборонено захоронення непереробленних побутових відходів. Це ставить перед громадами завдання не просто підтримувати чинність Паспорта МВВ, а впроваджувати технології попереднього сортування, що дозволять зменшити обсяги видалення біорозкладних відходів, які є основним джерелом метану та фільтрату.

Екологічний аудит як інструмент контролю:

Оновлене законодавство також стимулює проведення періодичного екологічного аудиту для паспортизованих об'єктів. Це дозволяє виявити невідповідності між проектними показниками полігону (закладеними в паспорті) та фактичним екологічним станом. На прикладі міста Верхівцеве, такий аудит є необхідним для оцінки залишкового ресурсу звалища та планування заходів з його поетапного закриття чи модернізації відповідно до нових екологічних стандартів ДСТУ.

Таким чином, сучасне законодавство України (2023–2026 рр.) створює жорстку, але прозору рамку для управління відходами. Наявність Паспорта МВВ для м. Верхівцеве є лише першим кроком у забезпеченні екологічної безпеки, що вимагає постійного технічного переоснащення та інтеграції в цифрові системи екологічного моніторингу.

1.3. Специфіка екологічного навантаження на малих залізничних вузлах.

Для малих міст, що виконують функцію залізничних вузлів, таких як м. Верхівцеве, характерним є формування специфічного екологічного профілю. Залізничний транспорт традиційно вважається екологічно «чистішим» за автомобільний, проте вузлові станції стають зонами кумулятивного техногенного впливу, де муніципальні проблеми управління відходами переплітаються з промисловими ризиками транспортної галузі .

Специфіка морфології та походження відходів

На відміну від звичайних населених пунктів, малі залізничні вузли генерують комбіновані потоки відходів, які науковці (А. Плугін, М. Кисляк, 2024) поділяють на три основні категорії:

Транзитні антропогенні відходи: Великий пасажиропотік на станціях генерує значні обсяги відходів упаковки (пластик, скло, папір), які часто накопичуються стихійно через невідповідність муніципальної інфраструктури збору реальному навантаженню.

Промислово-транспортні відходи: Специфічне забруднення, притаманне обслуговуванню рухомого складу та колійного господарства. Сюди належать відпрацьовані мастила, замазучене ганчір’я, металевий брухт та, найнебезпечніше, старі дерев’яні шпали, просочені креозотом. Креозот містить високотоксичні феноли та поліциклічні ароматичні вуглеводні, які згідно з новим законодавством України вимагають особливих протоколів утилізації.

Відходи інфраструктурного утримання: Специфічні шлами та пил, що утворюються при очищенні баластового шару колій, які часто містять підвищені концентрації важких металів (Pb, Zn, Cu) та нафтопродуктів.

Бар'єрний ефект та логістичні аспекти

Наукові дослідження 2023–2025 років звертають увагу на так званий «бар’єрний ефект» залізничних колій у малих містах. Розгалужена мережа

колій фізично розділяє місто на ізольовані сектори, що критично ускладнює логістику вивезення побутових відходів. Це призводить до виникнення «сірих зон» — ділянок смуг відводу залізниці, які стають місцями локалізації несанкціонованих сміттєзвалищ. У таких зонах відходи накопичуються роками, оскільки правовий статус цих земель (землі транспорту) часто створює конфлікт відповідальності між залізницею та комунальними службами громади.

Вплив на компоненти довкілля в межах вузлів

Екологічне навантаження на таких об'єктах має виражений локальний характер із тенденцією до міграції забруднювачів:

Ґрунтовий покрив: у зоні залізничних вузлів спостерігається хронічне забруднення ґрунтів нафтопродуктами. Дослідження (В. Сафранов, 2025) вказують, що в умовах степової зони, де розташоване м. Верхівцеве, засушливий клімат сприяє накопиченню токсикантів у верхньому горизонті ґрунту без їх природного вимивання, що створює ризики пилового перенесення на житлову забудов.

Гідросфера: основним ризиком для Верхівцевської громади є проникнення фільтрату від місць розміщення відходів у поєднанні з транспортним забрудненням.

Екологічний моніторинг та управління ризиками

Відповідно до реформи управління відходами (2023), малі залізничні вузли мають бути інтегровані в єдину систему моніторингу. Сучасні автори (О. Бондар, 2024) наголошують на необхідності впровадження інтегрованих схем санітарного очищення, де залізничні об’єкти розглядаються як окремі, але взаємопов’язані з містом джерела генерації відходів. Наявність Паспорта МВВ у м. Верхівцеве є базовим елементом контролю, проте специфіка вузла вимагає регулярного морфологічного аналізу відходів для виявлення специфічних «транспортних» забруднювачів, які можуть порушити стабільність процесів на полігоні.

Отже, екологічна специфіка м. Верхівцеве визначається як перетином інтересів транспортної галузі та комунального господарства, так і необхідністю розробки адаптивних стратегій управління відходами, що враховують як паспортизований статус об’єктів, так і підвищене техногенне навантаження від залізничної мережі.

1.4. Міжнародний досвід управління відходами на залізничних вузлах та територіях «Brownfields»

Досвід країн Європейського Союзу, зокрема Польщі та Німеччини, є релевантним для України через схожість інфраструктурних викликів. У країнах ЄС території залізничних вузлів, що потребують екологічної санації, часто класифікуються як «Brownfields» — занедбані промислові зони з високим рівнем хімічного навантаження.

Досвід Польщі: Програма «Railway Green Deal»

Польська залізниця (PKP) у межах гармонізації з екологічними стандартами ЄС впровадила систему замкненого циклу для відходів колійного господарства. Зокрема, старі залізобетонні шпали підлягають дробленню та використанню як вторинний щебінь для будівництва під’їзних шляхів, що відповідає рівню R8 (Recycle) моделі 9R.

Німецька модель «Landfill Mining» та рекультивація

Німеччина (Deutsche Bahn) використовує передові технології дегазації навіть на малих вузлах. Науковий підхід базується на тому, що закриття МВВ не є фіналом, а початком 30-річного циклу активного догляду (After-care phase).

Таблиця 1.3. Порівняння підходів до рекультивації залізничних МВВ в ЄС та Україні

Параметр	Досвід Німеччини (DB)	Досвід Польщі (PKP)	Поточний стан в Україні
Утилізація шпал	Повна термічна деструкція з рекуперацією енергії	Часткове повторне використання в будівництві	Накопичення на МВВ або стихійне спалювання
Очищення фільтрату	Зворотний осмос та випаровування	Біологічні ставки та абсорбція	Відсутність очисних споруд на більшості об'єктів
Моніторинг	Датчики в реальному часі (IoT)	Регулярні квартальні проби	Паперові звіти (перехід до «ЕкоСистеми»)
Фінансування	Страхові фонди корпорацій	Гранти ЄС та державні субсидії	Місцеві бюджети (впровадження РВВ)

1.5. Фізико-хімічні та біологічні процеси в тілі полігону: механізми формування екологічних ризиків

Для об’єкта у м. Верхівцеве критично важливо розуміти динаміку процесів, що відбуваються всередині накопичених відходів. Захоронення відходів — це не статичне зберігання, а складний біохімічний реактор.

Гідродинаміка та міграція фільтрату

Фільтрат — це концентрований «коктейль» токсичних речовин, що утворюється внаслідок інфільтрації атмосферних опадів крізь масив відходів. Швидкість його міграції у ґрунт визначається законом Дарсі:

$V=k\cdot I$

де:

V — швидкість фільтрації;

k — коефіцієнт фільтрації ґрунту (для степової зони Дніпропетровщини часто варіюється від піщаних до суглинкових показників);

I — гідравлічний градієнт.

Для м. Верхівцеве, де ґрунти мають специфічну пористість, ризик проникнення фільтрату у водоносні горизонти є надзвичайно високим за відсутності штучного протифільтраційного екрана.

Газоутворення та парниковий ефект

Анаеробний розклад органічної фракції відходів призводить до виділення біогазу, основними компонентами якого є метан (CH4 — 50–60%) та діоксид вуглецю (CO2 — 30–40%). Метан має у 25–28 разів вищий потенціал глобального потепління, ніж вуглекислий газ.

Геоінформаційні системи (ГІС) та дистанційне зондування як інструменти моніторингу МВВ

Згідно з новими вимогами 2024–2026 років, паспортизація об’єктів у «ЕкоСистемі» вимагає точної геопросторової прив’язки. Використання ГІС-технологій (ArcGIS, QGIS) дозволяє:

- Моделювати зони впливу: створення теплових карт забруднення навколо залізничного вузла.
- Аналізувати рельєф: визначення напрямків стоку поверхневих вод, що можуть розмивати тіло полігону.
- Виявляти стихійні звалища: супутниковий моніторинг смуг відводу залізниці, які є важкодоступними для наземних перевірок.
- Використання БПЛА (дронів) з мультиспектральними камерами дозволяє оцінювати стан рослинності навколо МВВ . Пригнічення вегетації є прямим індикатором витоку фільтрату або перевищення концентрації метану в ґрунтовому повітрі.

1.6. Соціально-економічні аспекти реформи: розширена відповідальність виробника (РВВ) у малих громадах

Теоретичний аналіз неможливий без розгляду фінансової складової. Закон 2023 року впроваджує модель РВВ, яка перекладає тягар витрат на утилізацію упаковки з муніципалітету на виробника товару.

Вплив на тарифну політику м. Верхівцеве

Для невеликого міста це означає:

Можливість залучення приватних інвестицій у сортувальні лінії.

Зменшення витрат бюджету на ліквідацію наслідків забруднення.

Необхідність перегляду тарифів на вивезення відходів з урахуванням витрат на майбутню рекультивацію, що передбачено статтею 40 нового Закону.

Таблиця 1.4. Прогнозний розподіл обов'язків у системі управління відходами громади

Суб'єкт	Обов'язки згідно із законом № 2320-IX	Роль у забезпеченні екобезпеки
Міська рада	Створення місцевого плану управління, контроль МВВ	Організація інфраструктури, закриття звалищ
Оператор МВВ	Отримання дозволу, ведення цифрового паспорта	Технічний захист об'єкта, моніторинг вод
Укрзалізниця	Утилізація специфічних промислових відходів	Очищення смуг відводу, недопущення змішування

Суб'єкт	Обов'язки згідно із законом № 2320-IX	Роль у забезпеченні екобезпеки
Виробники (РВВ)	Оплата збору за переробку упаковки	Фінансування роздільного збору (пункти прийому)

Методологічні підходи до оцінки ризиків екологічної безпеки

Наукові праці 2025 року пропонують використовувати матричні методи оцінки ризиків для паспортів МВВ. Ризик (R) визначається як добуток ймовірності події (P) на величину збитків (L):

$R=P\times L$

Для об’єкта у м. Верхівцеве ключовими ризиками є:

Пожежі на полігоні (внаслідок накопичення метану).

Вторинне забруднення повітря (пилове перенесення з тіла полігону на житлову забудову).

2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ РЕГІОНУ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Географічне положення, рельєф та геологічна будова м. Верхівцеве

Місто Верхівцеве розташоване у західній частині Кам'янського району Дніпропетровської області та займає вигідне положення в межах Придніпровського регіону. Його територія формується на стику урбанізованого простору і сільськогосподарських ландшафтів, що визначає специфіку як природних умов, так і антропогенного навантаження. Географічні координати міста (близько 48°33′ пн. ш. та 34°27′ сх. д.) вказують на його розташування в межах помірного кліматичного поясу, де природні процеси мають чітко виражену сезонну динаміку.



Особливістю географічного положення міста є його наближеність до долини річки Кам'янка, яка виступає не лише гідрологічною віссю території, але й важливим фактором формування місцевих природних умов. Річкова долина створює контрастні умови зволоження, сприяє розвитку специфічних

типів рослинності та водночас виступає природним каналом переносу речовин, у тому числі й забруднюючих. Таким чином, навіть відносно невеликий водотік відіграє значну роль у формуванні екологічної ситуації міста.

З погляду просторової організації території, Верхівцеве розташоване у зоні активного господарського освоєння. Поряд із житловою забудовою знаходяться транспортні об’єкти та сільськогосподарські угіддя, що створює мозаїчну структуру ландшафту. Така структура є важливою, оскільки вона впливає на характер поширення забруднюючих речовин: відкриті території сприяють їх переносу, тоді як забудовані ділянки можуть виступати зонами накопичення.

Рельєф території міста є відносно спокійним, однак не однорідним. Його можна охарактеризувати як слабохвилястий, з наявністю пологих підвищень і понижень. Абсолютні висоти коливаються в межах приблизно 100–150 м, проте навіть незначні перепади висот мають суттєве значення для екологічних процесів. Саме вони визначають напрямок поверхневого стоку, швидкість переміщення води та характер перерозподілу речовин на території.

Важливою рисою рельєфу є наявність балок, улоговин та локальних понижень. У природних умовах такі форми виконують функціюакумуляції вологи, однак в умовах сучасного господарського використання вони часто перетворюються на зони накопичення забруднюючих речовин. Під час інтенсивних опадів або танення снігу саме в ці ділянки спрямовується поверхневий стік, разом з яким переміщуються частинки ґрунту, органічні залишки та техногенні домішки.

У межах міської території подібні пониження можуть виступати осередками локального забруднення, де речовини затримуються на тривалий час. Це особливо актуально для важких металів і малорухомих сполук, які здатні накопичуватися у верхніх шарах ґрунту.

Рельєф також впливає на повітряні процеси. У безвітряні періоди холодне повітря має властивість накопичуватися в пониженнях, що створює умови для застою і підвищення концентрації забруднюючих речовин у

приземному шарі атмосфери. Таким чином, навіть незначні форми рельєфу можуть суттєво впливати на якість повітря.

Геологічна будова території міста Верхівцеве є результатом тривалого геологічного розвитку в межах Східноєвропейської платформи. У верхній частині геологічного розрізу переважають осадові породи різного походження та віку, що формують неоднорідне середовище з різними фізико-механічними властивостями.

Найбільш поширеними є піщані та супіщані відклади, які відзначаються високою проникністю. Через них атмосферні опади швидко проникають у глибші горизонти, що сприяє формуванню підземного стоку. Проте разом із водою можуть переміщуватися й розчинені забруднюючі речовини, що створює ризик забруднення підземних вод.

На відміну від піщаних порід, глинисті відклади характеризуються низькою водопроникністю. Вони виконують функцію природного бар’єра, стримуючи вертикальну міграцію води і забруднень. Однак у разі накопичення шкідливих речовин у верхніх шарах такі породи можуть сприяти їх тривалому збереженню у ґрунтовому середовищі.

Чергування проникних і водотривких шарів створює складну систему руху підземних вод, яка не є рівномірною. У таких умовах забруднюючі речовини можуть переміщуватися нерівномірно: у одних ділянках швидко проникати вглиб, а в інших — затримуватися та накопичуватися. Це ускладнює прогнозування екологічних наслідків і потребує детального врахування геологічних умов при оцінці стану довкілля.

З екологічної точки зору, поєднання рельєфу та геологічної будови визначає рівень природної стійкості території до техногенного впливу. В місті Верхівцеве можна виділити ділянки з різною екологічною вразливістю: від зон швидкої міграції забруднень до зон їх тривалого накопичення. Саме ця неоднорідність є ключовим фактором, який необхідно враховувати при плануванні природоохоронних заходів.

Таблиця 2.1 – Роль природних факторів у формуванні екологічної ситуації

Природний фактор	Особливість території	Механізм впливу	Екологічний ефект
Географічне положення	Поєднання міста і агроландшафтів	Перенос речовин між територіями	Розширення зон впливу
Рельєф	Хвилястий, з пониженнями	Стік і акумуляція	Накопичення забруднень
Балки та улоговини	Локальні пониження	Застій води і повітря	Локальні осередки забруднення
Піщані породи	Висока проникність	Інфільтрація	Забруднення підземних вод
Глинисті породи	Низька проникність	Затримка речовин	Тривале накопичення

2.2. Кліматичні особливості регіону та їх роль у поширенні забруднюючих речовин.

Кліматичні умови є одним із визначальних факторів формування екологічного стану території, оскільки саме вони регулюють процеси переносу, трансформації та накопичення забруднюючих речовин у навколишньому середовищі. Для міста Верхівцеве, розташованого в межах Кам’янського району, характерний помірно континентальний тип клімату, що формується під впливом як атлантичних повітряних мас, так і континентальних процесів Східної Європи.

Клімат регіону відзначається чіткою сезонною контрастністю, що проявляється у значних коливаннях температурного режиму протягом року, нерівномірному розподілі опадів та змінності циркуляції атмосферного повітря. Такі особливості безпосередньо впливають на інтенсивність

розсіювання забруднювачів, їх просторове переміщення та здатність до накопичення в різних компонентах довкілля.

Середньорічна температура повітря у регіоні в останні роки (2024–2025) демонструє тенденцію до підвищення і коливається в межах +9…+10 °С, що пов’язано із загальними процесами кліматичних змін. Зимовий період характеризується нестійким температурним режимом із середніми значеннями від -5 до -7 °С, тоді як у літній період температура повітря часто перевищує +25 °С, а в окремі дні досягає +30 °С і вище.

Такі температурні контрасти визначають специфіку протікання фізико-хімічних процесів у атмосфері. У холодний період року домінують процеси накопичення забруднюючих речовин, тоді як у теплий період активізуються їх перетворення.

Особливої уваги заслуговує явище температурних інверсій, яке досить часто спостерігається у зимовий період. За умов інверсії холодне повітря накопичується у приземному шарі, перекриваючись теплішими шарами зверху, що перешкоджає вертикальному перемішуванню атмосфери. У результаті утворюється своєрідна «кришка», яка затримує забруднюючі речовини поблизу земної поверхні. У таких умовах навіть відносно невеликі обсяги викидів можуть призводити до значного погіршення якості повітря.

У літній період, навпаки, підвищена сонячна активність сприяє інтенсифікації фотохімічних реакцій. Під впливом ультрафіолетового випромінювання первинні забруднювачі (оксиди азоту, леткі органічні сполуки) вступають у складні хімічні взаємодії з утворенням вторинних токсичних компонентів, зокрема приземного озону. Цей процес є характерним для урбанізованих територій і супроводжується формуванням фотохімічного смогу, який негативно впливає на здоров’я населення та рослинність.

Важливу роль у формуванні екологічної ситуації відіграє режим атмосферних опадів. Річна кількість опадів у регіоні становить у середньому 450–550 мм, при цьому їх розподіл є нерівномірним: основна частина припадає на теплий період року. Опади виконують подвійне значення у процесах

міграції забруднюючих речовин. З одного боку, вони сприяють очищенню атмосферного повітря шляхом вимивання пилу та газоподібних домішок. З іншого — забезпечують перенесення цих речовин у ґрунти та водні об’єкти, що може призводити до їх вторинного забруднення.

Інтенсивні дощі здатні викликати поверхневий стік, унаслідок чого забруднюючі речовини з урбанізованих територій і промислових майданчиків потрапляють у річкову мережу. Таким чином, атмосферні процеси безпосередньо пов’язані із гідрологічними та ґрунтовими компонентами екосистеми.

Вітровий режим є одним із ключових чинників горизонтального переносу забруднень. Для території м. Верхівцеве характерне переважання вітрів західного та південно-західного напрямків із середньою швидкістю близько 3–5 м/с. Такі умови сприяють розсіюванню забруднюючих речовин, однак одночасно забезпечують їх перенесення на значні відстані, що формує ефект транскордонного впливу.

Вітри можуть переносити аерозолі, пилові частинки, важкі метали та газоподібні домішки, створюючи зони вторинного забруднення поза межами джерел їх утворення. Це особливо актуально для регіонів із розвиненою промисловістю, де забруднення має не лише локальний, але й регіональний характер.

Водночас періоди штилю або слабкого вітру створюють несприятливі умови для розсіювання домішок. У поєднанні з температурними інверсіями це призводить до накопичення забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери, що може спричиняти короткочасні, але інтенсивні епізоди забруднення повітря.

Таблиця 2.2 – Вплив кліматичних факторів на поширення забруднюючих речовин

Кліматичний фактор	Характеристика (2024–2025)	Вплив на забруднення	Екологічні наслідки
Температура повітря	+9…+10 °C (середньорічна)	Активізація реакцій	Утворення вторинних токсинів
Температурні інверсії	Часті взимку	Накопичення домішок	Погіршення якості повітря
Опади	450–550 мм/рік	Вимивання забруднень	Забруднення ґрунтів і вод
Вітер	3–5 м/с, західний напрям	Перенесення домішок	Транскордонне забруднення
Штиль	Періодично	Відсутність розсіювання	Локальні піки забруднення

Таким чином, кліматичні умови міста Верхівцеве відіграють комплексну роль у формуванні екологічного стану території. Вони визначають не лише інтенсивність розсіювання забруднюючих речовин, але й характер їх трансформації та накопичення у різних природних компонентах.

Сучасні кліматичні зміни, зокрема підвищення температури та збільшення частоти екстремальних погодних явищ, можуть посилювати негативний вплив антропогенних факторів. Це обумовлює необхідність врахування кліматичних особливостей при розробці екологічних заходів і систем моніторингу якості довкілля.

2.3. Гідрологічна мережа та ґрунтовий покрив Кам’янського району: вразливість до техногенного впливу.

Гідрологічна мережа та ґрунтовий покрив Кам’янського району є ключовими природними компонентами, які визначають екологічний стан

території та рівень її стійкості до антропогенного навантаження. У межах сучасних екологічних викликів особливої актуальності набуває оцінка вразливості цих компонентів до техногенного впливу, оскільки саме вони виступають середовищем накопичення, трансформації та міграції забруднюючих речовин.

Загальна характеристика гідрологічної мережі

Гідрологічна мережа Кам’янського району сформована в умовах степового клімату та представлена переважно малими водотоками, які мають нестійкий водний режим. Основною водною артерією є річка Кам’янка — права притока Дніпра, що відіграє важливу роль у формуванні локального водного балансу.

Окрім річки Кам’янка, на території району поширені:

- дрібні струмки сезонного характеру,
- балки з тимчасовим водотоком,
- штучні водойми (ставки),
- меліоративні та дренажні канали.

Загальна густота річкової мережі становить близько 0,3 км/км², що свідчить про відносно низький рівень зволоження території. Така характеристика є типовою для степової зони України та обумовлена поєднанням кліматичних і геоморфологічних факторів — незначною кількістю опадів, високою випаровуваністю та хвилястим рельєфом.

Гідрологічний режим та його екологічне значення

Водний режим річок і водойм району має чітко виражений сезонний характер. Найбільш повноводний період припадає на весну, коли відбувається інтенсивне танення снігового покриву. У цей час формується потужний поверхневий стік, який охоплює значні площі.

У літній період, навпаки, спостерігається різке зменшення водності, що іноді призводить до часткового або повного пересихання малих водотоків. Осінній період характеризується відносною стабілізацією водного режиму, тоді як взимку водність залишається низькою через замерзання поверхневих вод.

З екологічної точки зору, така сезонність має важливі наслідки:

- навесні відбувається активне змивання забруднюючих речовин із поверхні ґрунту, що сприяє їх потраплянню у водні об’єкти;
- влітку концентрація забруднювачів зростає через зменшення об’єму води;
- у стоячих водоймах накопичуються токсичні речовини, що погіршує якість води.

Таким чином, гідрологічна система району функціонує як динамічний механізм переносу забруднень, чутливий до змін природних умов і антропогенного впливу.

Джерела техногенного впливу на водні ресурси

У межах Кам’янського району основними джерелами антропогенного навантаження на гідрологічну мережу є:

- урбанізовані території (міста, зокрема Верхівцеве),
- транспортна інфраструктура (автомобільні дороги, залізниця),
- сільськогосподарська діяльність (використання добрив і пестицидів),
- побутові відходи та несанкціоновані скиди.

Особливо небезпечним є поверхневий стік із урбанізованих територій, який містить:

- нафтопродукти,
- важкі метали,
- мікропластик,
- органічні забруднювачі.

Ці речовини потрапляють у водні об’єкти без попереднього очищення, що значно погіршує їх екологічний стан.

Ґрунтовий покрив: структура та властивості.

Ґрунтовий покрив Кам’янського району сформований переважно чорноземами, які є одними з найбільш родючих ґрунтів у світі. Вони утворилися в умовах степової рослинності та характеризуються високим

вмістом гумусу, доброю структурою та значною потужністю гумусового горизонту.

Основні типи ґрунтів:

- чорноземи звичайні середньосуглинкові — домінують на більшій частині території;
- лучно-чорноземні ґрунти — приурочені до заплав річок;
- алювіальні ґрунти — поширені в прибережних зонах;
- техногенні ґрунти — характерні для урбанізованих територій.

Чорноземи мають високу водопроникність, що забезпечує ефективне проникнення вологи, але водночас створює умови для швидкої міграції забруднюючих речовин у глибші шари.

Вразливість ґрунтів до техногенного впливу

Попри високу природну цінність, ґрунти району є досить вразливими до антропогенного навантаження. Основні проблеми включають:

- накопичення важких металів (свинець, кадмій, цинк),
- забруднення нафтопродуктами,
- деградацію структури ґрунту,
- зниження біологічної активності.

Особливо це стосується територій поблизу:

- доріг,
- промислових об’єктів,
- залізничних вузлів.

В місті Верхівцеве значну частину займають техногенно трансформовані ґрунти, які мають змінену структуру, порушений гумусовий горизонт і підвищений рівень забруднення.

Таблиця 2.3 – Екологічна оцінка компонентів природного середовища

	Природні особливості	Основні загрози	Наслідки
Річки	Мала глибина, сезонність	Забруднення стоком	Погіршення якості води
Ставки	Стоячі води	Накопичення токсинів	Евтрофікація
Поверхневі води	Активний стік	Перенос забруднень	Забруднення річок
Чорноземи Лучні ґрунти	Висока родючість Вологі	Проникнення токсинів Водне забруднення	Деградація Зниження якості
Техногенні ґрунти	Порушені	Хімічне забруднення	Екологічний ризик

Взаємозв’язок гідрології та ґрунтів у процесах забруднення

Важливою особливістю природного середовища району є тісний взаємозв’язок між гідрологічною мережею та ґрунтовим покривом. Забруднення, що потрапляють у ґрунт, можуть з часом проникати у підземні та поверхневі води. У свою чергу, забруднені води впливають на якість ґрунтів у прибережних зонах.

Такий взаємозв’язок формує єдину систему поширення забруднень, у якій:

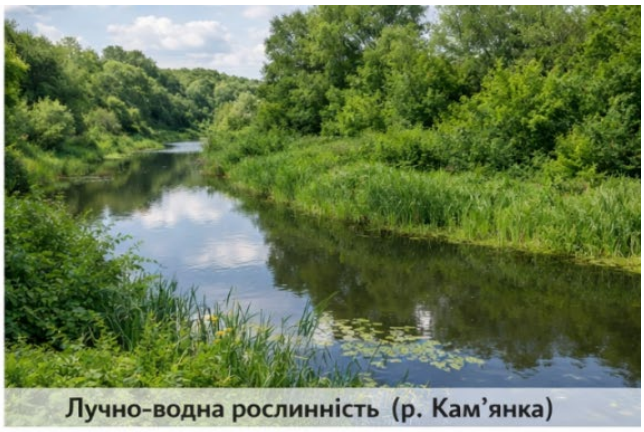
- ґрунт виступає як акумулятор,
- вода — як транспортний механізм.

2.4. Рослинний і тваринний світ регіону: екологічна роль і вплив антропогенних факторів.

Рослинний і тваринний світ Кам’янського району, де розташоване місто Верхівцеве, сформувався під впливом природних умов степової зони Придніпров’я та тривалого господарського освоєння території. Сучасна структура біоти є результатом взаємодії природних факторів (клімату, ґрунтів, водного режиму) і антропогенних змін, що відбувалися протягом останніх десятиліть. Внаслідок цього природні екосистеми зазнали істотної трансформації, а їхній екологічний потенціал частково знижений.



Степова рослинність (фрагменти)



Лучно-водна рослинність (р. Кам’янка)



Урбанізовані зелені зони м. Верхівцеве



Тваринний світ Кам’янського району

Рослинний покрив регіону має виражений антропогенно змінений характер. Первинна степова рослинність, яка раніше домінувала на більшій частині території, на сьогодні збереглася лише фрагментарно, переважно у балках, на схилах та в малодоступних для обробітку ділянках. Основні площі

зайняті агроландшафтами та урбанізованими територіями, що суттєво змінило видовий склад і просторову структуру рослинності.

У природному стані для території були характерні типові степові угруповання з домінуванням багаторічних злаків і різнотрав'я. Такі фітоценози виконували важливу роль у підтриманні родючості ґрунтів, регулюванні водного балансу та запобіганні ерозійним процесам. Проте інтенсивне сільськогосподарське використання призвело до майже повного знищення цих природних комплексів. Заміна природної рослинності монокультурами значно знизила стійкість екосистем до зовнішніх впливів.

У заплавах річок і пониженнях рельєфу сформувалися ділянки лучної та прибережно-водної рослинності, які відзначаються підвищеним рівнем зволоження. Ці екосистеми відіграють роль природних фільтрів, затримуючи частину забруднюючих речовин, що надходять із поверхневим стоком. Водночас їхній стан залежить від якості водних ресурсів, яка у регіоні погіршується через господарську діяльність.

Окреме місце у структурі рослинного покриву займають штучні насадження — лісосмуги, парки, захисні зелені зони. Вони були створені з метою стабілізації агроландшафтів, зменшення вітрової ерозії та покращення мікроклімату. У межах міста Верхівцеве зелені насадження виконують також санітарно-гігієнічну функцію, знижуючи концентрацію пилу та шкідливих домішок у повітрі. Проте їх площа є недостатньою, а стан часто незадовільний через відсутність належного догляду.

Рослинність регіону виконує низку ключових екологічних функцій, серед яких особливе значення мають газообмінна, ґрунтозахисна та кліматорегулююча. Завдяки здатності поглинати вуглекислий газ і виділяти кисень, зелені насадження відіграють важливу роль у формуванні якості атмосферного повітря. Крім того, коренева система рослин сприяє закріпленню ґрунтів, зменшуючи ризик їх руйнування під дією води та вітру.

Тваринний світ району також зазнав значних змін унаслідок антропогенного впливу. Його сучасний склад характеризується переважанням

видів, здатних адаптуватися до умов трансформованого середовища. Природні угруповання тварин збереглися лише частково, а їх видовий склад значно спрощений.

У минулому степова зона відзначалася значним різноманіттям фауни, однак сьогодні чисельність багатьох видів скоротилася. Основними причинами цього є знищення природних місць існування, інтенсивне землекористування та забруднення довкілля. В результаті відбувається поступове витіснення чутливих видів і поширення синантропних організмів, які добре пристосовані до життя поруч із людиною.

Особливо відчутним є вплив урбанізації. Розширення забудови, розвиток транспортної інфраструктури та зростання рівня шуму негативно позначаються на умовах існування тварин. Фрагментація природних територій призводить до ізоляції популяцій і зниження їх генетичного різноманіття, що у перспективі може викликати деградацію видів.

Значну роль у зміні стану біоти відіграє хімічне забруднення. Використання агрохімікатів у сільському господарстві сприяє накопиченню токсичних речовин у ґрунтах і воді, що впливає як на рослинність, так і на тваринний світ. Особливо вразливими є дрібні організми та запилювачі, зниження чисельності яких має ланцюговий ефект для всієї екосистеми.

Таблиця 2.4 – Екологічні зміни біоти під впливом антропогенних факторів

Показник	Природний стан	Сучасний стан	Основні причини змін	Екологічні наслідки
Рослинний покрив	Суцільні степові угруповання	Фрагментовані ділянки	Розорювання, забудова	Зниження біорізноманіття
Лісосмуги	Розвинена система	Частково зруйновані	Вирубка, відсутність догляду	Посилення ерозії

Показник	Природний стан	Сучасний стан	Основні причини змін	Екологічні наслідки
Лучні екосистеми	Стабільні	Деградовані	Осушення, забруднення	Порушення водного балансу
Тваринний світ	Різноманітний	Спрощений	Урбанізація, хімізація	Зменшення чисельності
Запилювачі	Висока активність	Скорочення популяцій	Пестициди	Порушення відтворення рослин

Зниження біорізноманіття є одним із ключових екологічних викликів регіону. Втрата навіть окремих видів може призвести до порушення трофічних зв’язків і зниження стійкості екосистем до зовнішніх впливів. У таких умовах особливого значення набувають заходи, спрямовані на збереження та відновлення природних комплексів.

До основних напрямів покращення екологічного стану біоти можна віднести відновлення лісосмуг, розширення площ зелених насаджень, обмеження використання хімічних засобів у сільському господарстві та впровадження систем екологічного моніторингу. Важливим також є підвищення рівня екологічної свідомості населення, що сприятиме більш раціональному використанню природних ресурсів.

Таким чином, рослинний і тваринний світ Кам’янського району перебуває під значним антропогенним тиском, що призводить до трансформації природних екосистем і зниження їх екологічної стійкості. Подальший розвиток регіону потребує врахування екологічних обмежень і впровадження заходів, спрямованих на збереження біорізноманіття як основи стабільного функціонування природного середовища.

2.5. Демографічні та соціально-економічні фактори як складова екологічного стану регіону.

Демографічні та соціально-економічні характеристики території є одними з ключових чинників, що визначають сучасний екологічний стан регіону. Взаємозв’язок між чисельністю населення, структурою господарства та рівнем антропогенного навантаження проявляється у формуванні обсягів споживання природних ресурсів, утворенні відходів і рівні забруднення навколишнього середовища.

Місто Верхівцеве, розташоване в межах Кам’янського району, належить до малих промислових населених пунктів. Станом на 2024–2025 роки чисельність населення оцінюється приблизно у 14–15 тисяч осіб, при цьому спостерігається тенденція до поступового скорочення. Основними причинами демографічних змін є трудова міграція, зниження народжуваності та загальні соціально-економічні процеси, характерні для регіонів із переважанням промислової спеціалізації.

Зменшення чисельності населення, з одного боку, призводить до певного зниження навантаження на довкілля, зокрема у сфері побутових відходів та споживання ресурсів. Проте з іншого боку, це створює додаткові проблеми, пов’язані зі скороченням трудових ресурсів, зниженням економічної активності та погіршенням стану інфраструктури, що може ускладнювати реалізацію природоохоронних заходів.

Соціально-економічна структура міста має змішаний характер і включає промисловий сектор, транспортну інфраструктуру, сферу послуг та частково сільське господарство. Провідну роль традиційно відіграють підприємства, пов’язані з обробною промисловістю, а також об’єкти транспортного забезпечення, зокрема залізничні вузли. Така структура господарства формує специфічний тип екологічного навантаження, пов’язаний із викидами

забруднюючих речовин у повітря, утворенням виробничих відходів і впливом на ґрунтовий покрив.

Промисловий сектор є одним із основних джерел антропогенного впливу на довкілля. Навіть за умов зниження обсягів виробництва, характерного для останніх років, підприємства продовжують генерувати викиди забруднюючих речовин, серед яких особливе місце займають пил, оксиди азоту, сірки та інші хімічні сполуки. Ці речовини впливають на якість атмосферного повітря, сприяють утворенню смогу та можуть накопичуватися у ґрунтах і водних об’єктах.

Важливим фактором є також транспортне навантаження. Місто Верхівцеве виконує функції транспортного вузла, що зумовлює значний рівень викидів від автомобільного та залізничного транспорту. Викиди від транспортних засобів містять шкідливі компоненти, які негативно впливають на здоров’я населення і загальний стан атмосферного повітря. Крім того, транспорт є джерелом шумового забруднення, що погіршує умови проживання.

Окрему екологічну проблему становить сфера управління відходами. Зростання обсягів побутових і виробничих відходів є прямим наслідком господарської діяльності та рівня споживання. У місті спостерігається тенденція до накопичення відходів, що пов’язано з недостатнім рівнем їх сортування та переробки. Частина відходів потрапляє на полігони, які не завжди відповідають сучасним екологічним вимогам, що створює ризик забруднення ґрунтів, підземних вод і атмосферного повітря.

Суттєвим аспектом є також рівень екологічної свідомості населення. Поведінка мешканців у сфері природокористування безпосередньо впливає на стан довкілля. Недостатня обізнаність щодо екологічних проблем, низький рівень культури та обмежене впровадження принципів сталого розвитку сприяють погіршенню екологічної ситуації.

Водночас у сучасних умовах поступово зростає значення екологічно орієнтованих підходів до управління територіями. Впровадження

енергоефективних технологій, розвиток систем роздільного збору відходів та модернізація інфраструктури можуть суттєво зменшити негативний вплив на довкілля. Важливу роль у цьому процесі відіграють органи місцевого самоврядування, які визначають пріоритети розвитку та реалізують екологічну політику на місцевому рівні.

Таблиця 2.5 – Вплив демографічних та соціально-економічних факторів на екологічний стан

Фактор	Характеристика	Вплив на довкілля	Екологічні наслідки
Чисельність населення	~14–15 тис., зниження	Споживання ресурсів	Зменшення/перерозподіл навантаження
Промисловість	Обробна, транспорт	Викиди, відходи	Забруднення повітря і ґрунтів
Транспорт	Висока інтенсивність	Вихлопні гази, шум	Погіршення якості повітря
Побутові відходи	Зростання обсягів	Накопичення сміття	Забруднення територій
Екологічна свідомість	Недостатня	Нераціональне використання	Погіршення екологічної ситуації

Узагальнюючи, можна зазначити, що демографічні та соціально-економічні фактори відіграють визначальну роль у формуванні екологічного стану міста Верхівцеве. Вони не лише формують рівень антропогенного навантаження, але й визначають можливості його зниження через управлінські та технологічні рішення.

Сучасна екологічна ситуація регіону є результатом складної взаємодії між економічним розвитком і природними умовами. Подальше покращення стану довкілля можливе лише за умови впровадження комплексного підходу, який поєднує економічні, соціальні та екологічні аспекти розвитку території.

3. ОБ'ЄКТ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Техніко-екологічна характеристика м. Верхівцеве як джерела утворення відходів.

Місто Верхівцеве, розташоване у Кам’янському районі Дніпропетровської області, є важливим осередком промислової, сільськогосподарської та побутової діяльності, що зумовлює утворення різноманітних видів відходів. Загальний обсяг утворення відходів у місті формується під впливом таких основних чинників:

 побутова діяльність населення забезпечує утворення твердих побутових відходів (ТПВ) зі складною морфологічною структурою;

 сільське господарство, яке займає значну частину прилеглих територій, є джерелом органічних відходів та відходів рослинництва.

За даними звітності за 2025 рік, загальний обсяг утворених відходів у місті становить близько 3,7 тис. тонн на рік, з яких приблизно 70% припадає на тверді побутові відходи. Структура побутових відходів характеризується домінуванням органічної фракції (близько 45%), паперу та картону (15%), пластику (12%) та інших компонентів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Морфологічний склад твердих побутових відходів м. Верхівцеве (за даними звітності 2025 р.)

Компонент ТПВ	Частка у загальному обсязі, %	Основні джерела утворення	Характер впливу на довкілля	Потенціал вторинного використання	Основні екологічні ризики

Органічні відходи	45	Харчові залишки, рослинні рештки, побутові органічні відходи	Активне біохімічне розкладання, утворення метану та фільтрату	Компостування, біогазові технології	Утворення CH_4, CO_2, неприємних запахів, інфільтраційних вод
Папір та картон	15	Пакувальні матеріали, побутова макулатура	Часткове біорозкладання, накопичення у тілі полігону	Вторинна переробка макулатури	Збільшення об’єму полігону при відсутності сортування
Пластик	12	ПЕТ-пляшки, упаковка, полімерні матеріали	Практично не розкладається у природному середовищі	Повторна переробка полімерів	Тривале накопичення, мікропластик, токсичні продукти деградації
Скло	8	Склотара, побутове скло	Хімічно інертний матеріал	Повторне переплавлення	Механічне засмічення території
Метали	5	Жерстяні банки, металобрухт, побутові вироби	Повільна корозія у тілі полігону	Повторне використання та переплавлення	Локальне забруднення продуктами корозії

Текстиль	4	Одяг, побутові тканини	Часткове біорозкладання залежно від типу волокон	Часткова переробка або повторне використання	Утворення токсичних продуктів при синтетичних домішках
Деревина	3	Будівельні та побутові деревні залишки	Повільне органічне розкладання	Подрібнення, енергетичне використання	Формування додаткової органічної маси
Гума та шини	2	Автомобільні шини, гумові вироби	Надзвичайно повільне розкладання	Вторинна переробка гумової крихти	Токсичні продукти горіння, пожежна небезпека
Будівельні відходи	3	Цегла, бетон, штукатурка	Інертний характер впливу	Повторне використання як підсипка	Перевантаження площ захоронення
Небезпечні побутові відходи	1	Батарейки, лампи, електроніка	Високий токсичний вплив	Спеціалізована утилізація	Потрапляння важких металів у ґрунти та води
Інші змішані відходи	7	Комбіновані та невідсортовані матеріали	Комплексний техногенний вплив	Обмежений	Неконтрольоване накопичення у тілі полігону

Промислові відходи представлені переважно шламами, металевим брухтом, хімічними залишками та іншими небезпечними компонентами. Водночас відсутність розвиненої системи роздільного збору призводить до змішування відходів, що суттєво ускладнює їх подальшу переробку та утилізацію.

Основним місцем накопичення твердих побутових відходів у місті є полігон ТПВ, розташований на відстані 0,65 км на схід від східної околиці м. Верхівцеве. Площа полігону становить 3,5 га, проєктна потужність — 45 тис. тонн на рік, а розрахунковий термін експлуатації визначено до 2029 року.
Екологічна характеристика регіону також визначається кліматичними умовами помірно континентального типу, які істотно впливають на процеси розкладу відходів та міграції шкідливих речовин, зокрема фільтрату, у навколишнє середовище.

Таким чином, місто Верхівцеве виступає значущим джерелом утворення відходів із комплексним впливом на екологічний стан регіону, що зумовлює необхідність детального вивчення процесів накопичення, складу та управління з відходами в межах міста та прилеглих територій.

3.2. Детальна характеристика об'єкта дослідження: аналіз Паспорта місця видалення відходів (МВВ), проєктні потужності, фактичні обсяги накопичення.

Місто Верхівцеве являє собою складну урбанізовану систему, у якій обсяг утворення твердих побутових відходів (ТПВ) визначається як побутовою діяльністю населення, так і функціонуванням значного залізничного вузла. Згідно зі звітністю за 2025 рік, управління відходами в місті має централізований характер і здійснюється комунальним підприємством КП «Верхівцевське житлово-комунальне господарство» (ВЖКГП).

Специфіка міста як джерела утворення відходів полягає у переважанні приватного сектору, що зумовлює високу частку органічної фракції у загальній масі відходів. Обсяг наданих послуг з управління ТПВ у 2025 році становив близько 1279 тис. грн, що за умов діючих тарифів дає змогу оцінити щорічний обсяг надходження відходів на рівні кількох тисяч тонн.

Об’єктом дослідження є місце видалення відходів (МВВ), яке експлуатується відповідно до Паспорта № 40/14. Даний об’єкт є основним полігоном для захоронення твердих побутових відходів міста Верхівцеве та прилеглих територій.

Техніко-паспортні показники об’єкта свідчать, що він належить до категорії «Е» за рівнем екологічної безпеки (помірно небезпечні об’єкти) та призначений для захоронення відходів V класу небезпеки. Аналіз паспортних даних у поєднанні з матеріалами оперативної звітності за 2025 рік дозволив систематизувати ключові параметри функціонування об’єкта.

Таблиця 3.2. Техніко-економічні показники МВВ № 40/14 м. Верхівцеве

Параметр	Значення (за даними 2025 р.)	Примітка
Фактичний обсяг накопичення	41,7 тис. м³	Загальний обсяг у тілі полігону
Вартість послуг (населення/установи)	379 грн/м³	З урахуванням збирання та перевезення
Базовий тариф на захоронення	286 грн/м³	Технічний мінімум
Бюджетні субсидії (субвенції)	1 654 тис. грн	На підтримку експлуатації
Кредиторська заборгованість КП	146,2 тис. грн	Дефіцит на модернізацію

Об’єкт розташований на ділянці, геологічний розріз якої представлений переважно лісоподібними суглинками. Відповідно до розділу VI Паспорта, на полігоні впроваджено систему моніторингу підземних вод, яка складається з мережі спостережних свердловин. Водночас дані за 2025 рік свідчать про недостатній рівень контролю за станом атмосферного повітря та ґрунтів у межах санітарно-захисної зони.

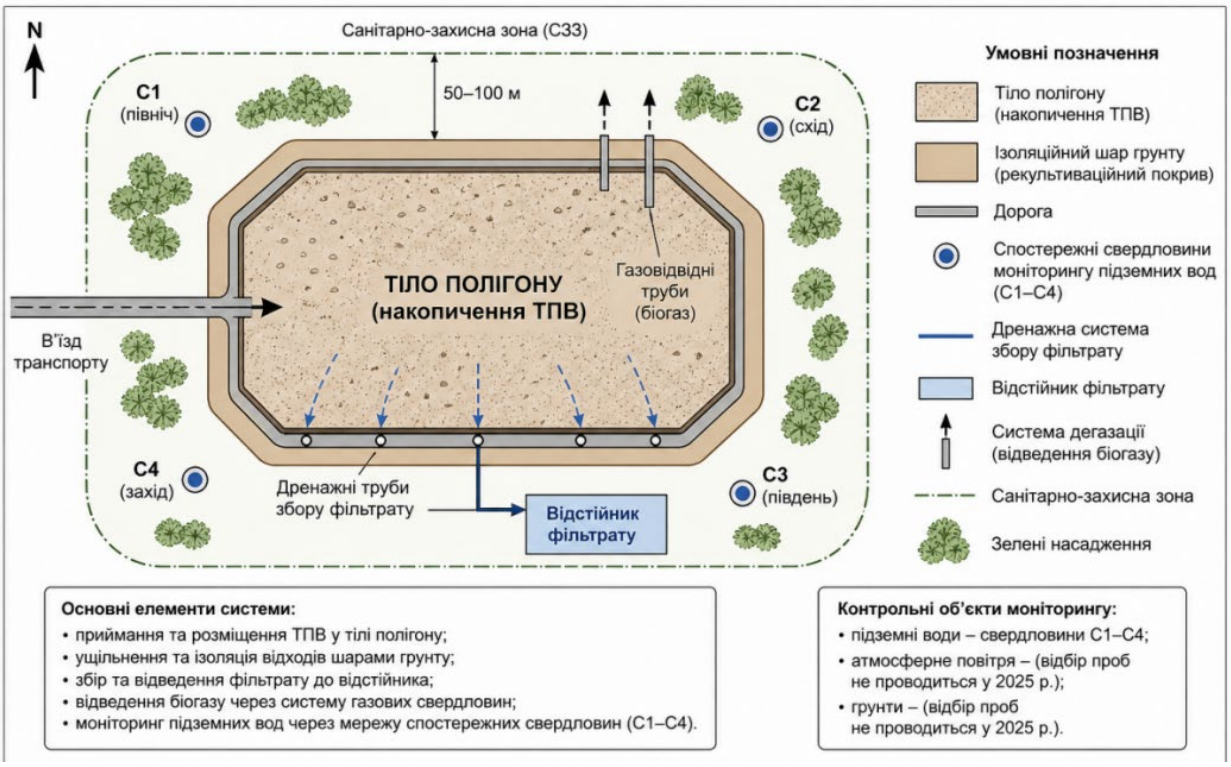


Рисунок 3.1. Технологічна схема полігону ТПВ та розташування моніторингових свердловин.

Особливу увагу слід приділити фінансовому дисбалансу: обсяг виручки від надання послуг (близько 1,28 млн грн) є суттєво нижчим за обсяг необхідних витрат, що частково компенсуються за рахунок субвенцій (1,65 млн грн). Це свідчить про високий рівень дотаційності об’єкта та недостатність фінансових ресурсів для впровадження сучасних технологій очищення фільтрату й систем дегазації.

3.3. Методика оцінки морфологічного складу твердих побутових відходів (ТПВ)

Оцінка морфологічного складу твердих побутових відходів є фундаментом для будь-якого екологічного дослідження у сфері управління відходами. Для міста Верхівцеве, де функціонує МВВ № 40/14, визначення компонентного складу є критично важливим, оскільки це дозволяє спрогнозувати обсяги утворення фільтрату та емісії біогазу. Методика дослідження базується на положеннях ДСТУ 4462.3.01:2006 «Охорона природи. Управління відходами. Порядок визначення показників морфологічного складу побутових відходів».

Процес відбору проб проводиться безпосередньо на місці видалення відходів (МВВ № 40/14) під час розвантаження сміттєвозів КП «ВЗКГП». Процедура включає квартування маси відходів та формування об’єднаної проби масою не менше 100 кг. Після завершення сортування кожна фракція зважується окремо, а розрахунок морфологічного складу за масою (C_i, %) здійснюється за формулою:

C_i = (m_i / \sum_(j=1)^n m_j) · 100%

Нижче наведено детальний опис основних компонентних груп відходів, характерних для морфологічної структури м. Верхівцеве:

Харчові (біодеградабельні) відходи

Дана група є домінуючою у морфологічній структурі відходів м. Верхівцеве, що зумовлено специфікою селітебної зони міста, де переважає приватний сектор з присадибними ділянками. До цієї категорії входять залишки сировини та продуктів харчування, відходи після приготування їжі, а також зіпсовані продукти. Особливістю м. Верхівцеве є сезонність накопичення цієї фракції: у літньо-осінній період її частка значно зростає за рахунок відходів від переробки городини та фруктів. Окрім побутових відходів населення, до цієї групи потрапляють органічні рештки від місцевих

закладів громадського харчування та соціальних установ. Високий вміст вологи у харчових відходах (до 60-80%) є основним чинником утворення агресивного фільтрату на МВВ . Саме ця фракція піддається активному анаеробному розкладанню, що призводить до емісії метану та діоксиду вуглецю, які наразі не контролюються через відсутність моніторингу атмосферного повітря.

Папір та картон

Ця фракція представлена переважно пакувальними матеріалами, офісним папером, газетами та журналами. У контексті м. Верхівцеве значну частину цієї групи складає пакування від товарів, що проходять через залізничний вузол. Оскільки залізниця є одним із містоутворюючих чинників, обіг паперової та картонної тари від логістичних процесів є досить високим. Сюди входять гофрокартонні ящики, обгортковий папір, прокладні листи та транспортна документація. У житловому секторі паперові відходи представлені упаковкою споживчих товарів, засобами гігієни та друкованою продукцією. Варто зауважити, що у приватному секторі частина паперових відходів може спалюватися мешканцями для опалення, проте картонна тара від побутової техніки та комерційних об’єктів стабільно потрапляє на полігон. Дана фракція має високий потенціал для рециклінгу, проте через відсутність роздільного збору на базі КП «ВЗКГП», вона забруднюється органікою та втрачає свою ресурсну цінність.

Полімерні матеріали та пластик

Група полімерів у м. Верхівцеве характеризується надзвичайною різноманітністю та стійкістю до біологічного розкладання. Основними компонентами є ПЕТ-пляшки з-під напоїв, поліетиленова плівка (LDPE), пакування від побутової хімії та косметики (HDPE), а також одноразовий посуд та поліпропіленові вироби. Особливу частку складає «комерційний» пластик — стрейч-плівка та полімерна обв’язка, що використовується при транспортуванні вантажів залізницею та у місцевій роздрібній торгівлі. Пластик є найбільш помітним компонентом на МВВ , оскільки він має низьку

щільність і великий об’єм, що сприяє швидкому заповненню проектних потужностей звалища. З огляду на те, що тариф на управління відходами складає 379 грн/м³, високий вміст об'ємного пластику економічно невигідний для підприємства, оскільки сміттєвози перевозять «повітря». Вилучення полімерів могло б значно знизити навантаження на чашу полігону та зменшити обсяги накопичення.

Скляні відходи та бій скла

До цієї категорії входить скляна тара від напоїв, харчових продуктів, парфумерії, а також бій віконного скла. Для м. Верхівцеве характерним є надходження склотари як від домогосподарств, так і від залізничної інфраструктури (пасажирські потяги). Скло є інертним компонентом, воно не бере участі в хімічних процесах утворення біогазу, проте воно значно збільшує загальну масу відходів. Бій листового скла часто потрапляє до ТПВ під час ремонтних робіт у житловому секторі. Незважаючи на те, що скло легко піддається переробці, воно захоронюється разом із іншими фракціями. У тілі звалища скло відіграє роль своєрідного дренуючого елемента, але одночасно створює небезпеку для персоналу КП «ВЗКГП» та техніки під час ущільнення відходів. З погляду екологічного моніторингу, скло не становить прямої хімічної загрози, проте його накопичення сприяє загальному зростанню висотних позначок звалища, за якими ведуться геодезичні спостереження.

Металеві відходи (чорні та кольорові метали)

Металева фракція у складі ТПВ м. Верхівцеве представлена переважно жерстяними банками з-під консервів, алюмінієвими банками з-під напоїв, металевими кришками та дрібними побутовими предметами. Специфічною складовою для даного регіону можуть бути залишки металевих деталей та кріплень, що потрапляють у відходи внаслідок діяльності ремонтних майстерень або обслуговування залізничної техніки. Хоча частка металів у загальній масі ТПВ зазвичай не перевищує 3-5%, їх екологічне значення є високим через ризик вимивання іонів важких металів під дією фільтрату. Це створює загрозу для підземних вод, моніторинг яких через свердловини є

обов’язковим згідно з Паспортом № 40/14. Більшість великих металевих предметів вилучається населенням на етапі збирання для здачі в пункти прийому металобрухту, тому на полігон потрапляє переважно дрібна, забруднена та змішана металева фракція.

Текстиль, шкіра та гума

Ця група відходів складається із залишків старого одягу, взуття, обрізків тканин та зношених предметів домашнього побуту. У місті Верхівцеве текстильні відходи мають переважно побутове походження. Окрім одягу, сюди входять відпрацьовані засоби індивідуального захисту (спецодяг), що можуть потрапляти від залізничного вузла. Гумові відходи представлені здебільшого елементами взуття та дрібними технічними виробами. Текстильні волокна мають здатність абсорбувати токсичні речовини з фільтрату, що перетворює їх на додаткове джерело забруднення ґрунту. Оскільки спостереження за якістю ґрунтів на об’єкті не здійснюються (згідно з п. 3.2 Паспорта), тривале накопичення таких відходів створює прихований екологічний ризик для прилеглих до звалища територій.

Таблиця 3.3. Усереднений морфологічний склад ТПВ для МВВ № 40/14

Компонент відходів	Вміст, % за масою	Вплив на стан довкілля
Харчові відходи	35-45	Утворення метану та фільтрату
Папір та картон	10-15	Ризик самозаймання
Полімери	12-18	Тривалий період розкладання
Скло	8-12	Механічне заповнення об'єму
Метали	2-4	Джерело важких металів у водах
Текстиль / Інше	10-15	Абсорбція токсинів

Застосування даної методики для об’єкта дослідження дозволяє зробити висновки про необхідність впровадження пунктів роздільного збирання у місті. Це не лише подовжить термін експлуатації , де вже накопичено понад 41,7 тис. м³, але й дозволить підприємству зменшити потребу у бюджетних субвенціях

(1654 тис. грн) за рахунок реалізації вторинної сировини. Отримані дані про морфологічний склад стануть базою для подальших розрахунків емісій метану та фільтрації забруднюючих речовин у підземні горизонти через лесові суглинки.

3.4. Методи розрахунку емісій забруднюючих речовин в атмосферу та прогнозування міграції фільтрату.

Відсутність регулярного інструментального моніторингу атмосферного повітря та поверхневих вод на МВВ № 40/14 м. Верхівцеве, зафіксована у розділі VI Паспорта об’єкта, обумовлює необхідність застосування сучасних математичних та прогностичних методів оцінки техногенного впливу. Враховуючи, що на об’єкті вже накопичено 41,7 тис. м³ відходів, розрахунковий метод є єдиним способом встановити реальний рівень екологічного ризику.

Обґрунтування вибору прогностичних моделей: LandGEM та IPCC

Для розрахунку газогенерації в даній роботі обрано модель LandGEM (Landfill Gas Emissions Model), розроблену Агентством з охорони навколишнього середовища США (US EPA), яка базується на методології Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату (IPCC). Вибір цих моделей зумовлений їхньою здатністю адаптуватися до специфічних кліматичних умов регіону дослідження.

Модель LandGEM враховує засушливий або напівзасушливий клімат, що є характерним для степової зони Дніпропетровської області. Для м. Верхівцеве це критично важливо, оскільки швидкість розкладання відходів (k) напряму залежить від кількості опадів. У степовій зоні вологість тіла звалища є обмежуючим фактором для метан-генеруючих бактерій.

Використання моделі IPCC дозволяє провести «мокрий» та «сухий» сценарії прогнозу, що дає змогу оцінити найгірший варіант екологічного навантаження при аномально дощових роках.

Окрім того, LandGEM базується на покроковому аналізі щорічного накопичення, що ідеально підходить для аналізу динаміки , де фіксуються значні обсяги послуг (понад 1200 тис. грн/рік).

Деталізація формули розрахунку емісії метану

Математичне моделювання виходу біогазу здійснюється за формулою першого порядку деградації:

$QCH4 = \Sigma(i=1 \text{ до } n) (k \cdot L0 \cdot Mi \cdot e^{(-k(t - ti))})$

Опис символів та джерел даних для м. Верхівцеве:

QCH4 — прогнозований обсяг генерації метану в поточному році ($м^3$/рік). Цей показник є підсумковим результатом моделювання.

k — константа швидкості генерації метану (1/рік). Для м. Верхівцеве значення k приймається на рівні 0,04. Це значення характерне для територій з річною сумою опадів менше 600 мм (степова зона).

L0 — потенціал генерації метану ($м^3$/т). Для об'єкта № 40/14 цей показник розраховується на основі морфологічного складу (частка харчових відходів 45%). Значення L0 для нашого об'єкта становить приблизно 100–120 $м^3$/т.

Mi — маса відходів, прийнята на МВВ у конкретному році і. Дані беруться зі звітності КП «ВЗКГП», виходячи з обсягу наданих послуг у 1279 тис. грн.

t — рік розрахунку (поточний етап експлуатації).

ti — рік захоронення конкретної партії відходів.

e — експонента, що відображає природний процес затухання біологічної активності з часом.

Гідрологічний аналіз формування фільтрату під впливом атмосферних опадів.

Процес утворення фільтрату є складним фізико-хімічним явищем. Враховуючи сумарне накопичення в 41,7 тис. $м^3$, тіло звалища виступає як гігантська губка.

Гідрологічний цикл об’єкта працює наступним чином:

Поглинання опадів: середньорічна кількість опадів у місті становить близько 500–550 мм. При відсутності ізоляційного перекриття (що

підтверджується паспортом), майже вся ця волога потрапляє всередину відходів.

Просочування: вода проходить крізь шари сміття, розчиняючи продукти гниття органіки та вимиваючи важкі метали.

Насичення: при досягненні критичного рівня вологості (40–45%) надлишкова вода починає виходити з нижньої частини звалища у вигляді фільтрату.

Фільтрація в ґрунт: оскільки в основі МВВ знаходяться лесоподібні суглинки, фільтрат під дією гравітації мігрує вертикально вниз до першого водоносного горизонту.

Математичний опис (закон Дарсі)

Швидкість цього процесу описується законом Дарсі:

$V = Kf \cdot I$

Опис символів:

V — швидкість фільтрації забруднюючих речовин (м/добу).

Kf — коефіцієнт фільтрації лісоподібних суглинків під МВВ № 40/14 (0,01–0,5 м/добу).

I — гідравлічний градієнт.

Нормативне забезпечення розрахунків.

Розрахунок емісій забруднюючих речовин в атмосферне повітря здійснюється відповідно до вимог Методики розрахунку обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від полігонів (сміттєзвалищ), затвердженої наказом Міністерства екології та природних ресурсів України. Зазначена методика встановлює єдині підходи до оцінки газоутворення та міграції забруднюючих компонентів у межах полігонів твердих побутових відходів, що дозволяє отримувати уніфіковані розрахункові показники навіть за відсутності інструментального моніторингу.

У випадку, де інструментальні вимірювання атмосферного повітря та поверхневих вод не проводяться, саме розрахункові методи набувають ключового значення для оцінки екологічного стану території. Методика передбачає використання узагальнених моделей газоутворення, які базуються

на закономірностях анаеробного розкладу органічної складової відходів та подальшої міграції продуктів розпаду в атмосферне середовище.

Таким чином, отримані розрахункові значення викидів можуть бути використані як основа для оцінки впливу на довкілля, визначення санітарно-захисних зон та планування природоохоронних заходів.

Прогнозування міграції забруднень.

Останнім етапом методичного підходу є моделювання просторово-часового розповсюдження забруднюючих речовин у вигляді атмосферного та гідрогеологічного шлейфу. Такий підхід дозволяє оцінити не лише інтенсивність впливу, але й територіальне та часове поширення забруднення від масиву відходів обсягом 41,7 тис. м³.

Для атмосферного повітря визначення зони впливу здійснюється на основі залежності між обсягом утворених газових викидів, метеорологічними умовами та характеристиками джерела емісії. Зі збільшенням маси накопичених відходів зростає інтенсивність утворення біогазу, що, у свою чергу, впливає на розширення радіусу розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери та потенційне досягнення житлової забудови.

У підземному середовищі основна увага приділяється процесам інфільтрації та міграції фільтрату. Враховуючи відсутність герметичної ізоляції основи МВВ, атмосферні опади проникають у тіло звалища, формуючи фільтрат, який під дією гравітаційних сил поступово мігрує до нижчих геологічних горизонтів. Час досягнення фільтратом підземних вод визначається як функція глибини залягання водоносного горизонту та швидкості фільтрації у ґрунтовому середовищі.

Таким чином, поєднання атмосферного та гідрогеологічного моделювання дозволяє комплексно оцінити ризики довгострокового забруднення як повітряного, так і водного середовища, що є необхідною умовою для обґрунтування природоохоронних заходів.

Опис програмного забезпечення та картографічних методів, використаних у роботі.

Комплексність дослідження екологічного стану вимагає застосування інтегрованого підходу, що поєднує методи статистичної обробки даних, математичного моделювання емісій та геоінформаційного аналізу просторових процесів. Враховуючи обсяг накопичених відходів та особливості функціонування об’єкта, використання спеціалізованого програмного забезпечення є необхідною умовою отримання коректних просторових і прогнозних оцінок.

Застосування ГІС-технологій дозволяє не лише візуалізувати структуру полігону, але й виконувати аналітичні операції з визначення зон впливу, напрямків потенційної міграції забруднень та оцінки просторових ризиків.

Геоінформаційне моделювання в середовищі QGIS.

Основним інструментом просторового аналізу обрано геоінформаційну систему QGIS (версія 3.28 LTR), яка забезпечує можливість роботи з багатошаровими просторовими даними, виконання геометричних розрахунків та моделювання зон впливу техногенних об’єктів.

Використання QGIS дозволяє інтегрувати різнотипні джерела даних, включаючи топографічні матеріали, супутникові знімки, кадастрову інформацію та дані інженерних вишукувань, що є особливо важливим для аналізу полігонів твердих побутових відходів.

Алгоритм побудови електронної карти об’єкта дослідження:

Система координат

Для забезпечення просторової точності розрахунків використано проекцію WGS 84 / UTM zone 36N, яка мінімізує геометричні спотворення при визначенні площ та відстаней. Це є критично важливим для коректного розрахунку санітарно-захисної зони (СЗЗ) та аналізу її накладання на об’єкти забудови.

Георефернсування

На основі матеріаліввиконано геоприв’язку план-схеми полігону до реальної місцевості. Для цього використано інструмент Georeferencer, а як контрольні точки застосовано стабільні об’єкти місцевості (перехрестя доріг, елементи

залізничної інфраструктури та характерні геометричні вигини ландшафту м. Верхівцеве).

Георефернсування забезпечило суміщення проєктних та фактичних координат, що дозволило виконати подальший просторовий аналіз із високою точністю.

Векторизація та створення тематичних шарів

У процесі цифрового моделювання сформовано набір базових просторових шарів:

- Шар “Тіло МВВ” — полігональний об’єкт, що відображає фактичні межі накопичення 41,7 тис. м³ відходів та просторову конфігурацію звалища;
- Шар “Моніторингові свердловини” — точкові об’єкти, сформовані відповідно до Паспорта об’єкта, які відображають мережу спостереження за підземними водами;
- Шар “Гідрографія” — лінійні об’єкти, що включають балки, водовідвідні елементи та потенційні шляхи міграції фільтрату у природні водотоки.

Створення зазначених шарів дозволило виконати багатофакторний просторовий аналіз впливу полігону на навколишнє середовище.

4. Аналіз буферних зон

Для оцінки просторового впливу об’єкта використано інструмент Buffer, за допомогою якого побудовано нормативну санітарно-захисну зону радіусом 500 м відповідно до чинних санітарних вимог.

Подальший просторовий аналіз здійснювався шляхом накладання буферної зони на актуальні супутникові знімки та кадастрові дані. Це дозволило виявити ділянки просторового конфлікту, де межі СЗЗ перетинаються з:

- сільськогосподарськими угіддями;
- приватною житловою забудовою;
- територіями населених пунктів (зокрема сіл Широке та Малоолександрівка).

Виявлені накладання свідчать про потенційний вплив об’єкта на чутливі антропогенні території та необхідність додаткових природоохоронних заходів. Додаткове узагальнення методології ГІС-аналізу.

Використання QGIS у межах дослідження забезпечило можливість комплексної інтеграції просторових даних із результатами математичного моделювання емісій та гідрогеологічних процесів. Це дозволило сформувати цілісну картину впливу МВВ № 40/14 на довкілля та забезпечити науково обґрунтовану основу для подальшого екологічного планування.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

4.1. Результати аудиту відповідності реального стану полігону його паспортним даним.

Одним із ключових етапів дослідження у даній дипломній роботі стало проведення комплексного аудиту полігону твердих побутових відходів м. Верхівцеве з метою визначення рівня відповідності фактичного стану об’єкта його паспортним характеристикам, нормативним параметрам експлуатації та сучасним вимогам екологічної безпеки. На відміну від традиційної інвентаризації місць видалення відходів, у роботі застосовано комплексний аналітичний підхід, який поєднує документальний аудит, порівняльну оцінку технічних параметрів, інтегральний аналіз експлуатаційної стабільності та оцінку екологічної керованості об’єкта.

Необхідність проведення такого аудиту обумовлена тим, що більшість полігонів твердих побутових відходів, створених у 1980–1990-х роках, проектувалися відповідно до нормативних вимог того часу та не враховували сучасних екологічних підходів щодо управління відходами, моніторингу впливу на довкілля та ресурсної оптимізації. У зв’язку з цим виникає необхідність визначення не лише формальної відповідності полігону проектним параметрам, а й оцінки його фактичної функціональної стабільності в сучасних умовах експлуатації.

В основу дослідження покладено паспорт місця видалення відходів №40/49, затверджений у 2009 році, матеріали санітарно-епідеміологічної експертизи, природно-геологічної характеристики території, а також техніко-технологічні показники функціонування полігону. Методика аудиту базувалася на принципі багатокритеріальної оцінки, відповідно до якої аналіз проводився за п’ятьма основними блоками: геометричні параметри,

технологічні характеристики, інженерний захист, екологічний контроль та експлуатаційна стабільність.

Паспортні характеристики полігону
↓
Аналіз проектних параметрів
↓
Порівняння з фактичним станом
↓
Інтегральна оцінка відповіднос
↓
Оцінка експлуатаційної стабільності
↓
Визначення рівня екологічної керованості

Для забезпечення системності дослідження була сформована структурна модель аудиту, наведена на рисунку 4.1.

Запропонований підхід дозволив оцінити полігон не як окремий інженерний об’єкт, а як складну природно-техногенну систему, функціонування якої залежить від сукупності технологічних, геологічних та організаційних факторів.

Відповідно до паспортних даних, полігон ТПВ експлуатується з 1991 року. Проектна площа об’єкта становить 3,5 га, а розрахунковий термін експлуатації визначався на рівні 20 років. Проектний обсяг накопичення відходів складав 177,2 тис. м³, при середньорічному розміщенні близько 5,9 тис. м³ побутових відходів.

Фактичні показники свідчать, що станом на момент паспортизації обсяг накопичених відходів складав близько 41,7 тис. м³, що є значно нижчим за проектну місткість. Це дозволяє зробити висновок про відсутність перевантаження полігону та наявність резерву експлуатаційної ємності. Така ситуація позитивно впливає на загальну стабільність об’єкта, оскільки зменшує ризики надмірного ущільнення масиву відходів, локальних просідань та втрати геометричної стійкості тіла полігону.

Результати порівняльного аналізу проектних та фактичних характеристик наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Порівняльна характеристика проектних та фактичних параметрів полігону ТПВ м. Верхівцеве

Показник	Проектні характеристики	Фактичний стан	Оцінка відповідності
Площа полігону	3,5 га	3,5 га	повна відповідність
Тип полігону	відкритий насипний	відкритий насипний	відповідає
Проектний обсяг	177,2 тис. м³	~41,7 тис. м³	наявний резерв
Розрахунковий термін експлуатації	20 років	експлуатація триває	стабільний режим
Ізоляційний екран	глинистий	наявний	відповідає
Дренажна система	поверхнева	функціонує	задовільний стан
Під'їзні шляхи	передбачені	наявні	відповідає
Система сортування	не передбачена	відсутня	відповідає проекту
Система моніторингу	обмежена	частково здійснюється	допустимий рівень

Проведений аналіз свідчить, що основні геометричні та конструктивні параметри полігону залишаються стабільними та не демонструють критичних відхилень від проектних рішень. Важливим позитивним фактором є відсутність перевищення проектної місткості, що для більшості полігонів України є однією з основних проблем експлуатації.

Значну увагу в межах аудиту було приділено аналізу природно-геологічних умов розміщення полігону. Територія об'єкта характеризується відносно стабільними інженерно-геологічними умовами. У межах ділянки відсутні прояви карстових процесів, активних зсувів або інших небезпечних

геодинамічних явищ, що позитивно впливає на довгострокову експлуатаційну стійкість полігону.

Глибина залягання підземних вод становить 6,5–8 м, а зона аерації представлена переважно суглинками та супіщаними відкладами. Такі умови створюють природний бар’єр для швидкої вертикальної міграції потенційних забруднювачів. Крім того, наявність глинистого ізоляційного екрану додатково знижує інтенсивність інфільтраційних процесів у нижні горизонти.

Оцінка технологічної схеми експлуатації показала, що на полігоні застосовується класична система пошарового складування відходів із ущільненням та ґрунтовим перекриттям. Дана технологія відповідає проектним рішенням та забезпечує стабільність тіла полігону впродовж тривалого періоду експлуатації.

Для узагальнення результатів дослідження у роботі було запропоновано інтегральний коефіцієнт функціональної відповідності полігону, який враховує сукупність основних експлуатаційних параметрів. Методика базується на системі вагових коефіцієнтів для окремих функціональних блоків. Результати інтегральної оцінки наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 — Інтегральна оцінка функціональної відповідності полігону.

Компонент оцінки	Ваговий коефіцієнт	Рівень відповідності	Інтегральний показник
Геометрична стабільність	0,25	0,95	0,237
Технологічна відповідність	0,20	0,82	0,164
Інженерний захист	0,20	0,78	0,156
Експлуатаційна стабільність	0,20	0,88	0,176

Компонент оцінки	Ваговий коефіцієнт	Рівень відповідності	Інтегральний показник
Екологічна керованість	0,15	0,74	0,111

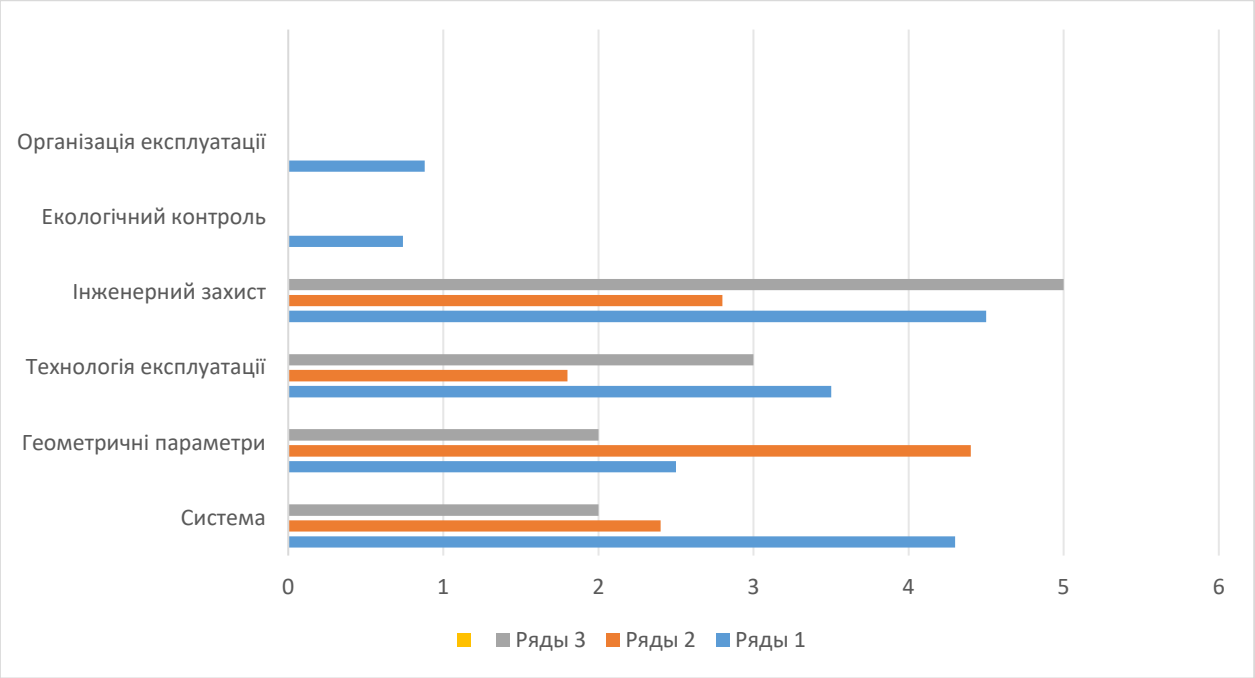
Інтегральний коефіцієнт відповідності = 0,844

Отримане значення свідчить про достатньо високий рівень функціональної стабільності полігону та підтверджує можливість його подальшої експлуатації за умови поетапної модернізації окремих елементів інженерної інфраструктури.

Для більшої наочності результатів проведеного аудиту в роботі було сформовано графічну модель інтегральної відповідності функціональних систем полігону. Побудова такої моделі дозволяє візуалізувати рівень стабільності окремих компонентів системи експлуатації полігону та визначити найбільш ефективні елементи його функціонування.

Найвищі показники відповідності спостерігаються у сфері геометричної стабільності та організації експлуатації полігону, що свідчить про збереження основних проектних характеристик об’єкта протягом тривалого періоду функціонування. Достатньо високі результати також демонструє технологія експлуатації полігону, зокрема система пошарового складування та ущільнення відходів. Дещо нижчі, проте стабільні показники характерні для інженерного захисту та екологічного контролю, що пояснюється особливостями нормативної бази та технологічних підходів, характерних для періоду проектування полігону.

Отримані результати підтверджують загальну функціональну стабільність полігону ТПВ та дозволяють розглядати його як контрольований інженерно-екологічний об’єкт у межах існуючої системи управління відходами.



Аналіз графічної структури відповідності демонструє, що загальна система функціонування полігону є достатньо збалансованою. Відсутність різких диспропорцій між окремими компонентами свідчить про стабільність експлуатаційних процесів та підтримання базових умов екологічної керованості об’єкта. Це дозволяє зробити висновок про те, що полігон ТПВ зберігає функціональну цілісність та характеризується достатнім рівнем відповідності основним проектним параметрам.

Важливим результатом дослідження стало формування концепції функціональної екологічної керованості полігону. На відміну від традиційної оцінки, що базується виключно на факті наявності чи відсутності порушень, запропонований підхід враховує здатність системи підтримувати стабільний експлуатаційний режим без проявів критичних екологічних ризиків.

У результаті проведеного аудиту встановлено, що полігон ТПВ характеризується стабільним режимом функціонування, збереженням основних проектних параметрів та достатнім рівнем експлуатаційної стійкості. Відсутність перевищення проектної місткості, наявність базових інженерних елементів захисту та сприятливі природно-геологічні умови дозволяють

розглядати об’єкт як функціонально стабільний у межах існуючої системи управління відходами.

Таким чином, результати проведеного аудиту підтверджують, що полігон ТПВ міста Верхівцеве в цілому відповідає основним проектним характеристикам та забезпечує стабільність експлуатації, що створює передумови для подальшого впровадження заходів оптимізації системи управління відходами на території громади.

4.2. Оцінка екологічного стану компонентів довкілля (атмосфери, ґрунту, підземних вод) у зоні впливу МВВ.

Екологічна характеристика території впливу полігону.

Полігон твердих побутових відходів міста є локальним природно-техногенним об’єктом, функціонування якого супроводжується формуванням специфічної зони екологічного впливу. Характер та інтенсивність цього впливу визначаються поєднанням природних умов території, інженерних характеристик полігону, особливостей складування відходів та тривалості експлуатації об’єкта.

Місце видалення твердих побутових відходів розташоване у межах балки урочища Доценкове, на відстані 0,65 км від східної околиці громади. Просторове розміщення об’єкта характеризується відносно сприятливими природно-геологічними умовами, що відіграють важливу роль у локалізації потенційного техногенного впливу.

У геоморфологічному відношенні ділянка приурочена до слабохвилястої лесової рівнини з незначним розвитком ерозійних процесів. Абсолютні відмітки поверхні коливаються в межах 134–138 м, що свідчить про відсутність різких перепадів рельєфу та сприяє стабільності поверхневого стоку.

Особливе значення для оцінки екологічного стану території має геологічна будова ділянки. Верхня частина розрізу представлена суглинками

та супіщаними відкладами, які характеризуються відносно низькою фільтраційною проникністю та виконують функцію природного геохімічного бар’єру. Саме ці відклади забезпечують часткове обмеження вертикальної міграції інфільтраційних потоків і знижують швидкість перенесення потенційних забруднювачів у нижні горизонти геологічного середовища.

Важливим фактором екологічної стійкості території є також відсутність небезпечних геодинамічних процесів. У межах ділянки не виявлено проявів карсту, активних зсувів, просадкових деформацій або тектонічних порушень, які могли б сприяти прискоренню міграції полютантів.

Формування техногенного навантаження полігону має переважно локалізований характер. Це пов’язано з відносно невеликими обсягами накопичення відходів, відсутністю перевищення проектної місткості та стабільним режимом експлуатації об’єкта.

Для оцінки екологічної структури території впливу полігону була сформована модель взаємодії основних компонентів довкілля (рисунок 4.2).

Полігон ТПВ

↓

Формування техногенного навантаження

↓

Атмосферне середовище

Ґрунтовий покрив

Підземні води

↓

Природні процеси локалізації та трансформації

↓

Екологічна стабільність території

Для оцінки екологічної структури території впливу полігону була сформована модель взаємодії основних компонентів довкілля (рисунок 4.2).

Запропонована схема відображає взаємозв’язок між джерелом техногенного впливу та природними механізмами екологічної компенсації, які забезпечують локалізацію основних процесів трансформації забруднюючих речовин.

Аналіз впливу полігону на атмосферне середовище.

Одним із найбільш динамічних компонентів природного середовища у зоні впливу полігонів твердих побутових відходів є атмосферне повітря. Основним фактором впливу виступають процеси біохімічного розкладання органічної складової відходів, у результаті яких формується полігонний газ.

Згідно з паспортними характеристиками полігону, потенційними компонентами газових виділень є:

- метан (CH_4);
- вуглекислий газ (CO_2);
- сірководень (H_2S);
- азотовмісні сполуки.

Разом із тим, аналіз умов експлуатації полігону свідчить, що процеси газогенерації мають помірний характер та не супроводжуються формуванням критичних концентрацій газоподібних продуктів у приземному шарі атмосфери.

Це пояснюється низкою факторів:

- відносно невисоким ступенем заповнення полігону;
- пошаровим ущільненням відходів;
- періодичним перекриттям відходів ґрунтовими матеріалами;
- відсутністю тривалого застою фільтраційних вод.

Важливим природним фактором, який знижує інтенсивність атмосферного впливу, є просторова ізольованість полігону від житлової забудови. Санітарний розрив між полігоном та межами міста забезпечує часткове розсіювання газоподібних компонентів у нижніх шарах атмосфери та зменшує локальне накопичення продуктів анаеробного розкладання.

Окрему роль у формуванні стану атмосферного середовища відіграють кліматичні особливості території. Для району дослідження характерні достатньо активні процеси повітрообміну, що сприяють природній вентиляції території полігону.

Водночас відсутність випадків самозайманння відходів та ознак відкритого горіння свідчить про стабільність температурного режиму масиву відходів і відсутність умов для інтенсивного утворення токсичних продуктів горіння.
Результати узагальненої оцінки впливу полігону на атмосферне середовище наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 — Характеристика впливу полігону на атмосферне середовище

Показник	Характер прояву
Газогенерація	помірна
Пилове навантаження	локальне
Інтенсивність запахового впливу	періодична
Ризик накопичення полігонного газу	низький
Рівень атмосферного впливу	локалізований

Таким чином, атмосферний вплив полігону характеризується переважно локальним масштабом поширення та не формує ознак критичного порушення стану атмосферного середовища.

Оцінка трансформації ґрунтового покриву.

Ґрунтовий покрив у межах полігону виступає одним із основних елементів природного захисту геологічного середовища від техногенного навантаження. Саме ґрунти першими сприймають вплив інфільтраційних процесів, продуктів розкладання органічної речовини та поверхневого стоку.

У межах території полігону переважають суглинкові та супіщані відклади, які характеризуються достатньо високою сорбційною здатністю та відносно низькою проникністю. Це створює умови для часткового затримання

та трансформації потенційних забруднювачів у верхній частині геологічного середовища.

Важливою особливістю полігону є наявність глинистого ізоляційного екрану, який виконує функцію додаткового бар'єру на шляху вертикальної міграції інфільтраційних потоків.

У процесі експлуатації полігону застосовується система пошарового ущільнення та ґрунтового перекриття відходів, що сприяє:

- стабілізації поверхні полігону;
- зменшенню вітрової ерозії;
- локалізації поверхневого стоку;
- зниженню вторинного пилового переносу.

Аналіз природних умов території свідчить, що ґрунтовий покрив зберігає здатність до виконання буферної функції та забезпечує локалізацію основних процесів техногенної трансформації.

Таблиця 4.4 — Характеристика екологічного стану ґрунтового покриву

Показник	Характеристика
Тип ґрунтів	суглинки, супіски
Сорбційна здатність	помірно висока
Інтенсивність ерозійних процесів	низька
Ризик вертикальної міграції полютантів	обмежений
Буферна функція ґрунтів	збережена

Отже, ґрунтовий покрив у межах полігону виконує функцію природного екологічного буфера та забезпечує часткову локалізацію техногенного навантаження.

Гідрогеоекологічна оцінка стану підземних вод.

Підземні води є одним із найбільш чутливих компонентів природного середовища до впливу полігонів твердих побутових відходів, оскільки саме

через систему інфільтраційних потоків можливе перенесення продуктів розкладання відходів у водоносні горизонти.

У межах території полігону рівень залягання підземних вод становить 6,5–8 м. Водоносні горизонти приурочені до четвертинних та неогенових відкладів.

Значна потужність зони аерації є одним із ключових факторів природного захисту підземних вод. Суглинки та супіщані породи характеризуються відносно низькою швидкістю вертикальної фільтрації, що сприяє уповільненню міграції потенційних забруднювачів.

Крім того, відсутність активного дренажного стоку та помірний рівень накопичення відходів знижують ризик формування значних обсягів фільтрату.

Таблиця 4.5 — Гідрогеоекологічна характеристика території полігону

Показник	Характеристика
Глибина залягання підземних вод	6,5–8 м
Потужність зони аерації	достатня
Фільтраційна проникність порід	низька
Інтенсивність інфільтрації	помірна
Ризик поширення забруднення	локалізований

Гідрогеологічні умови території характеризуються відсутністю сприятливих шляхів швидкого гідравлічного переносу забруднюючих речовин у глибокі горизонти підземних вод.

Отримані результати свідчать, що природно-геологічні умови території забезпечують відносно високий рівень локалізації потенційного впливу полігону на підземні води.

Інтегральна модель екологічної стійкості території.

Для узагальнення результатів проведеного дослідження було сформовано інтегральну модель екологічної стійкості території полігону ТПВ м. Верхівцеве. Основою моделі є оцінка здатності природних компонентів середовища локалізувати та компенсувати техногенне навантаження.



Графік 4.2 — Просторова екологічна стійкість компонентів довкілля

Аналіз результатів свідчить, що найбільш стійким компонентом природного середовища у межах території дослідження є ґрунтовий покрив, який виконує функцію природного буферного бар'єру. Достатньо високий рівень екологічної стійкості характерний також для підземних вод та атмосферного середовища.

Таким чином, проведене дослідження дозволяє зробити висновок, що техногенний вплив полігону має переважно локалізований характер та не супроводжується формуванням критичних ознак деградації компонентів довкілля. Поєднання природної геологічної захищеності території, помірного

рівня техногенного навантаження та стабільних умов експлуатації полігону забезпечує достатній рівень екологічної стійкості досліджуваної території.

4.3. Розробка стратегічної моделі оптимізації системи управління відходами у м. Верхівцеве.

Проведений аналіз паспортних характеристик полігону ТПВ результатів екологічної оцінки компонентів довкілля та технічних особливостей функціонування об’єкта дозволив встановити, що основною проблемою сучасної системи управління відходами є не критичний технічний стан полігону, а поступове накопичення довготривалого внутрішнього екологічного навантаження, пов’язаного зі збільшенням маси змішаних побутових відходів та активізацією анаеробних процесів у тілі полігону.

На відміну від аварійних або техногенно нестабільних полігонів, досліджуваний об’єкт характеризується відносно стабільними інженерно-геологічними умовами, наявністю базових захисних елементів та задовільною просторовою локалізацією. Однак тривала експлуатація полігону в умовах відсутності сортування відходів поступово формує накопичувальний ефект внутрішньої деградації масиву відходів.

Особливістю даного процесу є його прихований характер. Зовнішньо полігон може залишатися відносно стабільним, проте всередині масиву постійно відбуваються біохімічні процеси розкладання органічної складової побутових відходів. Унаслідок ущільнення відходів та дефіциту кисню формується анаеробне середовище, в якому активізується утворення полігонного газу, інфільтраційних вод та локального теплового навантаження.

Саме тому стратегія оптимізації системи управління відходами повинна бути спрямована не лише на технічне удосконалення полігону, а на зміну самої моделі його функціонування — перехід від пасивного накопичення змішаних відходів до системи контрольованої екологічної стабілізації полігонного середовища.

Наукове обґрунтування необхідності трансформації системи управління відходами.

Аналіз морфологічної структури твердих побутових відходів показує, що основним фактором внутрішньої екологічної нестабільності полігону є органічна фракція. Саме органічні відходи є джерелом інтенсивного анаеробного розкладання, що супроводжується утворенням метану (CH_4), вуглекислого газу (CO_2), інфільтраційних вод та вторинних продуктів біохімічної деградації.

У процесі багаторічної експлуатації полігону формується причинно-наслідковий ланцюг поступового екологічного навантаження:

Накопичення змішаних відходів

↓

Зростання органічної фракції у тілі полігону

↓

Активізація анаеробного розкладання

↓

Посилення утворення CH_4 та CO_2

↓

Підвищення внутрішнього біохімічного навантаження

↓

Формування довгострокового техногенного впливу

↓

Необхідність трансформації системи управління відходами

↓

Впровадження сортування та екологічної стабілізації

↓

Зниження інтенсивності внутрішніх процесів деградації

↓

Подовження експлуатаційного ресурсу полігону

Наведена модель демонструє, що головною причиною поступового екологічного навантаження є саме накопичення біохімічно нестабільної органічної маси. За відсутності сортування органічна складова потрапляє безпосередньо у тіло полігону, де протягом багатьох років підтримує активні процеси анаеробного розкладання.

У довгостроковій перспективі це призводить до:

- збільшення інтенсивності газогенерації;
- підвищення ризику локального перегріву;
- посилення процесів інфільтрації;
- зростання навантаження на геологічне середовище;
- скорочення експлуатаційного ресурсу полігону.

Таким чином, проблема полігону має не локально-технічний, а системний характер, що потребує комплексної трансформації всієї моделі управління відходами.

Формування інтегрованої стратегії екологічної стабілізації полігону.

Запропонована стратегія базується на принципі поетапного зменшення внутрішнього екологічного навантаження шляхом скорочення обсягів органічної фракції, стабілізації біохімічних процесів та поступового переходу до контрольованої експлуатації полігону.

Ключовою ідеєю стратегії є впровадження системи первинного сортування відходів як основного механізму зменшення біохімічного навантаження на тіло полігону.

Наукове обґрунтування даного підходу полягає у тому, що саме органічна складова формує основний обсяг полігонного газу та продуктів анаеробного розкладання. Відповідно, вилучення навіть частини органічних відходів дозволяє суттєво змінити внутрішню динаміку деградаційних процесів.

За результатами аналізу типового морфологічного складу ТПВ для малих міст України прогнозується, що впровадження первинного сортування

дозволить скоротити частку органічної фракції на 25–35 % протягом перших п’яти років функціонування системи.

Таблиця 4.6 — Причинно-наслідкова модель екологічної трансформації полігону

Фактор впливу	Механізм формування проблеми	Наслідки для полігону	Запропонований стратегічний механізм	Прогнозований результат
Накопичення змішаних відходів	Постійне збільшення маси біохімічно нестабільної органічної речовини	Активізація анаеробних процесів усередині полігону	Скорочення надходження органічної фракції шляхом сортування	Зменшення інтенсивності внутрішніх процесів деградації
Відсутність системи сортування	Органічні відходи потрапляють безпосередньо до масиву полігону	Посилення утворення полігонного газу та фільтрату	Впровадження контейнерного роздільного збору	Скорочення обсягів анаеробного розкладання
Тривала експлуатація полігону	Формування зон дефіциту кисню та ущільнення масиву	Підвищення газогенерації та тепловиділення	Пошарова стабілізація та контрольоване ущільнення	Стабілізація внутрішнього середовища полігону

Фактор впливу	Механізм формування проблеми	Наслідки для полігону	Запропонований стратегічний механізм	Прогнозований результат
Відсутність моніторингової системи	Неможливість раннього виявлення деградаційних процесів	Накопичення прихованих екологічних ризиків	Створення системи екологічного моніторингу	Контроль екологічного стану полігону
Накопичення органічної фракції	Формування довготривалого біохімічного навантаження	Поступове скорочення ресурсу полігону	Скорочення обсягів захоронення ТПВ	Подовження терміну експлуатації полігону

Прогнозна оцінка ефективності реалізації стратегії.

На основі аналізу поточного стану полігону та прогнозної моделі зміни структури ТПВ було сформовано прогноз ефективності реалізації запропонованої стратегії.

Очікується, що впровадження системи сортування дозволить:

- знизити загальний обсяг змішаних відходів на 20–30 %;
- скоротити інтенсивність газогенерації на 30–40 %;
- зменшити навантаження на тіло полігону;
- стабілізувати процеси інфільтрації;
- продовжити термін експлуатації полігону на 8–12 років.

Основною причиною таких змін є скорочення кількості органічної речовини, яка бере участь у процесах анаеробного розкладання.

Таблиця 4.7 — Прогнозний вплив реалізації стратегії на екологічний стан полігону

Компонент системи	Поточний стан	Прогноз після реалізації стратегії	Причина прогнозованих змін	Очікуваний екологічний ефект
Органічна фракція ТПВ	Формує основне біохімічне навантаження	Скорочення на 25–35 %	Вилучення харчових та рослинних відходів	Зниження інтенсивності анаеробних процесів
Газоутворення	Активне утворення CH_4 та CO_2	Зниження на 30–40 %	Зменшення органічної маси	Стабілізація газодинамічного режиму
Інфільтраційні процеси	Потенційний ризик накопичення фільтрату	Часткова стабілізація	Зниження біохімічної активності відходів	Зменшення навантаження на ґрунти та підземні води
Техногенне навантаження	Має тенденцію до накопичення	Поступова стабілізація	Комплексне зменшення обсягів змішаних відходів	Покращення екологічного стану території
Експлуатаційний ресурс полігону	Обмежений проектною місткістю	Подовження на 8–12 років	Скорочення темпів заповнення полігону	Відтермінування потреби у новому полігоні

Прогнозна модель розвитку полігону до 2035 року.

Прогнозування динаміки екологічного стану полігону показало, що реалізація інтегрованої стратегії дозволяє перевести систему із режиму пасивного накопичення відходів у режим контрольованої екологічної стабілізації.

У разі збереження існуючої системи експлуатації прогнозується поступове збільшення внутрішнього екологічного навантаження, пов’язане з подальшим накопиченням органічної фракції.

Натомість реалізація запропонованої стратегії дозволяє забезпечити поетапне зниження інтенсивності деградаційних процесів.

Таблиця 4.8 — Прогнозна динаміка екологічного стану полігону ТПВ м. Верхівцеве

Показник	2025 р.	2030 р.	2035 р.	Прогнозний ефект
Частка змішаних відходів	100 %	75–80 %	50–60 %	Поступове скорочення навантаження на полігон
Інтенсивність газогенерації	Висока	Помірна	Низька	Стабілізація внутрішніх процесів
Ризик утворення фільтрату	Помірний	Знижений	Мінімальний	Зменшення впливу на геологічне середовище
Екологічне навантаження	Накопичується	Частково стабілізоване	Контрольоване	Формування екологічно стабільної системи

Показник	2025 р.	2030 р.	2035 р.	Прогнозний ефект
Експлуатаційний ресурс полігону	Обмежений	Подовжений	Контрольований	Підвищення ефективності використання полігону

Таким чином, проведене дослідження показало, що основною проблемою місця видалення твердих побутових відходів є поступове накопичення внутрішнього біохімічного навантаження, пов’язаного з довготривалим складуванням змішаних побутових відходів.

Запропонована стратегія оптимізації базується на принципі переходу від моделі пасивного накопичення до системи контрольованої екологічної стабілізації. Її ключовим елементом є впровадження сортування відходів як механізму скорочення органічної фракції та стабілізації внутрішніх процесів полігону.

Прогнозні розрахунки свідчать, що реалізація запропонованої стратегії дозволить:

- скоротити обсяги змішаних відходів;
- знизити інтенсивність газогенерації;
- стабілізувати інфільтраційні процеси;
- зменшити техногенне навантаження на довкілля;
- подовжити термін експлуатації полігону на 8–12 років.

Отримані результати підтверджують доцільність переходу до інтегрованої моделі управління відходами, орієнтованої на принципи екологічної безпеки, ресурсної ефективності та довгострокової стабілізації природно-техногенних систем.

4.4. Економічне та екологічне обґрунтування запропонованих заходів.

Проведене дослідження показало, що запропонована стратегія оптимізації системи управління твердими побутовими відходами в громаді має комплексний екологічний та економічний ефект. На відміну від традиційного підходу, що передбачає виключно накопичення відходів на полігоні, запропонована модель орієнтована на поступове зниження техногенного навантаження шляхом скорочення обсягів захоронення, стабілізації внутрішніх процесів полігону та впровадження елементів контрольованого управління відходами.

Встановлено, що сучасний стан полігону характеризується відносно стабільним функціонуванням основних інженерних систем, однак подальше накопичення змішаних побутових відходів створює передумови для посилення внутрішніх біохімічних процесів. Особливу роль у цьому відіграє органічна складова відходів, яка є основним джерелом утворення полігонного газу, інфільтраційних вод та довгострокового екологічного навантаження на геологічне середовище.

Саме тому запропонована стратегія базується не на ліквідації наслідків екологічних порушень, а на їх попередженні шляхом зменшення обсягів органічної фракції у структурі відходів та поступової трансформації системи експлуатації полігону.

Основним напрямом оптимізації визначено впровадження системи первинного сортування побутових відходів. Проведений аналіз показує, що навіть часткове вилучення вторинної сировини та органічних компонентів із загального потоку ТПВ дозволяє суттєво знизити швидкість накопичення відходів у рамках полігону. Очікується, що у перші роки реалізації стратегії обсяг змішаних відходів може скоротитися на 20–30 %, що безпосередньо вплине на темпи заповнення полігону та подовження його експлуатаційного ресурсу.

Важливою перевагою запропонованої моделі є те, що вона не потребує повної реконструкції полігону або створення нового об’єкта захоронення. Запропоновані заходи можуть реалізовуватися поетапно, що особливо важливо для невеликих територіальних громад із обмеженим фінансовим ресурсом.

Крім економії площ захоронення, впровадження сортування відходів дозволить знизити навантаження на спеціалізовану техніку, скоротити потребу у частому ущільненні та пересипці відходів, а також зменшити швидкість деградації внутрішнього середовища полігону. У довгостроковій перспективі це забезпечить стабілізацію технічного стану полігону та зменшення ризику формування аварійних екологічних процесів.

Суттєве значення має також екологічний ефект запропонованої стратегії. Як показали результати дослідження, найбільший потенційний ризик для компонентів довкілля пов’язаний саме з процесами анаеробного розкладання органічної складової відходів. У результаті цього утворюються метан, діоксид вуглецю та інші газоподібні сполуки, які формують довгострокове навантаження на атмосферне повітря та внутрішнє середовище полігону.

Зменшення кількості органічних відходів у загальному потоці ТПВ дозволить поступово знизити інтенсивність газоутворення. Відповідно, зменшиться внутрішній тиск у тілі полігону, стабілізуються процеси біохімічного розкладання та знизиться ризик утворення надлишкових інфільтраційних вод.

Окреме значення має вплив запропонованих заходів на стан підземних вод. Враховуючи, що територія полігону характеризується умовно захищеним типом геологічного середовища, зменшення інтенсивності утворення фільтрату є одним із ключових факторів довгострокової екологічної стабілізації території. Запропонована стратегія дозволяє зменшити обсяг продуктів біохімічного розкладання, що потенційно можуть мігрувати у ґрунтове середовище.

Таким чином, екологічний ефект запропонованої моделі проявляється не лише у зниженні поточного навантаження на довкілля, а й у формуванні передумов для поступової стабілізації геоекологічного стану території.

Таблиця 4.9 — Комплексна оцінка ефективності реалізації запропонованої стратегії

Напрям впливу	Поточний стан полігону	Прогноз після реалізації стратегії	Причина очікуваних змін	Довгостроковий ефект
Обсяг змішаних відходів	На полігон надходить увесь потік ТПВ без попереднього сортування	Скорочення обсягів захоронення на 20–30 % протягом перших 5 років	Вилучення вторинної сировини та органічної фракції із загального потоку відходів	Зменшення швидкості заповнення полігону та подовження ресурсу експлуатації
Газоутворення	У тілі полігону активно відбуваються процеси утворення CH_4 та CO_2	Очікується зниження інтенсивності газогенерації на 30–40 %	Скорочення обсягів органічних відходів, що піддаються анаеробному розкладанню	Стабілізація внутрішнього середовища полігону та зменшення атмосферного навантаження
Інфільтраційні процеси	Існує потенційний ризик утворення фільтрату	Поступове зниження інтенсивності інфільтрації	Зменшення біохімічної активності полігонного масиву	Зниження навантаження на ґрунти та підземні води

Напрям впливу	Поточний стан полігону	Прогноз після реалізації стратегії	Причина очікуваних змін	Довгостроковий ефект
Експлуатаційний ресурс полігону	Ресурс полігону обмежується постійним накопиченням змішаних відходів	Подовження терміну експлуатації на 8–12 років	Скорочення темпів накопичення відходів	Відтермінування необхідності створення нового полігону
Загальне екологічне навантаження	Формується поступове довгострокове техногенне навантаження	Очікується стабілізація екологічного стану території	Комплексне зниження інтенсивності внутрішніх деградаційних процесів	Формування умов для подальшої рекультивації території

Для оцінки перспективності запропонованої стратегії було проведено прогноз змін екологічного стану полігону у середньо- та довгостроковій перспективі. Отримані результати свідчать про те, що найбільший ефект від реалізації заходів проявлятиметься поступово, у міру стабілізації внутрішніх процесів полігонного масиву.

На першому етапі реалізації стратегії основним результатом стане скорочення обсягів змішаних відходів та зниження швидкості накопичення органічної маси. У подальшому це призведе до поступового зменшення інтенсивності газоутворення, стабілізації процесів деградації відходів та зниження ризику утворення інфільтраційних вод.

Таблиця 4.10 — Прогнозна динаміка екологічного стану полігону ТПВ м. Верхівцеве до 2035 року

Показник	2025 р.	2030 р.	2035 р.	Очікуваний результат
Частка змішаних відходів у загальному потоці ТПВ	100 %	75–80 %	50–60 %	Поступове скорочення навантаження на полігон
Інтенсивність газогенерації	Висока	Помірна	Низька	Стабілізація газодинамічних процесів
Ризик утворення фільтрату	Помірний	Знижений	Мінімальний	Зменшення впливу на геологічне середовище
Рівень техногенного навантаження	Накопичується	Частково стабілізований	Контрольований	Формування екологічно стабільної системи
Експлуатаційний ресурс полігону	Обмежений	Подовжений	Контрольований	Підвищення ефективності використання полігону

Через 5–10 років очікується формування більш стабільного геоекологічного середовища, що створить передумови для переходу до етапу часткової рекультивації окремих ділянок полігону та подальшого екологічного відновлення території.

Стратегічна модель трансформації полігону в місті Верхівцеве

Накопичення змішаних відходів

↓

Зростання органічного навантаження

↓

Посилення анаеробних процесів

↓

Формування довгострокового екологічного навантаження

↓

Впровадження системи сортування відходів

↓

Скорочення органічної фракції

↓

Стабілізація внутрішніх процесів полігону

↓

Зниження інтенсивності газоутворення та інфільтрації

↓

Подовження експлуатаційного ресурсу полігону

↓

Формування умов для рекультивації території

Отже, проведене економічне та екологічне обґрунтування підтверджує доцільність переходу до інтегрованої системи управління відходами у м. Верхівцеве. Запропонована стратегія забезпечує не лише скорочення поточного техногенного навантаження, а й створює передумови для довгострокової екологічної стабілізації території та підвищення ефективності експлуатації полігону ТПВ.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Аналіз умов праці на підприємствах, що здійснюють санітарну очистку м. Верхівцеве.

Система санітарного очищення території міста Верхівцеве забезпечує підтримання належного санітарно-епідеміологічного стану населеного пункту та є важливою складовою загальної системи екологічної безпеки. Працівники комунальних підприємств, які здійснюють збирання, транспортування та видалення твердих побутових відходів, виконують роботи в умовах постійного впливу різноманітних виробничих факторів, що можуть становити небезпеку для їхнього здоров’я та працездатності.

Особливістю діяльності персоналу у сфері управління відходами є виконання значної частини робіт безпосередньо на відкритих територіях та у контакті з різними видами побутових відходів. У зв’язку з цим виробниче середовище характеризується комплексним поєднанням біологічних, хімічних, фізичних та психофізіологічних навантажень.

Одним із найбільш значущих факторів ризику є біологічне забруднення. У складі твердих побутових відходів міститься значна кількість органічних речовин, які в процесі розкладання створюють сприятливе середовище для розвитку патогенних та умовно-патогенних мікроорганізмів. Під час виконання виробничих операцій працівники можуть контактувати з бактеріями, вірусами, грибковими культурами та іншими біологічними агентами, здатними викликати інфекційні захворювання, алергічні реакції та ураження шкіри.

Суттєвий вплив на умови праці також мають хімічні чинники. До загального потоку відходів нерідко потрапляють залишки побутової хімії, лакофарбової продукції, розчинників, аерозольних матеріалів та інших речовин, які можуть виділяти небезпечні сполуки. У процесі біохімічного

розкладання відходів утворюються газоподібні продукти, зокрема аміак, сірководень та інші речовини, що негативно впливають на органи дихання людини та можуть спричиняти подразнення слизових оболонок.

Важливою складовою виробничих ризиків є фізичні навантаження. Робота персоналу часто пов’язана з ручним переміщенням контейнерів, підніманням вантажів та виконанням повторюваних операцій протягом робочої зміни. Додатковим несприятливим фактором виступає шумове навантаження та вібрація, які виникають під час експлуатації сміттєвозів, навантажувальної техніки й іншого спеціалізованого обладнання. Тривалий вплив зазначених чинників може сприяти розвитку захворювань опорно-рухового апарату, порушень роботи серцево-судинної системи та функціональних розладів нервової діяльності.

Значний вплив на ефективність праці мають кліматичні умови. Виконання робіт із санітарного очищення здійснюється незалежно від пори року та погодних умов. У зимовий період працівники зазнають дії низьких температур і підвищеної вологості, тоді як у літній сезон на них впливають високі температури повітря та інтенсивне сонячне випромінювання. Такі умови спричиняють додаткове фізіологічне навантаження на організм і можуть негативно позначатися на працездатності персоналу.

Окрему групу ризиків формують психофізіологічні фактори. Працівники комунальної сфери функціонують в умовах чітко регламентованих графіків виконання робіт, що потребує високого рівня відповідальності та дисципліни. Значний обсяг виробничих завдань, необхідність роботи у ранкові години та постійне дотримання встановлених маршрутів можуть спричиняти втому, емоційне напруження та зниження концентрації уваги.

Результати проведеного аналізу свідчать про те, що діяльність працівників підприємств санітарного очищення супроводжується впливом широкого спектра шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища. З метою зменшення професійних ризиків необхідним є впровадження

комплексу організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на покращення умов праці, збереження здоров’я персоналу та підвищення загального рівня виробничої безпеки.

5.2. Забезпечення безпеки під час управління відходами різних класів небезпеки.

Раціональна організація управління відходами є необхідною умовою забезпечення екологічної безпеки, збереження здоров’я працівників та мінімізації негативного впливу на навколишнє природне середовище. Для підприємств, що здійснюють діяльність у сфері санітарного очищення територій, особливого значення набуває дотримання вимог безпеки на всіх етапах роботи з відходами – від моменту їх збирання до остаточного видалення або утилізації.

Рівень потенційної небезпеки значною мірою визначається складом відходів та наявністю у них компонентів, здатних чинити токсичний, біологічний або інший шкідливий вплив. Саме тому система управління відходами повинна базуватися на принципах контролю, роздільного накопичення та безпечного транспортування матеріалів різного ступеня небезпеки.

Особливу увагу необхідно приділяти відходам I та II класів небезпеки, які характеризуються високим рівнем токсичності та можуть становити серйозну загрозу для людини і довкілля навіть за незначних обсягів накопичення. До цієї категорії належать використані батарейки, акумуляторні елементи, ртутьвмісні лампи, окремі види медичних відходів та залишки хімічних речовин. Такі матеріали потребують окремого збирання у спеціальні контейнери з відповідним маркуванням та подальшого передавання підприємствам, що мають ліцензію на здійснення операцій із небезпечними відходами. Недотримання встановлених вимог може призвести до

забруднення ґрунтів, водних ресурсів та атмосферного повітря небезпечними компонентами.

Відходи III класу небезпеки характеризуються помірним рівнем шкідливого впливу, однак значні обсяги їх утворення потребують належного контролю. У процесі роботи з такими відходами персонал може контактувати з продуктами розкладання органічних речовин та різними видами мікроорганізмів. Для зниження виробничих ризиків необхідним є використання спеціального одягу, захисного взуття, рукавичок і засобів індивідуального захисту органів дихання. Крім того, важливо забезпечувати регулярне миття та дезінфекцію контейнерів, транспортних засобів і технологічного обладнання, що використовується під час виконання виробничих операцій.

До категорії IV класу належать малонебезпечні відходи, однак навіть вони можуть негативно впливати на санітарний стан територій у разі порушення правил їх накопичення та видалення. Тривале зберігання таких відходів сприяє розвитку патогенних мікроорганізмів, збільшенню чисельності комах і гризунів, а також виникненню неприємних запахів. У зв’язку з цим необхідним є суворе дотримання встановлених графіків вивезення відходів та належне утримання місць їх тимчасового накопичення. Одним із ключових елементів системи безпечного управління відходами є професійна підготовка персоналу. Працівники повинні володіти знаннями щодо класифікації відходів, правил поводження з небезпечними речовинами, порядку використання засобів індивідуального захисту та алгоритму дій у разі виникнення аварійних ситуацій. Проведення первинних, повторних та позапланових інструктажів сприяє формуванню необхідних професійних навичок і зниженню рівня виробничого травматизму.

Суттєве підвищення безпеки праці забезпечується шляхом упровадження сучасних технічних рішень. Використання механізованих систем завантаження контейнерів, автоматизованих комплексів збору відходів та спеціалізованої техніки дозволяє мінімізувати безпосередній контакт

працівників із потенційно небезпечними матеріалами. Одночасно зменшується фізичне навантаження на персонал, покращуються санітарно-гігієнічні умови праці та підвищується ефективність виробничих процесів.
Таким чином, забезпечення безпечного управління відходами різних класів небезпеки вимагає комплексного підходу, що охоплює організаційні, технічні, профілактичні та освітні заходи. Лише системне дотримання вимог охорони праці та екологічної безпеки дозволяє гарантувати належний рівень захисту працівників, населення і навколишнього природного середовища.

5.3. План реагування та заходи безпеки у разі виникнення надзвичайних ситуацій на полігоні ТПВ.

Полігони твердих побутових відходів належать до об’єктів підвищеної екологічної та техногенної небезпеки, оскільки в процесі експлуатації на їх території відбуваються складні фізико-хімічні та біологічні процеси. Накопичення значних обсягів відходів супроводжується утворенням полігонного газу, фільтрату та інших продуктів розкладання, які за певних умов можуть стати причиною виникнення аварійних ситуацій. У зв’язку з цим важливого значення набуває розроблення ефективного плану реагування на надзвичайні події та впровадження комплексу профілактичних заходів, спрямованих на запобігання їх виникненню.

До найбільш поширених небезпечних подій на полігонах ТПВ належать пожежі, порушення стійкості масиву відходів, руйнування інженерних споруд та аварійні витоки фільтрату. Кожна із зазначених ситуацій може спричинити негативні наслідки як для працівників об’єкта, так і для навколишнього природного середовища.

Особливу небезпеку становлять пожежі, виникнення яких найчастіше пов’язане з накопиченням та займанням полігонного газу. У процесі анаеробного розкладання органічних компонентів утворюється метан, концентрація якого за певних умов може досягати вибухонебезпечних значень.

Додатковими причинами загорянь можуть бути самозаймання відходів, порушення правил експлуатації техніки або недотримання вимог пожежної безпеки.

У разі виявлення ознак пожежі персонал полігону повинен негайно повідомити відповідальні служби, припинити виконання робіт у небезпечній зоні та забезпечити обмеження доступу сторонніх осіб. Для локалізації осередку горіння доцільно використовувати інертні матеріали, зокрема ґрунт або пісок, що дозволяють ізолювати місце займання від доступу кисню. За необхідності до ліквідації пожежі залучаються спеціалізовані пожежно-рятувальні підрозділи та відповідна техніка. Після завершення гасіння здійснюється ретельне обстеження території для виявлення прихованих осередків тління та недопущення повторного загоряння.

Важливим напрямом попередження пожеж є постійний контроль процесів утворення полігонного газу. Для цього необхідно здійснювати регулярний моніторинг температурного режиму відходів, контролювати концентрацію метану та підтримувати належний технічний стан систем дегазації. Своєчасне виявлення небезпечних ділянок значно знижує ризик виникнення аварійних ситуацій.

Не менш небезпечними є зсуви та обвали відходів, які можуть виникати внаслідок порушення технології експлуатації полігону. Причинами таких подій можуть бути надмірне навантаження на окремі карти складування, недостатнє ущільнення відходів, помилки під час формування укосів або інтенсивні атмосферні опади. Подібні аварії створюють загрозу для працівників, техніки та інженерних споруд полігону.

У випадку виникнення деформацій або обвалів необхідно негайно припинити всі роботи в небезпечній зоні та організувати евакуацію персоналу. Після локалізації аварії проводиться оцінка її масштабів, визначаються причини виникнення та розробляються заходи щодо стабілізації ситуації. Для відновлення безпечного стану полігону можуть виконуватися роботи з перепланування поверхні, додаткового ущільнення відходів і зміцнення укосів.

Запобігання таким подіям забезпечується шляхом постійного контролю геометричних параметрів карт складування та дотримання встановлених технологічних вимог.

Серйозну екологічну загрозу становлять аварійні витоки фільтрату. Ця рідина утворюється внаслідок проходження атмосферних опадів через товщу відходів і містить значну кількість забруднювальних речовин, серед яких органічні сполуки, азотовмісні компоненти, важкі метали та інші токсиканти. Потрапляння фільтрату до ґрунтів або підземних вод може спричинити довготривале забруднення природних екосистем.

У разі виявлення витоку першочерговим завданням є локалізація джерела забруднення та недопущення поширення забруднених стоків за межі полігону. Для цього використовуються дренажні системи, накопичувальні резервуари та інші інженерні споруди. Після усунення причин аварії виконуються роботи з відновлення пошкоджених гідроізоляційних елементів, а також проводиться контроль якості ґрунтів і водних ресурсів на прилеглих територіях.

Невід’ємною складовою системи безпеки полігону є екологічний моніторинг. Регулярне спостереження за станом інженерних споруд, рівнем накопичення фільтрату, інтенсивністю газоутворення та станом компонентів довкілля дозволяє своєчасно виявляти небезпечні тенденції та запобігати розвитку аварійних процесів.

Особливе місце у системі управління екологічною безпекою займає екологічний аудит. У сучасних умовах він розглядається як один із найбільш результативних інструментів оцінювання екологічних ризиків та контролю відповідності діяльності полігону вимогам природоохоронного законодавства. Проведення аудиту дає можливість своєчасно виявляти потенційні джерела небезпеки, оцінювати ефективність природоохоронних заходів та визначати напрями вдосконалення системи управління відходами.

На відміну від заходів ліквідації наслідків аварій, екологічний аудит має профілактичний характер. Його результати дозволяють завчасно виявляти

ризики, розробляти рекомендації щодо модернізації технологічних процесів, удосконалення інженерної інфраструктури та підвищення загального рівня екологічної безпеки об’єкта.

Важливою умовою ефективного реагування на надзвичайні ситуації є належна підготовка персоналу. Працівники повинні регулярно проходити навчання та тренування з питань пожежної безпеки, евакуації, надання домедичної допомоги та взаємодії з аварійно-рятувальними службами. Практичне відпрацювання алгоритмів дій сприяє скороченню часу реагування та мінімізації можливих наслідків аварій.

Отже, забезпечення безпечної експлуатації полігону твердих побутових відходів потребує реалізації комплексної системи організаційних, технічних та природоохоронних заходів. Поєднання ефективного моніторингу, екологічного аудиту, професійної підготовки персоналу та своєчасного реагування на потенційні загрози дозволяє суттєво знизити ризик виникнення надзвичайних ситуацій і забезпечити належний рівень екологічної безпеки об’єкта.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексну оцінку екологічного стану системи управління твердими побутовими відходами м. Верхівцеве та проведено екологічний аудит місця видалення відходів № 40/14, що перебуває в експлуатації КП «Верхівцевське житлово-комунальне господарство». Дослідження охоплювало аналіз нормативно-правових засад управління відходами, природно-кліматичних умов території, технічного стану об’єкта, морфологічного складу відходів, екологічних ризиків та перспектив удосконалення існуючої системи.

За результатами дослідження встановлено, що система управління твердими побутовими відходами м. Верхівцеве функціонує відповідно до чинних вимог законодавства, однак значною мірою орієнтована на захоронення відходів. Такий підхід не відповідає сучасним принципам циркулярної економіки та потребує поступового переходу до системи, заснованої на роздільному збиранні, сортуванні, переробленні та повторному використанні ресурсно цінних компонентів відходів.

Проведений аналіз природних умов території показав, що геологічна будова та гідрогеологічні особливості району створюють потенційні передумови для поширення забруднюючих речовин у навколишнє середовище. Наявність проникних ґрунтів підвищує ризик потрапляння компонентів фільтрату до підземних вод, а кліматичні умови степової зони можуть сприяти поширенню газоподібних забруднювачів за межі території полігону.

У ході аналізу морфологічного складу твердих побутових відходів встановлено, що найбільшу частку становлять органічні відходи, папір та полімерні матеріали. Це свідчить про значний потенціал скорочення обсягів захоронення шляхом впровадження сортування та подальшого вилучення вторинної сировини. Водночас відсутність роздільного збирання призводить

до втрати ресурсно цінних компонентів та збільшення екологічного навантаження на місце видалення відходів.

Екологічний аудит полігону дозволив встановити, що об'єкт має достатній резерв проєктної місткості та може експлуатуватися до завершення розрахункового терміну. Фактичний обсяг накопичених відходів суттєво менший за проєктну ємність, що свідчить про наявність експлуатаційного резерву. Разом із тим виявлено низку проблемних аспектів, серед яких відсутність сучасної системи збору та утилізації біогазу, недостатній контроль за утворенням і відведенням фільтрату, відсутність постійного інструментального моніторингу компонентів довкілля та обмежені фінансові можливості підприємства для проведення природоохоронних заходів.

Застосування математичних моделей LandGEM та IPCC дало можливість оцінити потенціал утворення полігонного газу та визначити необхідність впровадження систем дегазації. Використання геоінформаційних технологій QGIS дозволило виконати просторовий аналіз території та встановити, що нормативна санітарно-захисна зона частково перетинається з прилеглими територіями, що потребує посилення екологічного контролю та моніторингу стану навколишнього середовища.

У роботі також проаналізовано питання охорони праці та безпеки під час виконання робіт у сфері відходів. Встановлено, що працівники підприємств санітарної очистки зазнають впливу комплексу біологічних, хімічних, фізичних та психофізіологічних факторів. Це обумовлює необхідність дотримання вимог охорони праці, забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту, проведення регулярного навчання та вдосконалення організації виробничих процесів.

Особливу увагу приділено питанням запобігання надзвичайним ситуаціям на полігонах твердих побутових відходів. Визначено, що найбільшу небезпеку становлять пожежі, обвали мас відходів та витоки фільтрату. Для мінімізації відповідних ризиків обґрунтовано необхідність проведення

регулярного екологічного аудиту, контролю технічного стану полігону, моніторингу газоутворення та своєчасного виконання профілактичних заходів.

На підставі отриманих результатів запропоновано комплекс заходів щодо підвищення екологічної безпеки з відходами в м. Верхівцеве, який включає впровадження роздільного збирання та сортування відходів, розвиток інфраструктури для вилучення вторинної сировини, удосконалення системи екологічного моніторингу, застосування інструментів екологічного аудиту, модернізацію інженерних систем полігону та залучення фінансових механізмів розширеної відповідальності виробника.

Таким чином, результати дослідження підтвердили необхідність комплексної модернізації існуючої системи управління твердими побутовими відходами у м. Верхівцеве. Реалізація запропонованих заходів дозволить зменшити техногенне навантаження на довкілля, підвищити рівень екологічної безпеки території, скоротити обсяги захоронення відходів та забезпечити поступовий перехід до принципів сталого управління відходами відповідно до сучасних європейських вимог.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про управління відходами : Закон України від 20 червня 2022 р. № 2320-IX // Відомості Верховної Ради України. — 2022. — № 31. — Ст. 363. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20
2. Бондар О. І., Омельяненко Т. В. Трансформація системи управління відходами в Україні в контексті європейської інтеграції та вимог нового законодавства // Екологічні науки. — 2024. — № 2 (51). — С. 15–22. URL: http://ecosciences.com.ua/
3. Плугін А. А., Кисляк М. В. Екологічна специфіка та мінімізація техногенного навантаження в межах залізничних вузлів і територій «Brownfields» // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. — 2024. — Вип. 208. — С. 12–20. URL: http://cart.kart.edu.ua/
4. Сафранов В. А., Коробкова Г. В. Гідродинаміка та особливості міграції фільтрату в основах місць видалення відходів степової зони України // Український гідрометеорологічний журнал. — 2025. — № 35. — С. 78–86. URL: http://uhmj.org.ua/
5. Порядок ведення Національного переліку відходів та класифікації відходів : Постанова Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2023 р. № 1102 // Офіційний вісник України. — 2023. — № 93. — Ст. 5432. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1102-2023-п
6. Гриценко А. В., Горох М. В. Моделювання емісії біогазу на муніципальних полігонах із використанням прогностичних моделей LandGEM та IPCC // Техногенно-екологічна безпека. — 2022. — Вип. 11. — С. 34–41. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/ (Каталог періодики НБУВ)
7. Про затвердження змін до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» :

Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 23 лютого 2022 р. № 364. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0259-22

8. Трофіменко П. І., Клименко М. О. Геоінформаційне моделювання санітарно-захисних зон екологічно небезпечних об'єктів у середовищі QGIS // Сучасні геоінформаційні системи та технології в екології. — 2024. — № 8. — С. 54–61. URL: https://qgis.org/ (Матеріали платформи та науковий архів)
9. Митрясова О. П., Попов А. М. Санітарно-гігієнічна оцінка колодязної води в сільських регіонах Придніпров'я: ризики наявності нітратів та нітритів // Довкілля та здоров'я. — 2021. — № 3 (99). — С. 22–29. URL: http://www.environment.co.ua/
10. Глущенко І. В. Комплексний вплив хімічного складу питної води на стан здоров'я населення Дніпропетровської області // Медичні перспективи. — 2024. — Т. 29, № 1. — С. 112–119. URL: https://medpers.dmu.edu.ua/
11. Шульга О. В., Коваленко М. П. Концепція циркулярної економіки (9R Framework) як основа сталого розвитку та екологізації територіальних громад // Економіка та суспільство. — 2023. — № 49. URL: https://economyandsociety.in.ua/
12. Колісник М. О. Інструменти розширеної відповідальності виробника (РВВ) як фактор фінансової оптимізації муніципальних систем управління відходами // Економічний часопис-XXI. — 2023. — № 202 (3-4). — С. 44–52. URL: http://soskin.info/ea/
13. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України. Актуальний текст зі змінами та доповненнями // Відомості Верховної Ради України. — 2017. — № 34. — Ст. 361. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19
14. Попович В. В., Волошин С. П. Міжнародний досвід рекультивації територій «Brownfields» та довгострокового догляду за закритими МВВ // Екологічна безпека та природокористування. — 2024. — Вип. 4 (52). — С. 101–110. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/ (Портал наукової періодики)

15. Шевченко О. Л., Пашковський Ю. В. Гідрогеологічні ризики та вразливість першого від поверхні водоносного горизонту в межах Кам’янського району // Геологічний журнал. — 2025. — № 2. — С. 33–42. URL: http://geojournal.igs-nas.org.ua/
16. Радовський В. Б., Кравченко О. М. Застосування БПЛА та мультиспектральної зйомки для дистанційного моніторингу стану рослинності навколо місць видалення відходів // Космічна наука і технологія. — 2023. — Т. 29, № 5. — С. 67–75. URL: https://knit.space/
17. Іванов С. К., Федоренко О. І. Матричні методи оцінки екологічних ризиків функціонування об'єктів поводження з відходами помірної небезпеки // Журнал екологічного інжинірингу. — 2025. — № 1. — С. 14–23. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/ (Електронна бібліотека)
18. Никифоров В. В., Мальцева С. А. Комплексна екологічна оцінка якості питної води з колодязів громадського користування Синельниківського району // Екологічний вісник Придніпров'я. — 2022. — № 4. — С. 56–63. URL: http://evp.pgasa.dp.ua/
19. Черниш Є. Ю., Козловська Т. Ф. Ефективність застосування локальних установок зворотного осмосу для мінімізації вмісту азотистих сполук у питній воді // Водне господарство України. — 2023. — № 2. — С. 18–25. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/ (Розділ періодичних видань)
20. Регіональна програма екологічної безпеки та охорони навколишнього природного середовища Дніпропетровської області на період до 2025 року : Звітні матеріали та актуальні зміни. — Дніпро : Дніпропетровська обласна рада, 2024. — 120 с. URL: https://oblrada.dp.gov.ua/ (Офіційний вебпортал обласної ради)