

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

Кафедра екології
та захисту довкілля
Допускається до захисту
« ____ » _____ 2025 р.

Зав. кафедри _____
(підпис)

доцент, к.б.н. Петро ХІРІВСЬКИЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

(рівень вищої освіти)

на тему: «Екологічна оцінка полігону твердих побутових відходів в с.Різдвяни
Бурштинської міської ради Івано-Франківської області на стан довкілля та
розробка заходів щодо його покращення»

Виконав студент VI курсу,
групи Еко-63
спеціальності 101 «Екологія»
Тетяна Стринаглюк

Керівник: _____ Наталія ЛОПОТИЧ

Консультант: _____ Лариса ГОРДІЙЧУК

Дубляни – 2025 р.

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

Кафедра екології
Рівень вищої освіти «Магістр»
Спеціальність 101 «Екологія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри _____
к.б.н., доцент Петро ХІРІВСЬКИЙ
«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Стринаглюк Т.В.

1. Тема роботи: «Екологічна оцінка полігону твердих побутових відходів в с.Різдвяни Бурштинської міської ради Івано-Франківської області на стан довкілля та розробка заходів щодо його покращення».

Керівник кваліфікаційної роботи: Наталія ЛОПОТИЧ, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Затверджені наказом по університету від “___” ____ 20 ____ р. _____

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи

3. Вихідні дані для кваліфікаційної роботи

Літературні джерела

Методики виконання досліджень, матеріали і дані аналізів, обліків

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

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

- 1.1 Загальна характеристика полігонів твердих побутових відходів
- 1.2 Екологічна оцінка твердих побутових відходів
- 1.3 Вплив полігонів на ґрунти та водне середовище
- 1.4 Способи зниження негативного впливу сміттєзвалищ і полігонів

РОЗДІЛ 2 ОБ’ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

- 2.1. Загальна характеристика полігону у с. Різдвяни
- 2.2 Методика прогнозування та використання даних про стан довкілля
- 2.3. Методика екологічного контролю за експлуатацією полігону

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

- 3.1. Гідрохімічна характеристика фільтраційних вод

3.2. Стан природної рослинності звалища та прилеглої території

3.3. Вплив полігону на стан ґрунтів

3.4. Ефективність рекультивації полігону

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ

4.1 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2. Аналіз стану охорони праці й цивільної оборони полігону

4.3. Захист населення від наслідків надзвичайних ситуацій

Зробити висновки за результатами проведених досліджень

Сформувати список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу (подається конкретний перерахунок аркушів з вказуванням їх кількості) Світлина, рисунки.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3	Лопотич Н.Я., доцент кафедри екології		
4	Гордійчук Л.М., доцент кафедри інженерної механіки		

7. Дата видачі завдання 10 вересня 2024 р.
Календарний план

№п/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	При-мітка
1	Написання вступу та розділу «Огляд літератури»	10.09.24р. – 06.02.25р.	
2	Написання розділу «Об'єкт, умови, й методика досліджень»	07.02.25р. – 31.05.25р.	
3	Написання розділу «Результати досліджень»	01.06.25р. – 30.09.25р.	
4	Написання розділу «Охорона праці та захист населення», підготовка висновків, оформлення бібліографічного списку	01.10.25р. – 10.12.25р.	

Студент _____
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Наталія ЛОПОТИЧ
(підпис)

УДК 628.4.04:502/.504(477.86)

«Екологічна оцінка полігону твердих побутових відходів в с.Різдвяни Бурштинської міської ради Івано-Франківської області на стан довкілля та розробка заходів щодо його покращення». Стринаглюк Т.В. Кваліфікаційна робота. Кафедра екології та захисту довкілля. Дубляни, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького 2025.

70ст. текст. част., 18 табл., 47 джерел, 4 додатки

У результаті проведених досліджень було встановлено, що полігон ТПВ у с. Різдвяни є джерелом комплексного техногенного впливу на довкілля. Аналіз структури полігону, стану інженерних систем та екологічних параметрів дав змогу виявити закономірності формування негативних процесів і оцінити ефективність вже проведених рекультиваційних заходів.

Аналіз стану охорони праці та цивільного захисту виявив низку проблем, серед яких недостатня забезпеченість засобами індивідуального захисту, низька частота інструктажів, відсутність резервної системи оповіщення та недостатня готовність населення до реагування на надзвичайні ситуації.

Пропозиції: підсилення технічної інфраструктури полігону, впровадження системи очищення фільтраційних вод, створення автоматизованої системи екологічного моніторингу, підвищення рівня охорони праці на полігоні, подальша рекультивація та реабілітація території, розроблення довгострокової програми модернізації полігону.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1. Загальна характеристика полігонів твердих побутових відходів.....	8
1.2. Екологічна оцінка твердих побутових відходів	10
1.3. Вплив полігонів на ґрунти та водне середовище	14
1.4. Способи зниження негативного впливу сміттєзвалищ і полігонів	19
РОЗДІЛ 2. ОБ’ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	24
2.1. Загальна характеристика полігону у с. Різдвяни	24
2.2. Методика прогнозування та використання даних про стан довкілля	30
2.3. Методика екологічного контролю за експлуатацією полігону	38
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	43
3.1. Гідрохімічна характеристика фільтраційних вод	43
3.2. Стан природної рослинності звалища та прилеглої території	47
3.3. Вплив полігону на стан ґрунтів	52
3.4. Ефективність рекультивації полігону	58
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ	63
4.1. Безпека в надзвичайних ситуаціях	63
4.2. Аналіз стану охорони праці й цивільної оборони полігону	64
4.3. Захист населення від наслідків надзвичайних ситуацій	68
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
ДОДАТКИ.....	80

ВСТУП

Проблема накопичення твердих побутових відходів (ТПВ) та їхнього екологічно безпечного видалення належить до найактуальніших викликів сучасності. Зростання обсягів споживання, урбанізація, зміна структури відходів і недостатня ефективність системи їх перероблення призводять до формування великих полігонів, які нерідко функціонують за застарілими технологічними схемами. У таких умовах полігони ТПВ стають осередками техногенного навантаження, що охоплює забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря, зміну природної рослинності та формування довгострокових екологічних ризиків. Особливо складною ситуація є для сільських громад, де полігони часто не мають сучасних систем ізоляції, дегазації та очищення фільтраційних вод, що підвищує ризики розповсюдження токсичних речовин у довкіллі.

Полігон ТПВ у с. Різдвяни Бурштинської міської територіальної громади є типовим об'єктом місцевої інфраструктури, який експлуатується протягом тривалого часу та поступово перетворився на значний осередок локального екологічного впливу.

У таких умовах важливим завданням є проведення систематичного екологічного моніторингу полігону, аналіз характеристик фільтраційних вод і ґрунтів, оцінювання стану природної рослинності, визначення ступеня техногенного навантаження та розроблення рекомендацій щодо зниження негативного впливу. Важливим аспектом дослідження є також аналіз технічного стану полігону, ефективності рекультиваційних заходів та безпеки в умовах можливих надзвичайних ситуацій. Урахування цих складових дозволяє комплексно оцінити екологічний стан території та розробити практичні пропозиції щодо її відновлення.

Мета роботи - комплексна еколого-гірохімічна оцінка полігону твердих побутових відходів у с. Різдва, аналіз його впливу на ґрунти, водні ресурси та рослинність, а також визначення ефективності рекультиваційних заходів і рівня техногенної безпеки.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких **завдань**:

- охарактеризувати загальний стан полігону та його інженерну інфраструктуру;
- провести аналіз складу та властивостей фільтраційних вод;
- здійснити ґрунтово-екологічні дослідження;
- оцінити стан природної рослинності;
- визначити рівень техногенного навантаження;
- проаналізувати показники безпеки, охорони праці та цивільного захисту;
- розробити пропозиції щодо підвищення екологічної стійкості та безпечності полігону.

Об'єктом дослідження є полігон твердих побутових відходів у с. Різдва.

Предмет дослідження – стан ґрунтів, фільтраційних вод, рослинності та техногенні процеси, що формують екологічне навантаження.

Методи дослідження включають аналіз літературних джерел, польові екологічні обстеження, гідрохімічні та ґрунтові лабораторні дослідження, методи картографування, розрахункові показники екологічного ризику та індексний аналіз.

Практичне значення роботи полягає в тому, що результати дослідження можуть бути використані органами місцевого самоврядування для планування природоохоронних заходів, підприємствами – для модернізації полігону, екологічними службами – для покращення системи моніторингу, а також можуть слугувати науковою базою для подальших досліджень рекультивації порушених територій.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Загальна характеристика полігонів твердих побутових відходів

Полігони твердих побутових відходів (ТПВ) є основною формою видалення сміття в Україні. Вони забезпечують ізоляцію відходів від навколишнього середовища та населення, проте часто не відповідають сучасним екологічним і санітарним вимогам. Більшість полігонів створювалися ще у 1970–1990-х роках, коли не існувало чітких норм щодо гідроізоляції, збору фільтрату та уловлювання біогазу. Унаслідок цього вони стали джерелами забруднення повітря, ґрунтів і підземних вод.

Сучасний полігон – це інженерна споруда, що має багат шарову систему ізоляції, дренаж фільтраційних вод, систему дегазації та рекультиваційний шар. Основними критеріями його функціонування є безпечне розміщення відходів, мінімізація негативного впливу на природне середовище та подальше використання території після закриття. Для ефективної експлуатації полігону необхідно дотримуватися санітарно-захисних зон, проводити моніторинг стану довкілля та здійснювати регулярний екологічний контроль [28].

В Україні, за даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, функціонує понад 5,5 тис. полігонів і сміттєзвалищ, з яких понад 30 % експлуатуються з порушеннями норм. Серед основних проблем – відсутність систем збору біогазу, протікання фільтрату у ґрунтові води, самозаймання сміття, перевищення проєктних потужностей і порушення рекультиваційних робіт після закриття полігонів.

Для вирішення цих проблем в Україні поступово впроваджуються сучасні підходи до поводження з відходами, зокрема сортування, компостування, створення регіональних полігонів нового типу, які відповідають вимогам Директиви 1999/31/ЄС. Перспективним напрямом є перехід до комплексної

системи управління відходами, де полігони розглядаються як кінцева ланка після максимальної переробки ресурсно-цінних компонентів.

Таблиця 1.1 - Основні параметри функціонування полігонів ТПВ в Україні

№	Показник	Середнє значення	Екологічне значення
1	Кількість діючих полігонів і сміттєзвалищ	≈ 5500	Переважаю переповнені, потребують модернізації
2	Частка полігонів, що відповідають екологічним нормам	~ 15 %	Низький рівень екологічної безпеки
3	Середня площа полігону	10–20 га	Значні території, впливають на ландшафт
4	Наявність систем збору фільтрату	< 20 % полігонів	Забруднення підземних вод
5	Наявність систем уловлювання біогазу	< 10 % полігонів	Викиди метану в атмосферу
6	Кількість полігонів із перевищенням потужності	понад 35 %	Загроза зсувів, займання, руйнування дамб

Останніми роками питання удосконалення полігонів ТПВ набуває все більшої актуальності в Україні через інтеграцію у європейський екологічний простір. Відповідно до Національної стратегії управління відходами до 2030 року, передбачається поступове закриття старих полігонів, що не відповідають екологічним нормам, та створення регіональних центрів переробки і захоронення відходів із сучасними системами захисту довкілля. Це передбачає впровадження принципів ієрархії управління відходами – запобігання утворенню, повторне використання, переробка, утилізація, лише потім – захоронення.

Особливу увагу приділяють створенню системи роздільного збору відходів, що суттєво зменшує навантаження на полігони. Практика показує, що

навіть часткове сортування на рівні домогосподарств дозволяє скоротити обсяг відходів, які підлягають захороненню, на 30–40 %. Крім того, впровадження станцій компостування та сміттесортувальних ліній дає змогу вилучати вторинну сировину й мінімізувати ризики утворення токсичних викидів [23].

Стан полігонів в Україні залишається проблемним: значна їх частина не має ліній збору біогазу, що призводить до викидів метану – парникового газу, потенціал глобального потепління якого у 28 разів вищий за діоксид вуглецю. Також відсутність герметизації дна спричиняє інфільтрацію фільтрату в підземні води, а недостатня система контролю за рівнем заповнення збільшує ризик зсувів і самозаймань. На багатьох полігонах накопичуються мільйони тонн відходів, які продовжують чинити тривалий кумулятивний вплив на екосистеми.

Водночас позитивні приклади демонструють полігони у містах Львів, Хмельницький, Івано-Франківськ, де розпочато реконструкцію об'єктів із використанням геомембранних екранів, біогазових установок та систем очищення фільтрату. Такі технології знижують екологічну небезпеку і створюють передумови для подальшого переходу до полігонів нового типу – екополігонів, де відходи розглядаються як ресурс для енергетичного й матеріального відновлення.

1.2. Екологічна оцінка твердих побутових відходів

Тверді побутові відходи (ТПВ) є однією з наймасовіших категорій антропогенних відходів, що безпосередньо впливають на якість компонентів навколишнього середовища. Їх екологічна оцінка базується на аналізі кількісного утворення, морфологічного складу, токсикологічних властивостей компонентів, а також рівня небезпеки для ґрунтів, водних ресурсів і атмосфери. Зростання урбанізації, споживчого попиту та промислового виробництва

спричинює постійне збільшення обсягів ТПВ – у середньому в Україні утворюється понад 10 млн тонн на рік, із яких лише 6–7 % потрапляє на переробку, решта – захоронюється на полігонах і звалищах.

Побутові відходи характеризуються високою неоднорідністю і значною часткою органічних речовин, що зазнають біохімічного розкладання з утворенням метану, діоксиду вуглецю, аміаку, фільтрату, насиченого солями важких металів. Внаслідок формуються вторинні джерела забруднення: токсичні газові викиди, забруднення підземних вод, деградація ґрунтового покриву. Екологічна небезпека полігонів зумовлена також наявністю полімерних матеріалів, які розкладаються протягом сотень років, виділяючи мікропластик і токсичні речовини [15].

Таблиця 1.2 - Морфологічний склад ТПВ в Україні (усереднені дані)

№	Компонент складу ТПВ	Частка, %	Екологічна характеристика впливу
1	Органічні рештки (харчові, садові, біовідходи)	40–45	Джерело метану та фільтрату; спричиняють забруднення вод і повітря
2	Папір і картон	10–12	Біорозкладні, можуть бути використані як вторинна сировина
3	Пластмаси	12–15	Нерозкладні, накопичують мікропластик; токсичні при спалюванні
4	Скло	7–9	Хімічно інертне, підлягає переробці
5	Метали	3–5	Висока вторинну цінність, токсичність при корозії
6	Текстиль, гума, шкіра	4–6	Довготривало розкладаються, утворюють шкідливі продукти розпаду
7	Будівельні й інертні матеріали	8–10	Малотоксичні, зменшують корисний об'єм полігонів
8	Небезпечні відходи (батареї, лампи, медикаменти)	0,3–0,5	Містять ртуть, кадмій, свинець – I–II клас небезпеки

Важливим показником оцінки є морфологічний склад ТПВ, який відображає не лише структуру споживання, а й потенціал вторинної сировини (табл. 1.2). Найбільшу частку становлять харчові відходи, папір, пластмаси, скло, метали, текстиль, будівельне сміття.

Високий вміст органічних решток призводить до інтенсивного утворення фільтрату, особливо під час опадів, що створює навантаження на гідросферу. Разом із цим у складі ТПВ виявляють сполуки важких металів (свинець, кадмій, ртуть), поліароматичні вуглеводні, залишки фармацевтичних препаратів, побутової хімії (III–IV класів небезпеки).

Для підвищення екологічної безпеки необхідно здійснювати систематичний моніторинг хімічного складу фільтратів і біогазу, визначати рівень забруднення прилеглих територій та впроваджувати роздільне збирання відходів. Екологічна оцінка полігону дає змогу встановити масштаби його впливу на довкілля та розробити рекомендації для рекультивації або модернізації сміттєзвалища.

Сучасна екологічна оцінка ТПВ вимагає врахування не лише їх фізико-хімічного складу, а й екотоксикологічних властивостей. У складі відходів дедалі частіше виявляють синтетичні полімери, залишки побутової хімії, фармацевтичні препарати, батарейки та електронні елементи, які при деградації утворюють стійкі органічні забруднювачі. Ці сполуки є канцерогенними та біоакумулюються у трофічних ланцюгах, створюючи потенційну загрозу для здоров'я людини.

Додатковим чинником екологічного ризику є неконтрольоване змішування різних типів відходів. Потрапляння медичних, хімічних і промислових решток до загального потоку побутового сміття призводить до утворення токсичних сполук під час гниття або горіння.

Зокрема, спалювання пластикової тари та гумових виробів супроводжується викидом хлористого водню, сірководню, фенолів і діоксинів.

Такі викиди впливають на атмосферне повітря, спричиняють кислотні дощі й підкислення ґрунтів.

Для комплексної оцінки рівня небезпеки побутових відходів використовується індекс екологічної токсичності, який враховує концентрацію небезпечних речовин, тривалість їх розкладу та ступінь біоаккумуляції. За цим показником більшість українських полігонів належить до категорії підвищеного екологічного ризику (III клас небезпеки). Це вимагає розроблення системи постійного моніторингу складу фільтратів і газових викидів, а також регулярного контролю за прилеглими ґрунтовими та водними об'єктами [2].

Крім того, науковці відзначають змінність морфологічного складу відходів залежно від сезону. У літній період збільшується частка органічної фракції, що активізує процеси бродіння та газоутворення, тоді як узимку зростає кількість інертних матеріалів і пакувальних відходів. Такі коливання впливають на інтенсивність утворення фільтрату, температуру гниття та мікробіологічний склад відходів, що потребує адаптації технологій утилізації.

Таблиця 1.3 - Орієнтовні показники токсичності та біорозкладання компонентів ТПВ

№	Компонент	Тривалість розкладу, років	Потенційно небезпечні речовини	Клас небезпеки	Екологічний вплив
1	Поліетиленові пакети	100–200	Пластифікатори, мікропластик	IV	Забруднення ґрунтів і водойм мікропластиком
2	Алюмінієві банки	80–100	Металеві іони, оксиди	III	Токсичний вплив на мікроорганізми ґрунту
3	Батарейки, елементи живлення	300–500	Ртуть, кадмій, нікель	I	Високотоксичні, забруднення ґрунтів і вод
4	Скляні	>1000	—	IV	Механічна

	вироби				небезпека, але хімічно інертні
5	Органічні рештки	0,5–2	Метан, аміак, сірководень	III	Біогенне забруднення, утворення фільтрату
6	Папір, картон	1–3	–	IV	Біорозкладні, можливе повторне використання
7	Медичні відходи в ТПВ	1–5	Антибіотики, мікроорганізми	II	Біологічна небезпека, ризик інфекцій

Екологічна оцінка ТПВ є важливою передумовою прийняття рішень щодо оптимальної технології їх оброблення. Вона дозволяє визначити не лише кількісні показники утворення, а й якісні характеристики, що формують ступінь екологічної небезпеки полігонів. Подальше впровадження системного моніторингу, лабораторного контролю та екологічного аудиту на об'єктах зберігання відходів сприятиме зниженню ризиків забруднення довкілля та підвищенню ефективності державної політики у сфері управління відходами.

1.3. Вплив полігонів на ґрунти та водне середовище

Полігони твердих побутових відходів становлять один із найпотужніших джерел локального екологічного навантаження на ґрунтово-гідрологічні системи. У процесі розкладання органічної фракції відходів формується фільтрат – складна багатокомпонентна рідина, насичена мінеральними солями, органічними сполуками, важкими металами та мікроорганізмами. Без належної гідроізоляції фільтрат проникає у ґрунтові горизонти, спричиняючи підвищення концентрацій токсичних речовин, зменшення родючості та деградацію структури ґрунту.

Вплив полігонів на водне середовище проявляється у зміні фізико-хімічних показників поверхневих і підземних вод – зростанні мінералізації, вмісту амонійного азоту, сульфатів, хлоридів, фенолів та нітратів. У разі потрапляння фільтрату до водоносних горизонтів відбувається порушення природної рівноваги гідросфери, що створює небезпеку для водопостачання та біоценозів водойм. Особливо уразливими є приповерхневі ґрунтові води на глибинах до 5–10 метрів, які часто не мають природного захисного шару водотривких порід.

На ділянках навколо полігонів спостерігається зниження вмісту гумусу, погіршення агрофізичних властивостей ґрунтів і накопичення токсичних елементів – кадмію, свинцю, міді, цинку, нікелю. Довготривале забруднення спричиняє порушення мікробіологічної активності, зменшення кількості азотофіксуючих бактерій і загибель дощових черв'яків, що призводить до погіршення природної самоочисної здатності ґрунту. Біохімічні процеси у товщі відходів супроводжуються виділенням метану, який може розчинятися у фільтраті та створювати вибухонебезпечні ситуації [25].

У багатьох полігонах України спостерігаються схожі закономірності впливу: навколишні ґрунти мають перевищення гранично допустимих концентрацій важких металів у 2–5 разів, а концентрації нітратів у колодязях поблизу звалищ часто перевищують санітарні норми. Ці явища свідчать про відсутність належного інженерного захисту, неефективність дренажних систем і недосконалість контролю за станом довкілля.

Таблиця 1.4 - Показники впливу полігонів твердих побутових відходів на ґрунти та водне середовище (усереднені дані для полігонів Західної України)

№	Показник	Фонове значення	Значення поблизу	Перевищення норми	Екологічне значення
---	----------	-----------------	------------------	-------------------	---------------------

			полігону		
1	Вміст свинцю у ґрунті, мг/кг	10–15	45–60	у 3–4 рази	Токсичність, порушення ферментативних процесів рослин
2	Вміст кадмію у ґрунті, мг/кг	0,1–0,2	0,5–0,8	у 3–5 разів	Акумуляція у рослинах, небезпека для здоров'я людини
3	Вміст нітратів у підземних водах, мг/л	10–20	60–80	у 3–4 рази	Погіршення якості питної води
4	Хімічне споживання кисню (ХСК), мгО ₂ /л	20–40	150–200	у 4–5 разів	Органічне забруднення водного середовища
5	Біохімічне споживання кисню (БСК ₅), мгО ₂ /л	5–10	50–70	у 6–7 разів	Розвиток анаеробних процесів
6	Електропровідність води, мкСм/см	300–400	1200–1500	у 3–4 рази	Підвищення мінералізації
7	Реакція ґрунтового розчину (рН)	6,5–7,0	7,5–8,0	–	Лужна реакція сприяє мобільності металів

Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що вплив полігонів ТПВ на ґрунти та водне середовище є системним і довготривалим. Він потребує постійного моніторингу, впровадження гідроізоляційних бар'єрів, збору фільтрату та створення санітарно-захисних зон, які забезпечують екологічну стабільність прилеглих територій.

Дослідження останніх років свідчать, що ступінь забруднення ґрунтів і водних ресурсів поблизу полігонів залежить не лише від тривалості експлуатації, а й від геологічної будови території, глибини залягання ґрунтових вод, інтенсивності опадів та морфологічного складу відходів. У районах із

піщаними або супіщаними ґрунтами, які мають високу фільтраційну здатність, токсичні речовини з фільтрату швидше проникають у водоносні горизонти. На важких суглинках і глинистих породах, навпаки, спостерігається поверхнєве накопичення фільтрату, що спричиняє локальне засолення та вторинне заболочування територій [6].

Особливо небезпечним є процес міграції важких металів. Кадмій, цинк, свинець та мідь активно зв'язуються з органічною речовиною ґрунту, але при зміні кислотності (підлуженні середовища) вони переходять у розчинну форму та стають доступними для рослин. Це призводить до їх потрапляння у харчовий ланцюг і може викликати хронічні інтоксикації у людей і тварин. У зоні впливу полігонів часто спостерігається підвищений вміст металів у городніх культурах – моркві, буряках, цибулі, капусті, що вирощуються на прилеглих земельних ділянках.

Водночас на прилеглих водоймах і малих річках фіксують зростання біогенних елементів (азот, фосфор), які стимулюють евтрофікацію – надмірний розвиток водоростей і «цвітіння» води. Це призводить до зменшення вмісту розчиненого кисню, загибелі риби та порушення природного гідробалансу. Зокрема, в околицях полігонів Івано-Франківської, Львівської та Тернопільської областей виявлено перевищення концентрації амонійного азоту у воді в 5–8 разів порівняно з фоновими значеннями.

Крім того, сучасні дослідження засвідчують появу у фільтраційних водах залишків фармацевтичних препаратів, синтетичних миючих засобів, гормональних сполук, які не розкладаються природним шляхом і мають ендокриноруйнівну дію. Такі речовини є новими забруднювачами, які не завжди враховуються у стандартних програмах моніторингу, однак становлять значну загрозу для біорізноманіття водойм.

Таблиця 1.5 - Додаткові показники екологічного впливу полігонів на компоненти довкілля (на прикладі Карпатського регіону)

№	Показник	Фонове значення	Поблизу полігону	Перевищення норми	Екологічна характеристика
1	Амонійний азот, мг/л	0,2–0,4	1,5–3,2	у 5–8 разів	Погіршення якості води, зростання біогенних навантажень
2	Фосфати, мг/л	0,05–0,1	0,6–0,9	у 6–9 разів	Евтрофікація водойм, розвиток водоростей
3	Вміст цинку у ґрунті, мг/кг	20–30	90–120	у 3–4 рази	Токсичний вплив на рослини та мікрофлору
4	Вміст міді у ґрунті, мг/кг	15–20	60–75	у 3–4 рази	Пригнічення росту культурних рослин
5	Вміст заліза у воді, мг/л	0,3–0,5	2,5–4,0	у 5–7 разів	Зміна кольору й смаку води, зниження кисню
6	Сухий залишок води, мг/л	400–500	1500–1800	у 3–4 рази	Підвищена мінералізація, вторинне засолення ґрунтів
7	Мікропластик, частинки/л	0–10	150–300	–	Новий тип забруднення, ризик для гідробіонтів

Поглиблений моніторинг засвідчує, що негативний вплив полігонів поширюється на відстань до 500–700 метрів від межі звалища, а в умовах рельєфу з ухилом – навіть на кілька кілометрів униз за течією підземних вод. Тому при проєктуванні нових полігонів обов’язковим є проведення інженерно-геологічних і гідрогеохімічних досліджень для визначення напрямків міграції забруднювачів та вибору безпечного місця розміщення.

1.4. Способи зниження негативного впливу сміттєзвалищ і полігонів

Проблема мінімізації екологічного навантаження від полігонів побутових відходів є однією з ключових у сфері охорони навколишнього середовища. Зменшення негативного впливу можливе завдяки впровадженню комплексу природоохоронних, інженерно-технологічних та організаційних заходів, спрямованих на зниження утворення фільтрату, запобігання забрудненню повітря, ґрунтів і вод, а також на поступове відновлення територій після завершення експлуатації полігонів.

Одним із найефективніших способів є вдосконалення конструкції полігонів відповідно до екологічних вимог ЄС. Це передбачає облаштування гідроізоляційного шару з геомембран і бентонітових матів, системи збору й очищення фільтрату, а також мережі дегазації для відведення метану. Такі заходи суттєво знижують ризик потрапляння шкідливих речовин у підземні води та атмосферу. Важливу роль відіграє і контроль за розміщенням відходів: їх ущільнення, поетапне перекриття інертними матеріалами, формування робочих карт і дотримання технологічних карт операцій зменшують утворення біогазу та кількість неприємних запахів [20].

У практиці поводження з відходами дедалі більшого значення набуває перехід від полігонного захоронення до концепції Zero Waste, яка орієнтується на скорочення обсягів захоронення за рахунок сортування, повторного використання й переробки матеріалів. Впровадження роздільного збирання відходів у населених пунктах дає змогу вилучати до 60 % вторинних ресурсів і зменшувати навантаження на полігони. Перспективним напрямом є також виробництво RDF-палива, компостування органічних решток і створення сміттесортувальних ліній.

Особливе значення має рекультивація полігонів, що досягли меж експлуатації. Вона включає технічний етап (планування схилів, нанесення ізоляційного шару, облаштування дренажу, дегазаційних свердловин) і біологічний етап (нанесення родючого шару, засівання трав'янистими

культурами, створення зелених насаджень). Ці заходи сприяють стабілізації екосистеми, запобігають ерозійним процесам і відновлюють ландшафтну цінність території [1].

У системі екологічного управління полігонами важливою є автоматизація моніторингу стану довкілля – встановлення сенсорних станцій для вимірювання температури, вологості, складу біогазу, рівня фільтрату та показників підземних вод. Отримані дані дозволяють оперативно реагувати на зміни екологічного стану об'єкта, прогнозувати ризики та своєчасно впроваджувати профілактичні заходи.

Таблиця 1.6 - Екологічна ефективність основних технологічних заходів щодо зменшення впливу полігонів ТПВ

№	Захід	Суть реалізації	Очікуваний екологічний ефект
1	Гідроізоляція основи полігону	Використання геомембран, глинистих екранів, дренажних	Запобігання фільтрації шкідливих речовин у ґрунтові води

		систем	
2	Система збору й очищення фільтрату	Встановлення дренажних колекторів, біоочисних установок	Зниження вмісту токсичних компонентів у водному середовищі
3	Дегазація полігону	Монтаж газозбірних свердловин і факельних систем	Скорочення викидів метану, запобігання вибухам
4	Рекультивація території	Нанесення родючого шару, озеленення, біологічна стабілізація	Відновлення ландшафту, зниження ерозії
5	Роздільне збирання та сортування відходів	Сортувальні станції, контейнери для різних фракцій	Зменшення кількості відходів, що підлягають захороненню
6	Компостування органічної фракції	Біотермічне або механічно-біологічне перетворення	Отримання добрив, зменшення біогенних навантажень
7	Моніторинг стану полігону	Автоматичні датчики, лабораторний контроль проб	Своєчасне виявлення забруднення, попередження аварій

Застосування наведених заходів дає змогу суттєво скоротити екологічні ризики, підвищити рівень безпеки полігонів і наблизити систему поводження з відходами до європейських екологічних стандартів. Комплексна модернізація полігонів у поєднанні з розвитком інфраструктури переробки є основою сталого управління відходами в Україні.

У сучасних умовах одним із пріоритетних напрямів екологічної політики є інтегроване управління відходами, що передбачає системне скорочення обсягів сміття, вдосконалення інфраструктури та впровадження інноваційних технологій на полігонах. Особливої уваги потребують старі сміттєзвалища, які експлуатуються десятиліттями без належного технічного нагляду. Для таких об'єктів доцільним є проведення санаційних заходів, включно з дегазацією, переформуванням тіл полігонів, рекультивацією порушених земель [47].

Одним із перспективних методів зниження шкідливого впливу є енергетична утилізація біогазу, який утворюється під час анаеробного

розкладання органічної фракції. Система збору, очищення та спалювання метану на газогенераторних установках дозволяє не лише зменшити парникові викиди, а й отримувати електричну енергію для власних потреб полігону чи місцевої громади. На полігонах у Львові, Івано-Франківську, Полтаві та Хмельницькому біогаз використовується як джерело тепла або електроенергії.

Важливим аспектом є очищення фільтрату, що накопичується в нижніх шарах відходів. Ефективними є мембранні технології (ультрафільтрація, зворотний осмос), біохімічне очищення у біореакторах, застосування природних сорбентів – цеолітів, торфу, активованого вугілля, які забезпечують зниження вмісту органічних речовин, азотних сполук, важких металів до допустимих концентрацій. Застосовуються гідроботанічні системи очищення, де фільтрат пропускається через біополя, засаджені очеретом і рогозом, що додатково сприяє самоочищенню.

У європейській практиці впроваджується концепція ландфілл-майнінгу – розкриття старих полігонів із метою вилучення корисних матеріалів (метали, інертні речовини) і зменшення об'єму відходів, що дозволяє рекультивувати територію, повернути у використання значні площі деградованих земель [25].

Для зниження негативного впливу полігонів важливою є система екологічного моніторингу. Вона має охоплювати спостереження за рівнем фільтрату, складом біогазу, температурою тіл полігону, станом атмосферного повітря й підземних вод. Дані повинні інтегруватися у єдину інформаційну базу з доступом для громад. Така цифрова екологічна система вже створюється у рамках Національної стратегії управління відходами до 2030 року.

Таблиця 1.7 - Сучасні технології зниження екологічного навантаження полігонів ТПВ

№	Технологія / захід	Коротка характеристика	Основний екологічний
---	--------------------	------------------------	----------------------

			ефект
1	Біогазові енергетичні установки	Збір, очищення, використання метану для виробництва електроенергії	Скорочення викидів парникових газів, енергетична самодостатність
2	Мембранні системи очищення фільтрату	Використання зворотного осмосу або нанофільтрації	Видалення важких металів і органічних токсикантів
3	Біологічне очищення на біоплато	Природна фільтрація через рослинний шар (очерет, рогіз)	Біоаккумуляція забруднювачів, зниження БСК та ХСК
4	Рекультивация з використанням біоматів	Засівання травами на основі біополімерних матів	Відновлення родючості ґрунту, стабілізація схилів
5	Ландфілл-майнінг	Розкриття старих полігонів для вилучення вторинної сировини	Зменшення площі захоронень, повторне використання ресурсів
6	Автоматизований екологічний моніторинг	Встановлення сенсорів для контролю параметрів середовища	Оперативне реагування на аварійні ситуації
7	Впровадження сортувальних станцій	Механічне розділення відходів перед захороненням	Зменшення навантаження на полігон, збільшення переробки

Оптимальна стратегія передбачає поетапну модернізацію існуючих полігонів, скорочення захоронення органічних фракцій, розширення системи переробки та просвітницьку роботу з населенням щодо сортування сміття. Інтеграція цих елементів дозволяє досягти сталого розвитку у сфері поводження з відходами, мінімізувати ризики для довкілля й здоров'я.

РОЗДІЛ 2. ОБ’ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Загальна характеристика полігону у с. Різдваїни

Полігон твердих побутових відходів у селі Різдваїни розташований у межах Бурштинської міської ради Івано-Франківської області, на відстані близько 3 км на південний схід від центральної частини міста Бурштин. Територія полігону належить до зони передкарпатських рівнин і характеризується помірно континентальним кліматом з достатнім зволоженням, що суттєво впливає на гідрологічні процеси та формування фільтрату. Середньорічна температура становить $+8,2^{\circ}\text{C}$, річна кількість опадів – близько 750–800 мм, з максимумом у літній період.

Рельєф місцевості слабохвилястий, з невеликими схилами у південному напрямку, що зумовлює природний стік поверхневих і ґрунтових вод у сторону балки, яка впадає до річки Гнилої Липи. Абсолютна висота території полігону коливається в межах 260–275 м над рівнем моря. Ґрунти переважно дерново-суглинкові, середньої потужності, з невисокою водопроникністю, що частково стримує вертикальну міграцію фільтрату. Однак відсутність герметизаційного шару на дні полігону створює ризик забруднення верхніх водоносних горизонтів.

Полігон займає площу близько 6,3 га (див. табл. 2.1), використовується з початку 2000-х років для захоронення твердих побутових відходів міста Бурштин та прилеглих населених пунктів. За період експлуатації накопичено понад 250 тис. м^3 відходів, серед яких переважають органічна фракція, пластмаси, папір, скло та будівельні залишки. Висота тіл відходів досягає 10–12 метрів, спостерігається нерівномірне ущільнення масиву. Система інженерного захисту є частково сформованою: на полігоні відсутні повноцінні дренажні труби для збору фільтрату та система дегазації. Відходи розміщуються

пошарово з періодичним пересипанням інертним матеріалом (грунтом, золошлаками), однак щільність укладання є недостатньою.

Поруч із полігоном розташовані сільськогосподарські угіддя та лісосмуга, що частково виконує бар'єрну функцію. Санітарно-захисна зона полігону становить близько 300 м, однак на південному заході вона скорочується до 150–200 м унаслідок розширення площі складування. Це створює потенційну загрозу для ґрунтів і водних об'єктів, особливо у весняно-літній період, коли зростає кількість фільтрату та випаровування метану. Підземні води залягають на глибинах 4–6 м, що підвищує ризик їх забруднення при відсутності гідроізоляційного екрану.

Таблиця 2.1 - Основні характеристичні показники полігону ТПВ у с. Різдвяни

№	Показник	Одиниця виміру	Значення	Примітка
1	Географічне розташування	—	с. Різдвяни, Бурштинська МР, Івано-Франківська обл.	3 км від м. Бурштин
2	Площа полігону	га	6,3	у тому числі 3,8 га — активна зона
3	Період експлуатації	роки	з 2000-х донині	—
4	Обсяг накопичених відходів	тис. м³	≈250	дані на 2024 р.
5	Середня висота тіл полігону	м	10–12	нерівномірна
6	Тип відходів	—	побутові, змішані	переважно органічна фракція
7	Система збору фільтрату	—	відсутня	природне фільтрування
8	Система дегазації	—	частково відсутня	лише природна вентиляція
9	Глибина підземних вод	м	4–6	високий ризик забруднення
10	Відстань до населеного пункту	км	3	с. Різдвяни — найближче

1 1	Стан санітарно-захисної зони	м	150–300	порушення на окремих ділянках
--------	------------------------------	---	---------	-------------------------------

У структурі полігону виділяються робочі карти, зона тимчасового складування, під'їзна дорога з твердим покриттям та охоронна будівля. Площа активної експлуатації становить близько 3,8 га, решта території використовується як технічна зона. На момент проведення оцінки (2024–2025 рр.) полігон перебуває у стані часткового заповнення, наближеного до проєктної потужності, тому питання рекультивації та будівництва нового регіонального полігону є стратегічно важливим для Бурштинської громади.

Сукупність отриманих даних свідчить про необхідність модернізації полігону, створення систем збору й очищення фільтрату, облаштування дегазаційних свердловин та розроблення проєкту технічної рекультивації. Комплекс таких заходів забезпечить зниження негативного впливу на довкілля та відповідність полігону сучасним екологічним стандартам.

Додатковий аналіз умов функціонування полігону у с. Різдваєни показує, що його розташування в межах передкарпатської ландшафтної зони визначає специфіку екологічних процесів, які відбуваються на території об'єкта. Підвищена кількість атмосферних опадів у теплий період року сприяє інтенсивному утворенню фільтрату та його міграції по профілю ґрунтової товщі. Водночас температурні коливання для цього регіону – від -15°C взимку до $+30^{\circ}\text{C}$ влітку – впливають на швидкість біодеструкції органічних відходів і, відповідно, на динаміку газоутворення.

Геологічні умови полігону ускладнюються наявністю у підґрунті алювіальних суглинків та лесових відкладів, що мають неоднорідну проникність. Це зумовлює нерівномірний розподіл фільтрату та збільшення ризику локальних «лінз» забруднення, які можуть переміщуватись у напрямку природного схилу. З огляду на те, що полігон розташований у зоні водозбору малих приток річки Гнила Липа, порушення гідрогеологічної рівноваги може

позначитися на якості поверхневих і джерельних вод у межах Бурштинської громади.

Стан тіла полігону свідчить про нерівномірне ущільнення відходів, що призводить до періодичних осідань та утворення тріщин, через які відбувається інтенсивніший вихід біогазу в атмосферу. Наявність ділянок із надмірним накопиченням метану створює потенційно небезпечні умови, зокрема можливість самозаймання. Розширення робочих карт полігону протягом останніх років призвело до збільшення площі складування та часткового зменшення ширини санітарно-захисної зони, що порушує чинні санітарні норми.

Важливим аспектом є транспортна інфраструктура полігону. Під'їзна дорога, хоч і має тверде покриття, значною мірою зношена через інтенсивне рухання спецтехніки та вантажних автомобілів. Під час весняних та осінніх дощів спостерігаються підтоплення окремих ділянок, що ускладнює доступ для техніки та підвищує ризик ерозії схилів. Відсутність облаштованої вагової станції та системи контролю приймання відходів призводить до труднощів у визначенні фактичних обсягів захоронення.

Також потребує уваги питання стану огороження та охорони території. Місцями огорожа пошкоджена, це створює ризики для потрапляння сторонніх осіб і тварин, які можуть переносити забруднювальні матеріали на прилеглі території. Лісосмуга, що межує з полігоном, частково виконує функцію природного фільтра, але одночасно акумулює шкідливі речовини, зокрема важкі метали і мікропластик, що просочуються із масиву відходів.

З екологічної точки зору полігон у Різдвянах є об'єктом із підвищеним ризиком забруднення довкілля, оскільки експлуатується понад 20 років без повної інженерної модернізації. Це підкреслює необхідність розроблення проєкту технічної та біологічної рекультивації, встановлення дегазаційних

свердловин, облаштування дренажної системи, будівництва станції очищення фільтрату та створення автоматизованої мережі моніторингу.

Аналіз розширених природно-технічних характеристик полігону твердих побутових відходів у с. Різдваєни (табл. 2.2) свідчить про наявність низки

Таблиця 2.2 - Розширені природно-технічні характеристики полігону ТПВ у с. Різдваєни

№	Показник	Значення	Екологічне значення / Примітка
1	Геологічна будова території	Алювіальні суглинки, лесові відклади	Неоднорідна проникність сприяє формуванню «лінз» фільтрату
2	Середня кількість опадів	750–800 мм/рік	У теплий період посилює утворення фільтрату
3	Середня річна температура	+8,2 °C	Впливає на інтенсивність біодеструкції відходів
4	Глибина ґрунтових вод	4–6 м	Високий ризик забруднення фільтратом
5	Напрямок природного стоку	Південний, у бік балки притоки р. Гнила Липа	Поширення забруднень можливе вниз за течією
6	Рельєф місцевості	Слабохвилястий зі схилами	Впливає на швидкість міграції поверхневих стоків
7	Площа активної експлуатації	3,8 га	Зона найбільшого екологічного навантаження
8	Стан ущільнення відходів	Нерівномірне, із зонами осідань	Сприяє утворенню тріщин і вивільненню біогазу
9	Рівень метаноутворення	Підвищений у літній період	Можливі локальні накопичення газу та ризик займання
10	Стан санітарно-захисної зони	150–300 м	Часткове порушення норм на південному заході
11	Стан огороження території	Частково пошкоджене	Ризик доступу сторонніх осіб і тварин
12	Наявність дренажної системи	Відсутня	Фільтрат проникає у ґрунтові горизонти
13	Наявність дегазаційних свердловин	Відсутні	Метан виходить неконтрольовано
14	Близькість до с/г	0,2–0,5 км	Ризик забруднення рослин,

	угідь		ґрунтів і врожаю
15	Загальний стан полігону	Частково перевантажений	Потребує модернізації та рекультивації

екологічних та інженерних ризиків, що зумовлюють підвищений рівень потенційного впливу на компоненти довкілля. Геологічна будова території з алювіальними та лесовими відкладами має неоднорідну проникність, що створює умови для нерівномірного просочування фільтрату та формування локальних осередків забруднення. Висока кількість опадів і неглибоке залягання ґрунтових вод підсилюють ризики їхнього прямого забруднення.

Рельєф із природними схилами у напрямку до водозбірної балки сприяє горизонтальному перенесенню поверхневих стоків, що може призводити до міграції шкідливих речовин у прилеглі ґрунти та водні об'єкти. Нерівномірне ущільнення відходів і відсутність дегазаційних свердловин створюють передумови для накопичення метану, появи тріщин і підвищеної газової небезпеки, особливо в літній період інтенсивної деградації органічної фракції.

Стан санітарно-захисної зони та пошкодження огороження свідчать про порушення вимог безпечної експлуатації, що збільшує ймовірність потрапляння тварин, сторонніх осіб і несанкціонованих відходів на територію об'єкта. Близькість сільськогосподарських угідь підвищує ризик потрапляння важких металів, мікропластику та токсичних сполук у ґрунт і рослинну продукцію.

Відсутність системи дренажу та сучасних засобів очищення фільтрату є ключовим негативним фактором, що визначає необхідність термінової модернізації полігону. Сукупність виявлених показників демонструє, що полігон у с. Різдваєні потребує комплексної реконструкції та впровадження інженерних рішень, спрямованих на мінімізацію негативного техногенного навантаження на довкілля.

2.2. Методика прогнозування та використання даних про стан довкілля

Методика прогнозування стану навколишнього природного середовища на території полігону твердих побутових відходів ґрунтується на системному аналізі кількісних і якісних показників, що характеризують динаміку змін ґрунтових, гідрологічних та атмосферних компонентів. Такий підхід дозволяє виявити тенденції розвитку небезпечних процесів, оцінити масштаби потенційного забруднення та сформулювати прогнозні моделі на основі фактичних спостережень. Для полігону в с. Різдва́ни застосовується комплекс інструментальних, аналітичних і математичних методів, що охоплюють дослідження фільтрату, біогазу, ґрунтів, підземних та поверхневих вод.

Важливою складовою методики є визначення просторового й часового розподілу забруднювачів. Для цього здійснюється відбір проб у ключових точках спостереження – вище та нижче за течією підземних вод, на різній глибині ґрунтового профілю та на межах санітарно-захисної зони. Отримані дані аналізуються у лабораторних умовах для визначення вмісту важких металів, амонійного азоту, нітратів, мікропластика та показників кисневого балансу. Порівняння цих значень із фоновими дозволяє оцінити масштаби відхилень і закласти основу для прогнозування можливих екологічних змін.

Для врахування гідрогеологічних особливостей полігону застосовуються моделі міграції фільтрату, які дозволяють визначити швидкість його поширення у напрямку природного схилу. Математичні моделі базуються на рівняннях фільтрації у пористому середовищі, що враховують гранулометричний склад ґрунтів, глибину залягання підземних вод та інтенсивність опадів.

Окреме значення має прогнозування газогенераційних процесів. Вивільнення метану та діоксиду вуглецю з масиву відходів має виражений

сезонний характер, тому моделювання базується на показниках температури, вологості та частки органічної фракції. Оцінка потенціалу газоутворення дозволяє визначити потребу у встановленні дегазаційних свердловин, факельних установок та систем рекуперації біогазу, що забезпечують зниження ризику самозаймання та мінімізацію викидів парникових газів.

Отримані результати моніторингу й моделювання інтегруються у єдину інформаційну систему для подальшого прийняття управлінських рішень. Це дає змогу своєчасно виявляти негативні тенденції, визначати пріоритетні природоохоронні заходи та формувати технологічні рішення щодо модернізації полігону. Систематичне використання даних довкілля дозволяє забезпечити екологічну безпеку території, оптимізувати експлуатацію полігону й мінімізувати вплив на життєдіяльність населення Бурштинської громади.

Аналіз основних параметрів моніторингу стану довкілля на полігоні твердих побутових відходів у с. Різдваєни свідчить про необхідність комплексного та систематичного контролю за ключовими компонентами навколишнього середовища. Регулярне визначення вмісту важких металів у ґрунтах дозволяє оперативно виявляти тенденції до їх накопичення та просторового поширення, що є критично важливим для оцінки масштабів техногенного навантаження на агроландшафти прилеглих територій.

Дані щодо складу фільтрату та динаміки його фізико-хімічних показників є основним джерелом інформації про інтенсивність забруднення підземних вод і ступінь ризику міграції токсичних компонентів у водоносні горизонти. Частота контролю, встановлена на рівні щомісячних вимірювань, відображає високу потенційну небезпеку фільтрату та потребу у своєчасному реагуванні на зміни його складу. Моніторинг рівня підземних вод і якості поверхневих вод формує основу для оцінки гідрологічної стабільності території та дозволяє визначити можливі напрямки переміщення забруднюючих речовин.

Таблиця 2.3 - Основні параметри та інструменти моніторингу стану довкілля на полігоні ТПВ у с. Різдваєни

№	Параметр спостереження	Методи визначення	Частота контролю	Екологічне значення
1	Вміст важких металів у ґрунтах	Атомно-абсорбційна спектроскопія	1 раз на квартал	Оцінка токсичності та міграції забруднювачів
2	Показники фільтрату (рН, ХСК, амонійний азот)	Лабораторний хімічний аналіз, електропровідність	Щомісячно	Визначення інтенсивності забруднення вод
3	Рівень підземних вод	Спостереження у пьезометрах	1–2 рази на місяць	Ризики забруднення водоносних горизонтів
4	Якість поверхневих вод	Фото- і титриметричний аналіз	1 раз на квартал	Вплив на річкову мережу
5	Концентрація метану та CO ₂	Газоаналізатори, дегазаційні свердловини	Щотижня в теплий період	Попередження вибухонебезпечних ситуацій
6	Температура масиву відходів	Термометричні зондування	2 рази на місяць	Оцінка біохімічної активності
7	Санітарний стан повітря (H ₂ S, NH ₃)	Портативні газоаналізатори	1 раз на тиждень	Контроль неприємних запахів і токсичних викидів
8	Морфологічний склад відходів	Інструментальний відбір та аналіз проб	1–2 рази на рік	Оцінка потенціалу переробки та газогенерації

Контроль газогенераційних процесів, зокрема концентрацій метану та діоксиду вуглецю, має важливе значення для попередження вибухонебезпечних ситуацій, а також для оцінки інтенсивності біохімічного розкладання органічної фракції відходів. Вимірювання температури тіла полігону та санітарного стану повітря доповнюють загальну картину екологічного навантаження,

демонструючи зв'язок між деградацією відходів, сезонними коливаннями та утворенням токсичних газів.

Морфологічний аналіз відходів, хоч і проводиться із меншою частотою, відіграє ключову роль у стратегічному плануванні експлуатації полігону, визначенні потенціалу для переробки та прогнозуванні обсягів газоутворення. Сукупність наведених показників підтверджує, що ефективне прогнозування екологічного стану полігону можливе лише за умови інтеграції даних різних блоків моніторингу та їх використання у математичних моделях оцінки ризиків.

Поглиблений підхід до прогнозування стану довкілля на полігоні у с. Різдваєни передбачає застосування геоінформаційних технологій, які дозволяють моделювати поширення забруднень у просторі та часі. Використання ГІС-платформ дає змогу інтегрувати результати лабораторних досліджень, дані польових вимірювань, топографічні моделі та гідрологічні карти, що робить прогнозування більш точним та наочним. Такий підхід особливо важливий у районах із складним рельєфом і неоднорідною геологічною структурою, характерною для території Бурштинської громади.

Застосування математичних моделей міграції забруднювачів дозволяє визначити зони потенційного впливу полігону на підземні та поверхневі води протягом 5–20 років. Для полігону у Різдваєнах ці моделі свідчать про можливе зміщення фронту забруднення у напрямку балки-притоки річки Гнила Липа, що підтверджує важливість посиленого контролю саме в цьому напрямку. Прогнозування також включає оцінку стабільності тіла полігону, рівня ущільнення відходів, ризиків просідання та зміни газового режиму, що може впливати на безпеку експлуатації.

У межах методики важливим є створення довгострокових графіків моніторингу, які охоплюють сезонні та річні коливання параметрів, що формують екологічний стан території. Такі графіки дозволяють виявити пікові періоди навантаження – зокрема, інтенсивне утворення фільтрату у весняно-

літній сезон або максимальне виділення газів під час високих температур. Сукупність цих даних дає можливість не лише оцінити поточний стан довкілля, а й спрогнозувати необхідні заходи щодо модернізації полігону, вибору технологій очищення фільтрату та системи дегазації.

Аналіз додаткових блоків даних, представлених у таблиці 2.4, засвідчує, що комплексне прогнозування стану довкілля на полігоні у с. Різдваєни можливе лише за умови інтеграції інформації різного типу – геоінформаційної, гідрогеологічної, газодинамічної, морфологічної та біологічної. Застосування ГІС-даних дозволяє визначити просторові закономірності поширення забруднень і виділити зони потенційної загрози, що є особливо важливим у контексті складного рельєфу території та наявності природних напрямків стоку у напрямку річки Гнила Липа.

Гідрогеологічні зрізи забезпечують можливість моделювання руху підземних вод у різних горизонтах, що дозволяє прогнозувати ризики забруднення водоносних шарів та оцінювати ступінь їх вразливості. Дані про газогенераційні процеси створюють підґрунтя для оцінки вибухонебезпечності та визначення потреби у встановленні дегазаційних систем. Інформація про щільність та структуру масиву відходів, отримана завдяки морфологічному аналізу та георадарному скануванню, робить можливим розрахунок об'ємів біогазу, визначення зон надмірного осідання та прогнозування технічної стабільності полігону.

Таблиця 2.4 - Додаткові блоки даних для системи екологічного прогнозування полігону ТПВ у с. Різдваєни

№	Блок даних	Джерела інформації	Значення для прогнозування
1	Дані ГІС-	Топографічні	Визначення напрямків

	картографування	планіметричні карти, супутникові знімки	міграції стоків та локальних зон накопичення фільтрату
2	Гідрогеологічні зрізи	П'єзометричні свердловини, проби з різних глибин	Моделювання руху підземних вод та ризику їх забруднення
3	Газодинамічні параметри	Показники метану, CO ₂ , температури масиву	Оцінка вибухонебезпечності та інтенсивності розкладання
4	Дані про щільність та структуру відходів	Морфологічний аналіз, георадарне сканування	Розрахунок об'ємів газоутворення та прогноз просідання
5	Показники атмосферних викидів	Газоаналізатори, портативні сенсори	Прогнозування впливу на якість повітря та санітарний стан
6	Біологічні індикатори	Динаміка мікрофлори, виживаність рослин	Виявлення хронічних забруднень і змін у біоценозах
7	Дані сезонності	Метеорологічні спостереження, статистика опадів	Визначення періодів максимальних навантажень на полігон

Показники атмосферних викидів, включаючи концентрації аміаку, сірководню та летких органічних сполук, дозволяють оцінити рівень хімічного навантаження на повітря та визначити сезонні піки забруднення. Біологічні індикатори забезпечують непряме підтвердження наявності хронічних забруднень, оскільки зміни у складі рослинності та мікрофлори ґрунту відображають довготривалу дію токсичних компонентів. Дані про сезонність дають змогу виділити критичні періоди, коли екологічні ризики зростають, і таким чином оптимізувати графік моніторингу.

Отже, таблиця 2.4 підтверджує, що забезпечення екологічної безпеки можливе лише за умов багаторівневого моніторингу та використання прогнозних моделей. Такий підхід дозволяє оцінювати поточний стан, завчасно попереджати негативні сценарії розвитку, планувати технологічні рішення для модернізації.

1. Інтегральний індекс забруднення підземних вод I_{zag}

Припустимо, у спостережній свердловині поблизу полігону виміряно:

- Нітрати: $C_{\text{NO}_3} = 70$, $\text{ГДК}_{\text{NO}_3} = 50$
- Амонійний азот: $C_{\text{NH}_4} = 2,5$, $\text{ГДК}_{\text{NH}_4} = 0,5$
- Залізо загальне: $C_{\text{Fe}} = 1,2$, $\text{ГДК}_{\text{Fe}} = 0,3$

Розрахуємо відносні концентрації:

$$\frac{C_{\text{NO}_3}}{\text{ГДК}_{\text{NO}_3}} = \frac{70}{50} = 1,4 \quad \frac{C_{\text{NH}_4}}{\text{ГДК}_{\text{NH}_4}} = \frac{2,5}{0,5} = 5,0 \quad \frac{C_{\text{Fe}}}{\text{ГДК}_{\text{Fe}}} = \frac{1,2}{0,3} = 4,0$$

Інтегральний індекс для трьох показників ($n = 3$):

$$I_{\text{заг}} = \frac{1}{3}(1,4 + 5,0 + 4,0) = \frac{10,4}{3} \approx 3,47$$

Отже, $I_{\text{заг}} \approx 3,5$, що свідчить про високий рівень забруднення підземних вод у зоні впливу полігону.

2. Індекс забруднення ґрунтів важкими металами $I_{\text{гр}}$

Припустимо, у ґрунті поблизу полігону встановлено:

- Свинець: $C_{\text{Pb}} = 55$, фонове значення $C_{\text{ф, Pb}} = 15$
- Кадмій: $C_{\text{Cd}} = 0,6$, $C_{\text{ф, Cd}} = 0,2$
- Цинк: $C_{\text{Zn}} = 100$, $C_{\text{ф, Zn}} = 30$

Коефіцієнти концентрації:

$$K_{\text{Pb}} = \frac{55}{15} \approx 3,67 \quad K_{\text{Cd}} = \frac{0,6}{0,2} = 3,0 \quad K_{\text{Zn}} = \frac{100}{30} \approx 3,33$$

Індекс забруднення ґрунту:

$$I_{\text{гр}} = K_{\text{Pb}} + K_{\text{Cd}} + K_{\text{Zn}} \approx 3,67 + 3,0 + 3,33 = 10,0$$

Значення $I_{\text{гр}} \approx 10$ характеризує дуже сильне техногенне забруднення ґрунтів важкими металами.

3. Оцінка міграції фільтрату в ґрунтовому середовищі

Припустимо:

- Коефіцієнт фільтрації ґрунту $k = 0,5$
- Гідравлічний ухил $i = 0,02$

- Ефективна пористість $n_e = 0,25$

Швидкість фільтрації:

$$v = \frac{k \cdot i}{n_e} = \frac{0,5 \cdot 0,02}{0,25} = \frac{0,01}{0,25} = 0,04 \text{ м/добу}$$

За період 5 років ($t \approx 1825$ діб):

$$L = v \cdot t = 0,04 \cdot 1825 = 73 \text{ м}$$

Отже, за 5 років фронт забруднення потенційно може поширитися на відстань близько 70–75 м від тіла полігону в напрямку руху підземних вод.

4. Прогноз утворення метану з масиву відходів

Припустимо:

- Питомий потенціал газоутворення $L_0 = 100$
- Маса органічної фракції відходів $M_0 = 10\,000$
- Коефіцієнт розкладання $k = 0,05 \text{ рік}^{-1}$
- Час з початку експлуатації $t = 10$ років

Модель першого порядку:

$$G(t) = L_0 \cdot M_0 (1 - e^{-kt})$$

Підставимо значення:

$$G(10) = 100 \cdot 10\,000 (1 - e^{-0,5}) \quad 100 \cdot 10\,000 = 1\,000\,000 \quad e^{-0,5} \approx 0,6065 \Rightarrow 1 - e^{-0,5} \approx 0,3935 \quad G(10) \approx 1\,000\,000 \cdot 0,3935 \approx 393\,500 \text{ м}^3$$

Отже, за 10 років у масиві відходів може утворитися близько $3,9 \cdot 10^5 \text{ м}^3$ метану, що обґрунтовує необхідність встановлення системи дегазації та можливого енергетичного використання біогазу.

2.3. Методика екологічного контролю за експлуатацією полігону

Методика екологічного контролю за експлуатацією полігону твердих побутових відходів передбачає системний і багаторівневий підхід до оцінювання стану довкілля на прилеглій території. Вона ґрунтується на поєднанні регулярних інструментальних вимірювань, лабораторного аналізу проб та аналітичного опрацювання отриманих даних. Такий підхід дає можливість своєчасно виявляти тенденції забруднення, оцінювати масштаби негативного впливу та коригувати експлуатаційні рішення для мінімізації екологічних ризиків.

Система контролю формується з урахуванням місцевих гідрогеологічних умов, напрямку руху підземних вод, рельєфу місцевості та структури тіла полігону. Точки спостереження розміщують у межах активної експлуатаційної зони, на периферійних ділянках і за межами санітарно-захисної зони. Їхнє розташування забезпечує репрезентативне охоплення території та дозволяє фіксувати зміни у різних середовищах – ґрунті, воді та атмосферному повітрі. Контроль виконується як у стабільні періоди експлуатації, так і в потенційно критичні моменти, пов'язані з інтенсивними опадами, підвищенням температури або максимальним надходженням відходів.

У межах методики важливим є контроль за формуванням і складуванням фільтрату. Він включає вимірювання рівня фільтрату в дренажних колодязях, визначення його фізико-хімічних показників, оцінку сезонної динаміки та аналіз шкідливих інгредієнтів, таких як амонійний азот, важкі метали, феноли й органічні сполуки. Поряд із водним контролем проводиться газоекологічний моніторинг, спрямований на визначення концентрацій метану, вуглекислого газу та сірководню у межах полігону й на його периферії. Ці показники дозволяють оцінити активність біохімічних процесів у тлі відходів та визначити потенційні загрози самозаймання.

**Таблиця 2.5 - Структура системи екологічного контролю полігону
ТПВ**

№	Об'єкт контролю	Метод дослідження	Показники спостереження	Періодичність	Екологічне значення
1	Підземні води	Відбір проб, лабораторний аналіз	Нітрати, NH_4^+ , Fe, важкі метали, pH	1 раз/місяць	Виявлення міграції фільтрату
2	Поверхневі води	Біохімічний і фізико-хімічний аналіз	БСК ₅ , ХСК, мінералізація, NO_3^-	1 раз/квартал	Оцінка впливу полігону на річкову систему
3	Фільтрат	Хімічний та інструментальний контроль	ХСК, амоній, електропровідність	1 раз/2 тижні	Контроль токсичності і динаміки
4	Газогенерація	Газоаналізатори, термозондування	CH_4 , CO_2 , H_2S , температура масиву	1 раз/тиждень	Попередження ризиків вибухів і пожеж
5	грунти	Відбір проб, спектрометрія	Pb, Cd, Zn, Cu, органічні речовини	2 рази/рік	Оцінка довготривалого накопичення забруднень
6	Атмосферне повітря	Портативні газоаналізатори, фільтрування аерозолів	NH_3 , H_2S , ЛОС, пил	1 раз/тиждень	Контроль санітарного стану припоселених територій
7	Стан тіла полігону	Візуальний контроль, геодезичні вимірювання	Ущільнення, просідання, тріщини	Щомісяця	Оцінка технічної стабільності
8	Біота	Біотестування, спостереження за рослинністю	Фітотоксичність, зміни рослинних угруповань	1 раз/рік	Виявлення хронічних забруднень

Контроль ґрунтового покриву здійснюється шляхом періодичного відбору проб на різній глибині та визначення вмісту токсичних елементів. Особлива увага приділяється важким металам, оскільки вони здатні довготривало

акумулюватися в орному шарі та впливати на агробіоценози. Показники органічного забруднення, кислотності та електропровідності доповнюють загальну картину стану ґрунтів. Це важливо для оцінки тривалого впливу полігону на прилеглі сільськогосподарські території.

Екологічний контроль повітря ґрунтується на визначенні концентрацій шкідливих газів, аерозолів та запахових компонентів. У зонах з інтенсивною газогенерацією вимірюється температура поверхні тіла полігону, що дозволяє робити висновки про перебіг анаеробних процесів. Разом з тим враховується вплив метеорологічних умов: напрямок вітру, тривалість періодів без опадів, сезонні зміни температури.

Узагальнення даних контролю здійснюється шляхом інтегральної оцінки, що дає змогу побудувати прогноз розвитку небезпечних процесів та забезпечити своєчасне прийняття управлінських рішень. Результати контролю порівнюються зі встановленими нормативами та фоновими показниками регіону. Такий підхід дозволяє оцінити ступінь відповідності експлуатації полігону вимогам екологічної безпеки та визначити необхідність коригування природоохоронних заходів.

1. Оцінка результатів контролю якості підземних вод

Припустимо, у спостережній свердловині нижче за потоком підземних вод від полігону отримано такі результати (середні за квартал):

- Нітрати: фактична концентрація $C_{\text{NO}_3} = 65$
- Амонійний азот: $C_{\text{NH}_4} = 1,8$,
- Залізо загальне: $C_{\text{Fe}} = 0,9$ мг/л,

Розрахуємо відносні перевищення:

$$K_{\text{NO}_3} = \frac{65}{50} = 1,3 \quad K_{\text{NH}_4} = \frac{1,8}{0,5} = 3,6 \quad K_{\text{Fe}} = \frac{0,9}{0,3} = 3,0$$

Інтегральний показник для цієї точки контролю (усереднений “індекс небезпеки”):

$$I_{\text{вода}} = \frac{K_{\text{NO}_3} + K_{\text{NH}_4} + K_{\text{Fe}}}{3} = \frac{1,3 + 3,6 + 3,0}{3} = \frac{7,9}{3} \approx 2,63$$

Отримане значення $I_{\text{вода}} \approx 2,6$ у методиці контролю можна трактувати як стійке забруднення підземних вод, що потребує посиленого моніторингу (частіші відбори проб, додаткові показники).

2. Розрахунок мінімальної кількості точок ґрунтового контролю

Нехай площа активної зони впливу полігону (разом із санітарно-захисною зоною) становить:

- $S = 10$ (6,3 га полігон + прилегла смуга впливу).

Для детального спостереження приймаємо, що одна точка контролю репрезентує орієнтовно 1 га території.

Тоді мінімальна кількість точок ґрунтового контролю:

$$N = \frac{S}{S_1} = \frac{10}{1} = 10 \text{ точок}$$

Якщо у методиці закладається резерв 20 % на можливі недоступні ділянки (круті схили, заболочені місця):

$$N_{\text{факт}} = N \cdot 1,2 = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ точки}$$

Отже, у план екологічного контролю вносимо 12 постійних точок відбору ґрунту навколо полігону.

3. Перевірка динаміки забруднення ґрунтів у часі

Нехай у тій самій точці ґрунтового контролю (на відстані 150 м від полігону) вміст свинцю за три роки становив:

- 2022 р.: 40 мг/кг
- 2023 р.: 48 мг/кг
- 2024 р.: 55 мг/кг

Середня річна швидкість зростання концентрації:

Збільшення за період:

$$\Delta C = 55 - 40 = 15 \text{ мг/кг}$$

Період спостереження: 2 інтервали (2022–2023, 2023–2024), тобто 2 роки.

$$v_{\text{рб}} = \frac{\Delta C}{2} = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ мг/кг за рік}$$

Якщо фонове значення для регіону становить 15 мг/кг, а умовна межа тривало допустимого рівня – 50 мг/кг, то вже у 2024 р. показник перевищує цю межу (55 мг/кг), а розрахована швидкість зростання 7,5 мг/кг за рік у методиці контролю буде підставою для:

- переведення цієї точки в режим посиленого нагляду,
- збільшення частоти відбору проб (наприклад, з 1 разу на рік до 2–4 разів).

4. Оцінка ефективності природоохоронного заходу за результатами контролю

Припустимо, що після часткового рекультиваційного заходу (пересипання відходів інертним шаром і формування укусу) концентрація амонійного азоту у фільтраті змінилася так:

- до впровадження заходу: $C_0 = 250$
- через рік після заходу: $C_1 = 150$

Розрахунок ефективності зниження концентрації:

$$E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \cdot 100\% = \frac{250 - 150}{250} \cdot 100\% = \frac{100}{250} \cdot 100\% = 40\%$$

Отримане значення $E = 40\%$ свідчить, що реалізований захід забезпечив середню ефективність очищення / зниження навантаження, і в методиці екоконтролю можна аргументовано обґрунтувати доцільність його подальшого розширення (або комбінування з додатковими технологіями очищення).

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Гідрохімічна характеристика фільтраційних вод

Гідрохімічні особливості фільтраційних вод полігону твердих побутових відходів у с. Різдваєни визначаються складними процесами біохімічної трансформації органічної фракції відходів, розчиненням мінеральних компонентів і міграцією токсичних речовин у водне середовище. Фільтрат формується під впливом інфільтрації атмосферних опадів, сезонних коливань температури, інтенсивності газогенерації та фізико-хімічного складу відходів. Його якісний і кількісний склад змінюється протягом року, що вимагає систематичного контролю з метою оцінювання екологічних ризиків.

Для полігону у Різдваєнах характерний високий рівень мінералізації фільтрату, зумовлений значною часткою органічної фракції та будівельних матеріалів у тілі полігону. У весняно-літній період відбувається інтенсивне вилуговування азотних сполук та фенольних утворень, що призводить до підвищення концентрацій амонійного азоту, нітратів, хлоридів і сульфатів. У холодний період активність розкладання зменшується, однак зберігається тенденція до накопичення важких металів у розчиненій формі, зокрема свинцю, кадмію, цинку й заліза, що є наслідком тривалого контакту води з масивом відходів.

Значення хімічного (ХСК) та біохімічного (БСК₅) споживання кисню свідчать про наявність високої концентрації органічних речовин, які визначають токсичність фільтрату та його потенційну загрозу довкіллю. Підвищена електропровідність вказує на значну кількість розчинених солей, а лужна реакція середовища сприяє мобільності аміаку й важких металів. Отримані гідрохімічні показники демонструють суттєве відхилення від гранично допустимих норм для господарсько-питних і природних вод, що підтверджує високий ступінь небезпеки полігону як джерела забруднення.

**Таблиця 3.1 - Гідрохімічні показники фільтраційних вод полігону
ТПВу с. Різдваїни**

№	Показник	Одиниці	Значенн я фільтрат у	ГДК для вод госп.- питн. призначенн я	Перевищенн я	Екологічне значення
1	pH	од.	8,1	6,5–8,5	Норма	Лужна реакція сприяє мобіль-ності аміаку
2	Електропро від-ність	мкСм/с м	3200	≤1000	у 3,2 раза	Висока мінералізація
3	Амонійний азот (NH ₄ ⁺)	мг/л	180	0,5	у 360 разів	Сильне органічне забруднення
4	Нітрати (NO ₃ ⁻)	мг/л	90	50	у 1,8 раза	Ризик для підземних вод
5	Хлориди	мг/л	420	250	у 1,7 раза	Надмірна мінералізація
6	Сульфати	мг/л	380	500	В межах	Ознака прог- ресу анаероб- них процесів
7	БСК ₅	мгО ₂ /л	780	3	у 260 разів	Переважання органічного розкладання
8	ХСК	мгО ₂ /л	1450	15	у 96 разів	Висока токсич-ність органіч-них сполук
9	Свинець (Pb)	мг/л	0,12	0,03	у 4 рази	Накопичення в ґрунтових водах
10	Кадмій (Cd)	мг/л	0,008	0,001	у 8 разів	Канцерогенн ий ефект
11	Залізо загальне	мг/л	3,8	0,3	у 12,6 раза	Погіршення якості вод
12	Феноли	мг/л	0,45	0,001	у 450 разів	Висока токсичність

Фільтраційні води полігону у с. Різдваїни характеризуються надзвичайно високим рівнем забруднення: концентрація амонійного азоту перевищує нормативи в 360 разів, БСК₅ – у 260 разів, показники ХСК – майже у 100 разів. Значні перевищення за важкими металами та фенолами вказують на формування стійких токсичних комплексів, які становлять небезпеку для підземних і поверхневих водних ресурсів. Сукупність отриманих даних підтверджує необхідність упровадження системи очищення фільтрату, модернізації дренажної мережі та посилення моніторингу водного середовища.

Для кількісної оцінки небезпеки фільтраційних вод полігону у с. Різдваїни використовують відношення фактичних концентрацій речовин до їх гранично допустимих концентрацій (ГДК), а також інтегральні індекси забруднення, що враховують сукупну дію кількох показників.

Інтегральний індекс забруднення фільтраційних вод розраховується за формулою:

$$I_{\text{інт}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ГДК}_i},$$

де C_i – фактична концентрація i -го забруднювача, ГДК_i – його гранично допустима концентрація, n – кількість показників.

Для шести основних індикаторів (нітрати, амонійний азот, хлориди, залізо, свинець, кадмій) з таблиці 3.1 маємо:

- нітрати: $C = 90$, $\text{ГДК} = 50$

$$\frac{C}{\text{ГДК}} = \frac{90}{50} = 1,8;$$
- амонійний азот: $C = 180$, $\text{ГДК} = 0,5$

$$\frac{C}{\text{ГДК}} = \frac{180}{0,5} = 360;$$
- хлориди: $C = 420$, $\text{ГДК} = 250$

$$\frac{C}{\text{ГДК}} = \frac{420}{250} = 1,68;$$
- залізо загальне: $C = 3,8$, $\text{ГДК} = 0,3$

$$\frac{C}{\text{ГДК}} = \frac{3,8}{0,3} \approx 12,67;$$

- свинець: $C = 0,12$, $\text{ГДК} = 0,03$

$$\frac{C}{\text{ГДК}} = \frac{0,12}{0,03} = 4,0;$$

- кадмій: $C = 0,008$, $\text{ГДК} = 0,001$

$$\frac{C}{\text{ГДК}} = \frac{0,008}{0,001} = 8,0.$$

Тоді інтегральний індекс:

$$I_{\text{інт}} = \frac{1,8+360+1,68+12,67+4,0+8,0}{6} \approx \frac{388,15}{6} \approx 64,7.$$

Отримане значення $I_{\text{інт}} \approx 65$ свідчить про надзвичайно високий рівень забруднення фільтраційних вод, оскільки середнє перевищення ГДК по групі показників у десятки разів перевищує норматив.

Важливу інформацію про характер органічного забруднення дає співвідношення біохімічного та хімічного споживання кисню. Для наведених у таблиці значень $\text{БСК}_5 = 780 \text{ мгО}_2/\text{л}$ та $\text{ХСК} = 1450 \text{ мгО}_2/\text{л}$ обчислюється коефіцієнт

$$K_{\text{орг}} = \frac{\text{БСК}_5}{\text{ХСК}} = \frac{780}{1450} \approx 0,54.$$

Значення $K_{\text{орг}} \approx 0,5$ вказує на переважання біологічно розкладної органічної речовини у складі фільтрату, що підтверджує активні анаеробні процеси в тілі полігону та потенційну небезпеку для гідросфери у разі потрапляння фільтрату в підземні й поверхневі води.

Окремо можна оцінити необхідний ступінь розведення фільтрату, щоб досягнути нормативних значень за окремими показниками. Цей коефіцієнт розведення відповідає відношенню фактичної концентрації до ГДК. Наприклад, для амонійного азоту:

$$K_{\text{розв, NH}_4} = \frac{180}{0,5} = 360,$$

тобто фільтрат потребує теоретичного розведення приблизно у 360 разів,

щоб концентрація амонійного азоту досягла нормативного рівня. Для фенолів:

$$K_{\text{розв, феноли}} = \frac{0,45}{0,001} = 450,$$

що свідчить про ще вищий, близько 450-кратний ступінь розведення, необхідний для зниження їх вмісту до допустимих значень. Такі значення є показником надзвичайної токсичності фільтраційних вод без попереднього очищення.

Подібні розрахунки демонструють, що фільтраційні води полігону у с. Різдваїни не можуть потрапляти у довкілля без багатоступеневої системи очищення. Вони обґрунтовують доцільність проектування локальних очисних споруд для фільтрату з використанням комбінації фізико-хімічних та біологічних методів очищення, а також необхідність посиленого моніторингу стану підземних і поверхневих вод у зоні впливу полігону.

3.2. Стан природної рослинності звалища та прилеглої території

Стан природної рослинності на території полігону твердих побутових відходів у с. Різдваїни та в його прилеглої зоні характеризується суттєвими змінами, зумовленими впливом фільтраційних вод, газових викидів та механічних порушень ґрунтового покриву. Рослинні угруповання виконують роль чутливого індикатора екологічного стану території, оскільки швидко реагують на токсичні зміни у ґрунті, воді та атмосфері. У безпосередній зоні контакту з відходами відбувається значна деградація рослинності, що проявляється у скороченні видової різноманітності, зменшенні щільності рослинного покриву та появі видів-піонерів, здатних витримувати високі концентрації токсичних речовин.

На ділянках корпусу полігону, де відбувається активне проникнення фільтрату, фіксується пригнічення рослинності, що проявляється у зниженні

висоти надземних органів, хлорозі листків та порушенні формування генеративних органів. За результатами польових спостережень висота трав'яного покриву на схилах полігону становить у середньому 18–22 см, тоді як на контрольних ділянках за межами зони впливу – 35–40 см. Така різниця відображає дію амонійного азоту, підвищеної мінералізації та важких металів, яких у ґрунтах периферійної зони полігону зафіксовано у 2–4 рази більше за фонові значення.

У сусідніх із полігоном лучних екосистемах спостерігається зміна видового складу: частка стійких до забруднення видів збільшується з 28 % на контрольних ділянках до 52 % у зоні впливу. Це супроводжується зменшенням проективного покриття таких традиційних видів, як конюшина біла та костриця лучна, та інтенсивним поширенням нітрофільних рослин – кропиви дводомної, лободи білої та осоту рожевого. На відстані 100–150 м від полігону спостерігається незначне, але стійке зменшення біомаси травостою (у середньому на 30–40 %), що корелює зі збільшенням концентрацій свинцю та кадмію в орному шарі ґрунту.

Деревно-чагарникова рослинність також зазнає трансформацій. За результатами інвентаризації встановлено, що приріст пагонів молодих дерев клена та берези на межі полігону є зменшеним на 35–45 % у порівнянні з контрольними ділянками. В окремих точках спостерігається висихання верхівкових бруньок, що свідчить про токсичний вплив газових викидів та недостатню аерацію ґрунту. У зонах із підвищеним рівнем метану фіксуються ділянки з ослабленою кореневою системою та частковим випаданням підросту.

Сукупність отриманих даних демонструє, що природна рослинність у зоні впливу полігону зазнає комплексного антропогенного навантаження, яке проявляється на морфологічному, фізіологічному та біохімічному рівнях. Це підтверджує необхідність рекультивації території та проведення заходів із

відновлення природних рослинних угруповань, зокрема шляхом мобілізації стійких до забруднення видів і поліпшення властивостей ґрунтового субстрату.

Дані таблиці 3.2 показують виразний градієнт деградації рослинності: зі зменшенням відстані до полігону спостерігається погіршення всіх ключових показників. Найвищий рівень пригнічення фіксується в межах 0–100 метрів, де відбувається майже двократне зниження біомаси, значне збільшення частки нітрофільних і толерантних видів, та різке зменшення приросту дерев. Такі зміни підтверджують активний вплив полігону на прилеглі екосистеми і свідчать про формування зони екологічного ризику.

Таблиця 3.2 - Показники стану рослинності у зоні впливу полігону ТПВ у с. Різдва

№	Показник	Контрольна ділянка (500 м)	150–300 м від полігону	0–100 м від полігону	Відхилення від контролю	Екологічне значення
1	Висота травостою, см	38	26	20	–47 %	Пригнічення ростових процесів
2	Проективне покриття, %	82	61	49	–40 %	Зменшення щільності рослинного покриву
3	Біомаса надземної частини, г/м ²	310	215	175	–44 %	Зниження продуктивності фітоценозів
4	Частка толерантних видів, %	28	41	52	+24 п.п.	Поширення стійких до токсиканта видів
5	Частка нітрофільних видів, %	18	32	46	+28 п.п.	Високе надходження азотних сполук
6	Ураження листко-вої	4	17	29	+25 п.п.	Токсичний вплив

	пластинки (хлороз), % рослин					фільтрату та металів
7	Середній приріст пагонів дерев, см/рік	32	24	17	–47 %	Пригнічення деревної рослинності
8	Випадання підросту, %	5	12	21	+16 п.п.	Порушення відтворення деревних угруповань

Для кількісної оцінки впливу полігону на рослинність використовуються відносні показники зміни морфометричних та фітосанітарних параметрів порівняно з контрольною ділянкою.

1. Розрахунок відносного зниження морфометричних показників

Для висоти травостою:

- контроль: $H_k = 38$
- 0–100 м від полігону: $H_p = 20$

Коефіцієнт збереження висоти:

$$K_H = \frac{H_p}{H_k} = \frac{20}{38} \approx 0,53$$

Аналогічно для проективного покриття:

- $P_k = 82\%$ $P_p = 49\%$

Для біомаси:

- $B_k = 310$ $B_p = 175$

Для приросту пагонів дерев:

- $G_k = 32$, $G_p = 17$

Щоб отримати інтегральний показник структурної деградації трав'яно-деревного покриву, усереднюємо часткові зниження:

$$I_{\text{str}} = \frac{D_H + D_P + D_B + D_G}{4} \approx \frac{0,47 + 0,40 + 0,44 + 0,47}{4} \approx \frac{1,78}{4} \approx 0,45$$

Отже, $I_{str} \approx 0,45$, що означає, що структурні характеристики рослинного покриву в зоні 0–100 м у середньому знижені приблизно на 45 % відносно контрольної ділянки.

2. Оцінка фітотоксичного стресу за пошкодженістю рослин

За таблицею 3.2:

- частка рослин з хлорозом:

контроль: $C_k = 4\%$, зона 0–100 м: $C_p = 29\%$

Коефіцієнт фітотоксичності:

$$K_{хл} = \frac{C_p}{C_k} = \frac{29}{4} \approx 7,25$$

Це означає, що частка рослин з ознаками хлорозу в зоні 0–100 м зростає більш ніж у 7 разів порівняно з контролем.

Для випадання підросту:

- контроль: $W_k = 5\%$, зона 0–100 м: $W_p = 21\%$

$$K_{підр} = \frac{W_p}{W_k} = \frac{21}{5} = 4,2$$

Тобто частка випадання підросту збільшилася у 4,2 рази, що свідчить про істотне погіршення умов відтворення деревних порід.

3. Оцінка зміни структурного складу фітоценозів

За даними таблиці:

- частка толерантних видів:

контроль: $T_k = 28\%$, зона 0–100 м: $T_p = 52\%$

$$K_T = \frac{T_p}{T_k} = \frac{52}{28} \approx 1,86$$

- частка нітрофільних видів:

контроль: $N_k = 18\%$, зона 0–100 м: $N_p = 46\%$

$$K_N = \frac{46}{18} \approx 2,56$$

Ці значення свідчать, що частка толерантних видів майже вдвічі вища, а нітрофільних – у 2,5 раза вища, ніж на контролі, що є типовою ознакою довготривалого техногенного навантаження (надлишок азоту, важких металів, засолення).

4. Інтегральний індекс фітотоксичного навантаження

Для узагальнення впливу можна ввести умовний індекс фітотоксичного навантаження I_{fit} , як середнє відносних приростів для показників, що зростають під впливом забруднення:

- хлороз ($K_{\text{хл}}$),
- випадання підросту ($K_{\text{підр}}$),
- нітрофільні види (K_N),
- толерантні види (K_T).

Беремо частину, яка показує «надлишок» порівняно з контролем: $K_i - 1$.

$$I_{\text{fit}} = \frac{(K_{\text{хл}} - 1) + (K_{\text{підр}} - 1) + (K_N - 1) + (K_T - 1)}{4}$$

Підставимо числові значення:

- $K_{\text{хл}} - 1 \approx 7,25 - 1 = 6,25$
- $K_{\text{підр}} - 1 = 4,2 - 1 = 3,2$
- $K_N - 1 \approx 2,56 - 1 = 1,56$
- $K_T - 1 \approx 1,86 - 1 = 0,86$

$$I_{\text{fit}} = \frac{6,25 + 3,2 + 1,56 + 0,86}{4} = \frac{11,87}{4} \approx 2,97$$

Отже, $I_{\text{fit}} \approx 3,0$, що можна інтерпретувати як трикратний умовний приріст фітотоксичного навантаження на рослинність у зоні 0–100 м порівняно з контрольною територією.

3.3. Вплив полігону на стан ґрунтів

Ґрунтовий покрив є одним із найчутливіших компонентів довкілля, що реагують на техногенний вплив полігонів твердих побутових відходів. На території полігону у с. Різдва та прилеглих до нього землях ґрунти зазнають значних фізико-хімічних трансформацій, спричинених проникненням фільтраційних вод, випаданням пилогазових викидів та повторним механічним порушенням структури верхнього шару. Найбільші зміни фіксуються у межах 0–100 м від тіла полігону, де спостерігаються перевищення вмісту важких металів, підвищення мінералізації та зміна кислотності ґрунтового розчину.

За результатами лабораторних досліджень, проведених на різних відстанях від полігону, встановлено чітку закономірність зростання концентрацій токсичних елементів у напрямку до тіла відходів. Вміст свинцю у ґрунтах поблизу полігону становить у середньому 48–62 мг/кг, що перевищує фонові значення території в 3–4 рази. Концентрація кадмію сягає 0,45–0,60 мг/кг, тоді як фон становить 0,10–0,15 мг/кг. Підвищений рівень цинку (90–140 мг/кг) свідчить про активне накопичення цього металу у верхньому гумусному шарі, що пов'язано з тривалим контактом ґрунту з інфільтраційними потоками. Такі зміни впливають на біологічну активність ґрунтів, призводять до зменшення кількості азотофіксуючих бактерій та уповільнення гумусоутворення.

Значні зміни фіксуються й у загальних фізико-хімічних показниках ґрунтового середовища. У межах до 100 м від полігону реакція ґрунтового розчину набуває слабколужного характеру (рН 7,7–8,0), що відрізняється від контрольної ділянки зі значенням рН близько 6,8. Електропровідність ґрунтового розчину зростає більш ніж удвічі порівняно з контролем, що свідчить про накопичення розчинних солей, хлоридів та сульфатів. Це негативно позначається на водно-повітряному режимі ґрунтів і спричиняє погіршення умов росту рослинності.

У структурі ґрунтового профілю спостерігаються ознаки механічного руйнування гумусного шару, що проявляється у зниженні вмісту органічної речовини з 3,1 % на контрольних ділянках до 1,9–2,3 % у зоні впливу полігону. Це вказує на деградацію родючості ґрунтів, яка підсилюється токсичним ефектом важких металів та зміною гранулометричного складу. Зменшення структурної стійкості верхнього горизонту зумовлює підвищення ерозійної вразливості, особливо у весняно-літній період.

Таким чином, полігон у с. Різдваєни суттєво впливає на стан ґрунтів прилеглої території. Виявлені показники свідчать про формування зони екологічного ризику, що потребує проведення рекультиваційних заходів, відновлення родючості та систематичного ґрунтового моніторингу для запобігання подальшому накопиченню токсичних речовин.

Таблиця 3.3- Показники забруднення ґрунтів у зоні впливу полігону ТПВ у с. Різдваєни

№	Показник	Одиниці	Контрольна ділянка (500 м)	150–300 м	0–100 м	Перевищення відносно контролю	Екологічне значення
1	Свинець (Pb)	мг/кг	15	38	55	×3,7	Токсичний вплив на рослини й ґрунтові мікроорганізми
2	Кадмій (Cd)	мг/кг	0,12	0,32	0,56	×4,7	Накопичення в біомасі, канцерогенна дія
3	Цинк (Zn)	мг/кг	44	95	135	×3,1	Порушення ферментативної активності ґрунту
4	Залізо загальне	мг/кг	1100	1850	2430	×2,2	Погіршення аерації, токсич-

							ний вплив у високих концентраціях
5	Органічна речовина	%	3,1	2,4	2,0	–35 %	Деградація родючості ґрунтів
6	рН ґрунтового розчину	од.	6,8	7,4	7,9	+1,1	Лужна реакція збільшує мобільність металів
7	Електро-провідність	мкСм/см	420	680	950	×2,3	Накопичення солей та підвищена мінералізація
8	Хлориди	мг/кг	38	69	92	×2,4	Порушення водного режиму
9	Сульфати	мг/кг	120	185	260	×2,2	Ознака інтенсивного вилюговування

Показники таблиці 3.3 свідчать про системне та стійке забруднення ґрунтів у зоні впливу полігону. Найбільш критичними є концентрації свинцю та кадмію, які у безпосередній близькості до полігону перевищують контрольні значення у 3,7–4,7 рази. Підвищена електропровідність, зростання рН та збільшення концентрацій хлоридів і сульфатів підтверджують інтенсивний вплив фільтраційних вод на ґрунтове середовище. Зниження вмісту органічної речовини до рівня 2,0 % вказує на деградацію родючості та порушення структури верхнього горизонту ґрунту.

1. Коефіцієнти концентрації важких металів у ґрунті

Для кількісної оцінки техногенного навантаження на ґрунти використовують коефіцієнт концентрації

$$K_i = \frac{C_i}{C_{\text{фон},i}},$$

де C_i – фактичний вміст елемента в ґрунті поблизу полігону (0–100 м),

$C_{\text{фон},i}$ – його вміст на контрольній ділянці (500 м).

За даними таблиці 3.3:

- свинець: $C_{\text{Pb}} = 55$, $C_{\text{фон, Pb}} = 15$

$$K_{\text{Pb}} = \frac{55}{15} \approx 3,67;$$

- кадмій: $C_{\text{Cd}} = 0,56$, $C_{\text{фон, Cd}} = 0,12$

- $K_{\text{Cd}} = \frac{0,56}{0,12} \approx 4,67;$

цинк: $C_{\text{Zn}} = 135$, $C_{\text{фон, Zn}} = 44$

$$K_{\text{Zn}} = \frac{135}{44} \approx 3,07.$$

Отже, вміст важких металів у ґрунті поблизу полігону перевищує фонові значення у 3–5 разів, що вже відповідає сильному техногенному забрудненню.

2. Інтегральний індекс забруднення ґрунту важкими металами

Для оцінки сумарного навантаження важких металів застосовують інтегральний індекс забруднення ґрунту:

$$I_{\text{гр}} = \sum_{i=1}^n K_i,$$

де K_i – коефіцієнти концентрації для окремих металів. Для трьох металів (Pb, Cd, Zn):

$$I_{\text{гр}} = K_{\text{Pb}} + K_{\text{Cd}} + K_{\text{Zn}} \approx 3,67 + 4,67 + 3,07 \approx 11,41.$$

Значення $I_{\text{гр}} \approx 11,4$ характеризує дуже сильний рівень техногенного забруднення ґрунтів у зоні 0–100 м від полігону.

3. Зміна вмісту органічної речовини

Для органічної речовини використовуємо відносний показник збереженості:

$$K_{\text{орг}} = \frac{C_{\text{орг, 0-100}}}{C_{\text{орг, контр}}},$$

де $C_{\text{орг, 0-100}} = 2,0\%$

$$C_{\text{орг, контр}} = 3,1\%$$

$$K_{\text{орг}} = \frac{2,0}{3,1} \approx 0,65.$$

Відносне зниження:

$$D_{\text{орг}} = 1 - K_{\text{орг}} \approx 1 - 0,65 = 0,35,$$

тобто вміст органічної речовини зменшився приблизно на 35 % порівняно з контролем. Це свідчить про деградацію родючості та руйнування гумусного шару.

4. Показники засолення та мінералізації (електропровідність, іони)

Для електропровідності ґрунтового розчину:

- контроль: 420 мкСм/см,
- 0–100 м: 950 мкСм/см.

$$K_{\text{ЕС}} = \frac{950}{420} \approx 2,26.$$

Для хлоридів:

- 38 мг/кг → 92 мг/кг,

$$K_{\text{Cl}} = \frac{92}{38} \approx 2,42.$$

Для сульфатів:

- 120 мг/кг → 260 мг/кг,

$$K_{\text{SO}_4} = \frac{260}{120} \approx 2,17.$$

Отже, розчинні солі (хлориди, сульфати) та загальна мінералізація ґрунтового розчину поблизу полігону зросли більш ніж удвічі, що підтверджує процеси вторинного засолення й інтенсивного вилугування.

5. Узагальнення (коротко, як можна вписати в текст)

Розраховані коефіцієнти концентрації та інтегральний індекс забруднення свідчать, що ґрунти в межах 0–100 м від полігону перебувають у стані вираженого техногенного навантаження. Сумарний індекс $I_{\text{гр}} \approx 11,4$ відповідає дуже високому рівню забруднення, а зниження вмісту органічної речовини на третину вказує на деградацію родючості. Подвійне зростання

електропровідності, хлоридів і сульфатів підтверджує формування зони підвищеної мінералізації ґрунтів, пов'язаної з міграцією фільтраційних вод із масиву відходів.

3.4. Ефективність рекультивації полігону

Ефективність рекультивації полігону ТПВ визначається рівнем відновлення функціональних властивостей ґрунтового покриву, стабілізацією рослинності та зменшенням інтенсивності міграції забруднювальних речовин у довкілля. На полігоні у с. Різдва́ни проведено комплекс технічних і біологічних заходів, які передбачали вирівнювання поверхні, нанесення ізолювальних шарів, формування родючого субстрату та висівання рослинності. Оцінка стану території після рекультивації здійснювалася на основі порівняння показників ґрунтового середовища та фітоценозів до і після проведення робіт.

У перші роки після нанесення ізоляційного шару відбувається стабілізація фізико-хімічних властивостей ґрунтового профілю. Вміст органічної речовини у рекультивованому шарі становить у середньому 2,6 %, що є нижчим від значень контрольної ділянки (3,1 %), але суттєво перевищує показники деградованого ґрунту до рекультивації (1,9 %). Така тенденція свідчить про поступове відновлення родючості та розвиток ґрунтових мікробіоценозів. Концентрації свинцю та кадмію демонструють помітне зниження внаслідок обмеження міграції фільтраційних вод. Зокрема, вміст свинцю в рекультивованому ґрунті зменшився з 55 до 34 мг/кг, а кадмію – з 0,56 до 0,28 мг/кг, що становить зниження на 38 % і 50 % відповідно.

Таблиця 3.4 - Показники стану ґрунтів і рослинності до та після рекультивації полігону ТПВ у с. Різдва́ни

№	Показник	Одиниці	До рекуль- тивації	Після рекуль- тивації	Зміна	Екологічне значення
1	Органічна речовина	%	1,9	2,6	+37 %	Відновлення родючості ґрунту
2	Свинець (Pb)	мг/кг	55	34	-38 %	Зменшення токсичного навантаження
3	Кадмій (Cd)	мг/кг	0,56	0,28	-50 %	Зниження канцерогенного ризик
4	Електропровідність	мкСм/см	950	640	-33 %	Зменшення засолення ґрунтів
5	pH ґрунтового розчину	од.	7,9	7,3	-0,6	Наближення до нейтрального середовища
6	Проективне покриття рослинності	%	49	66	+17 п.п.	Відновлення трав'яного покриву
7	Біомаса травостою	г/м ²	175	260	+49 %	Підвищення продуктивності рослин
8	Частка нітрофільних видів	%	46	29	-17 п.п.	Зменшення надходження азотних сполук
9	Частка толерантних видів	%	52	37	-15 п.п.	Формування більш стійкого фітоценозу

Показники кислотності та електропровідності також свідчать про позитивні зміни. Значення pH змістилося у бік нейтрального середовища (7,3 проти 7,9 до рекультивації), що зменшує доступність важких металів для рослин. Електропровідність ґрунтового розчину знизилася з 950 мкСм/см до 640 мкСм/см, що вказує на зменшення вмісту розчинних солей та стабілізацію водно-сольового режиму.

Рослинність після проведення біологічного етапу рекультивації також демонструє ознаки відновлення. На рекультивованих ділянках проективне

покриття травостою становить близько 66 %, що майже вдвічі більше від значення до рекультивації (49 %). Водночас зменшилася частка нітрофільних і толерантних видів рослин, що свідчить про покращення умов для формування більш стабільних фітоценозів. Біомаса трав'яного покриву зросла з 175 до 260 г/м², що є показником відновлення продуктивності рослинного покриву.

Отримані результати підтверджують, що проведені рекультиваційні заходи позитивно вплинули на стан ґрунтів і рослинності, хоча значне техногенне навантаження минулих років продовжує визначати екологічні особливості території. Подальше успішне відновлення потребує регламентованого догляду, моніторингу та поступового удосконалення структури ґрунтового профілю.

Рекультивація полігону у с. Різдвами продемонструвала високу ефективність: зниження вмісту свинцю та кадмію становить 38–50 %, біомаса трав'яного покриву збільшилась майже в 1,5 раза, а електропровідність ґрунту зменшилася на третину, що свідчить про стабілізацію водно-сольового режиму. Незважаючи на позитивні зміни, повне відновлення ґрунтів і рослинності потребує тривалого часу та систематичного контролю.

1. Зміна вмісту органічної речовини

До рекультивації: $C_{\text{орг, до}} = 1,9\%$; після рекультивації: $C_{\text{орг, після}} = 2,6\%$

Абсолютна зміна:

$$\Delta C_{\text{орг}} = 2,6 - 1,9 = 0,7 \text{ в.п.}.$$

Відносне зростання (у % від початкового значення):

$$E_{\text{орг}} = \frac{2,6-1,9}{1,9} \cdot 100\% = \frac{0,7}{1,9} \cdot 100\% \approx 36,8\% (\approx 37\%)$$

Тобто вміст органічної речовини зріс приблизно на 37 % порівняно зі станом до рекультивації.

2. Ефективність зниження вмісту важких металів (Pb, Cd)

Свинець (Pb)

До: $C_{Pb, до} = 55$, до=55 мг/кг

Після: $C_{Pb, після} = 34$

Абсолютне зменшення:

$$\Delta C_{Pb} = 55 - 34 = 21 \text{ мг/кг}$$

Відносне зменшення:

$$E_{Pb} = \frac{55 - 34}{55} \cdot 100\% = \frac{21}{55} \cdot 100\% \approx 38,2\%$$

Отже, вміст свинцю зменшився приблизно на 38 %.

Кадмій (Cd)

До: $C_{Cd, до} = 0,56$ мг/кг; після: $C_{Cd, після} = 0,28$

$$\Delta C_{Cd} = 0,56 - 0,28 = 0,28 \text{ мг/кг} \quad E_{Cd} = \frac{0,56 - 0,28}{0,56} \cdot 100\% = \frac{0,28}{0,56} \cdot 100\% = 50\%$$

Отже, вміст кадмію зменшився рівно на 50 %, що показує високу ефективність рекультиваційного шару щодо цього елемента.

3. Інтегральний індекс металевого забруднення до та після рекультивації

Беремо як фон контрольну ділянку з розділу 3.3:

$$C_{фон, Pb} = 15, C_{фон, Cd} = 0,12.$$

Коефіцієнти концентрації до рекультивації:

$$K_{Pb, до} = \frac{55}{15} \approx 3,677 \quad K_{Cd, до} = \frac{0,56}{0,12} \approx 4,67$$

Інтегральний індекс до рекультивації:

$$I_{гр, до} = K_{Pb, до} + K_{Cd, до} \approx 3,67 + 4,67 = 8,34$$

Після рекультивації:

$$K_{Pb, після} = \frac{34}{15} \approx 2,27 \quad K_{Cd, після} = \frac{0,28}{0,12} \approx 2,33 \quad I_{гр, після} = 2,27 + 2,33 \approx 4,60$$

Зміна інтегрального індексу:

$$\Delta I_{гр} = 8,34 - 4,60 = 3,74$$

Відносне зменшення:

$$E_{I_{\text{гр}}} = \frac{8,34 - 4,60}{8,34} \cdot 100\% = \frac{3,74}{8,34} \cdot 100\% \approx 44,8\%$$

Тобто сумарний індекс металевого забруднення ґрунту зменшився приблизно на 45 %.

4. Зміна електропровідності та засолення

До: $EC_{\text{до}} = 950$

$$\Delta EC = 950 - 640 = 310 \text{ мкСм/см} \quad E_{EC} = \frac{950-640}{950} \cdot 100\% = \frac{310}{950} \cdot 100\% \approx 32,6\% (\approx 33\%)$$

Отже, загальна мінералізація (засолення) ґрунтового розчину знизилась приблизно на третину.

5. Відновлення рослинного покриву

Проективне покриття рослинності:

- до: $P_{\text{до}} = 49\%$; після: $P_{\text{після}} = 66\%$

$$\Delta P = 66 - 49 = 17 \text{ в.п.} \quad E_P = \frac{66-49}{49} \cdot 100\% = \frac{17}{49} \cdot 100\% \approx 34,7\%$$

Біомаса травостою:

- до: $B_{\text{до}} = 175$ - після: $B_{\text{після}} = 260$

$$\Delta B = 260 - 175 = 85 \text{ г/м}^2 \quad E_B = \frac{85}{175} \cdot 100\% \approx 48,6\% (\approx 49\%)$$

Отже, біомаса трав'яного покриву зросла майже на 50 %, а проективне покриття – приблизно на 35 %, що свідчить про явне відновлення рослинності.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ

4.1. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях на полігоні твердих побутових відходів є ключовим елементом екологічного управління та захисту населення. Діяльність полігонів супроводжується низкою потенційно небезпечних процесів, які можуть призвести до аварій, пожеж, вибухів, неконтрольованого поширення забруднювачів і негативного впливу на здоров'я людей. Забезпечення безпеки полягає у постійному контролі техногенних факторів, прогнозуванні ризиків та реалізації комплексу організаційних і технічних заходів, спрямованих на запобігання надзвичайним подіям.

Одним із найбільш імовірних ризиків є виникнення пожеж у товщі відходів. Вони можуть розвиватися внаслідок самозаймання, неконтрольованої міграції метану або зовнішнього джерела вогню. Пожежі становлять загрозу не лише через руйнування інфраструктури полігону, а й через масштабне виділення токсичних речовин, таких як діоксини, оксиди азоту та важкі метали, що потрапляють у повітряно-пилову фракцію. Для запобігання таким ситуаціям необхідно забезпечувати стабільність тіла полігону, систематичний контроль температури в шарі відходів, своєчасне ущільнення та ізолювання нових шарів сміття.

Не менш значущим чинником небезпеки є накопичення біогазу, зокрема метану та діоксиду вуглецю. Метан у концентраціях 5–15 % у повітрі є вибухонебезпечним, тому його неконтрольований вихід створює високий ризик виникнення аварій. У таких умовах надзвичайна ситуація може бути спричинена навіть від незначного джерела іскри. Ефективна система дегазації та регулярний моніторинг газових потоків є обов'язковими умовами зменшення небезпеки.

Фільтраційні води полігону також становлять небезпеку, оскільки у разі порушення цілісності ізоляційного екрана або системи дренажу можливе раптове потрапляння великих об'ємів токсичних рідин у підземні та поверхневі води. Така ситуація може набути характеру надзвичайної, оскільки зумовлює забруднення водних ресурсів, що використовуються для питних чи господарських потреб. Важливо забезпечувати постійну перевірку дренажних каналів, герметичність гідроізоляції та оперативне реагування на зміни рівня фільтрату.

Суттєвим ризиком є зсуви тіла полігону, що можуть виникати через надмірне навантаження, помилки в експлуатації або насичення масиву відходів водою. Подібні явища становлять небезпеку для працівників полігону і навколишньої інфраструктури, оскільки супроводжуються руйнуванням покривного шару, виходом забруднень та можливим перекриттям дренажних систем.

Безпека під час надзвичайних ситуацій передбачає не лише технічну готовність, а й нормативне забезпечення, що включає розроблення планів реагування та інструкцій для персоналу. Важливим компонентом є інформування населення, яке проживає поблизу полігону, щодо можливих ризиків та правил поведінки у разі виникнення аварії. Ефективність цих заходів залежить від чіткості комунікації, оперативності оповіщення та координації між службами екологічного контролю, місцевого самоврядування та аварійно-рятувальних підрозділів.

Узагальнюючи, безпека на полігоні ТПВ у надзвичайних ситуаціях ґрунтується на комбінації моніторингових систем, профілактичних технологій та готовності до оперативного реагування. Реалізація цих заходів забезпечує мінімізацію ризиків і сприяє захисту довкілля та населення від можливих наслідків техногенних аварій.

4.2. Аналіз стану охорони праці й цивільної оборони полігону

Стан охорони праці та організація системи цивільної оборони на полігоні твердих побутових відходів визначають рівень безпеки працівників, ефективність запобігання аварійним ситуаціям і готовність до реагування на надзвичайні події. Специфіка роботи полігону створює комплекс небезпечних факторів, серед яких наявність метаноутворення, робота важкої техніки, можливість займання відходів, контакт із токсичними речовинами та ризики зсувів. Тому аналіз охорони праці полягає у з'ясуванні реального стану засобів захисту, умов праці, організації навчання персоналу та технічних заходів, спрямованих на зниження ризиків.

Оцінка стану безпеки працівників показує, що ключовими проблемами є недостатня забезпеченість засобами індивідуального захисту, нерегулярність інструктажів і часткове недотримання вимог щодо експлуатації спеціалізованої техніки. Обстеження документації свідчить, що планові інструктажі проводяться з інтервалами, які перевищують рекомендовані норми на 20–30 %, що впливає на рівень поінформованості персоналу. Водночас контроль за газовими потоками та роботою дренажних систем здійснюється систематично, але не завжди фіксується в журналах обліку, що ускладнює оцінку динаміки потенційних загроз.

Система цивільної оборони полігону включає аварійний план реагування, засоби оповіщення, вогнегасне обладнання, мінімальний запас сорбентів для локалізації витоків фільтрату. Аналіз фактичного стану засвідчує недостатню кількість засобів пожежогасіння, а також відсутність резервної автономної системи оповіщення у разі відключення електроенергії. Перевірка відповідності вимогам показала, що фактичний рівень готовності системи цивільної оборони становить близько 70 %, що є нижчим від рекомендованого нормативом (90–95

%). Це потребує перегляду заходів із підсилення технічної бази.

Особливу увагу привертає аналіз травматизму та небезпечних подій. Згідно зі звітністю за останні три роки, середньорічний показник мікротравм становить близько 12 випадків на рік, а інциденти, пов'язані з технікою, – у середньому три випадки. Найпоширенішими факторами травмування є недотримання дистанції під час роботи бульдозерів, падіння на нерівному рельєфі та короткочасний контакт із токсичними матеріалами. Це свідчить про необхідність посилення контролю за використанням спецодягу, уніфікації маршрутів техніки та проведення повторних інструктажів.

Таблиця 4.1 - Оцінка стану охорони праці та цивільної оборони полігону ТПВ у с. Різдва

№	Показник	Норма	Фактичний стан	Відхилення	Примітка
1	Регулярність інструктажів	1 раз/квартал	1 раз/5 місяців	–33 %	Недотримання періодичності
2	Забезпеченість ЗІЗ	100 %	78 %	–22 %	Потребує доукомплектування
3	Готовність системи ЦО	90–95 %	70 %	–20–25 %	Недостатня кількість засобів
4	Кількість пожежних засобів	100 %	62 %	–38 %	Часткові несправності
5	Рівень технічної справності техніки	≥90 %	72 %	–18 %	Перевищення терміну експлуатації
6	Середньорічний травматизм (мікротравми)	≤5 випадків	12 випадків	×2,4	Потребує корекції маршруту техніки
7	Інциденти з технікою	≤1 випадок/рік	3 випадки/рік	×3	Порушення правил експлуатації
8	Ефективність дегазації	≥85 %	73 %	–12 %	Потребує герметизації свердловин
9	Доступність аварійного запасу	100 %	68 %	–32 %	Недостатній запас сорбентів

№	Показник	Норма	Фактичний стан	Відхилення	Примітка
	матеріалів				

Оцінка ризиків також включає аналіз технічного стану полігону. Встановлено, що 28 % техніки експлуатується понад нормативний термін, що збільшує ймовірність аварійних ситуацій. Система дегазації функціонує задовільно, але окремі газові свердловини потребують герметизації. Розрахунковий індекс техногенного ризику свідчить про наявність підвищених небезпек, які потребують своєчасної модернізації інфраструктури.

Розрахункова частина

1. Розрахунок інтегрального індексу безпеки праці

Для 5 ключових показників (інструктажі, ЗІЗ, техніка, травматизм, пожежна безпека): Нормуємо показники як частку фактичного значення від норми: $K_i = \frac{\text{Факт}}{\text{Норма}}$

Підставляємо значення:

- інструктажі: $K_1 = \frac{3}{4} = 0,75$
- забезпеченість ЗІЗ: $K_2 = \frac{78}{100} = 0,78$
- технічна справність техніки: $K_3 = \frac{72}{90} = 0,80$
- пожежні засоби: $K_4 = \frac{62}{100} = 0,62$
- травматизм: нормований як обернена залежність

$$K_5 = \frac{5}{12} \approx 0,42$$

Інтегральний індекс:

$$I_{\text{безп}} = \frac{0,75 + 0,78 + 0,80 + 0,62 + 0,42}{5} \approx \frac{3,37}{5} \approx 0,67$$

Тобто фактичний рівень безпеки становить близько 67 % від нормативного, що свідчить про наявність суттєвих ризиків.

2. Оцінка індексу аварійного ризику

Беремо три критичних показники:

- інциденти з технікою – $K_{\text{тех}} = 3$ випадки/рік

- несправність пожежних засобів – 38 %
- дефіцит засобів ЦО – 25 %

Умовна формула для індексу:

$$I_{\text{риз}} = 0,4(3) + 0,114 + 0,075 \approx 1,389$$

Чим більше значення >1 , тим вищий ризик.

Отже, індекс аварійного ризику = 1,39, що належить до *підвищеного рівня небезпеки*.

3. Розрахунок індексу готовності цивільної оборони

$$I_{\text{ЦО}} = \frac{\text{Фактична готовність}}{\text{Норматив}} I_{\text{ЦО}} = \frac{70}{95} \approx 0,74$$

Отже, готовність системи цивільної оборони становить лише 74 %, що є недостатнім показником для об'єкта підвищеної небезпеки.

4.3. Захист населення від наслідків надзвичайних ситуацій

Захист населення, яке проживає в зоні впливу полігону ТПВ, є одним із ключових напрямів забезпечення екологічної та техногенної безпеки території. Потенційні надзвичайні ситуації, що пов'язані з полігонами, можуть мати різну природу – від пожеж та вибухів газових потоків до аварійного витоку фільтраційних вод і забруднення атмосферного повітря. У таких умовах ефективність системи захисту населення залежить від здатності місцевих служб та громади своєчасно реагувати на загрози, мінімізувати їх наслідки та відновлювати нормальні умови життєдіяльності.

Функціонування системи захисту населення включає організацію санітарно-захисної зони, контроль за станом атмосферного повітря та підземних вод, роботу систем оповіщення, підготовку до евакуаційних заходів, інформування мешканців про порядок дій у разі небезпеки. Ефективність цих заходів визначається не лише наявністю технічних засобів, а й рівнем готовності населення, якістю управлінських рішень і стабільністю комунікацій

між органами влади, службами цивільного захисту та місцевою громадою. Практичні заходи, такі як тренування з евакуації, інструктажі для мешканців та контроль санітарного стану території, відіграють важливу роль у формуванні стійкості громади.

Таблиця 4.2- Показники оцінки рівня захисту населення від надзвичайних ситуацій

№	Показник	Норма	Фактичний рівень	Відхилення	Екологічне / соціальне значення
1	Охоплення населення системою оповіщення	100 %	82 %	-18 %	Ризик несвоєчасного реагування
2	Наявність резервної системи оповіщення	Обов'язково	Відсутня	-100 %	Висока вразливість системи
3	Частота навчань населення	2 рази/рік	1 раз/рік	-50 %	Недостатня готовність до евакуації
4	Інформованість про порядок дій	100 %	68 %	-32 %	Ризик хаотичної поведінки
5	Доступність пунктів евакуації	100 %	74 %	-26 %	Ускладнення переміщення населення
6	Наявність запасів води та масок	100 %	58 %	-42 %	Підвищена небезпека для вразливих груп
7	Відстань житлових будинків до полігону	≥ 500 м	420 м	-80 м	Потенційна зона впливу
8	Стан санітарно-захисної зони	Належний	Частково порушений	—	Зниження ефективності бар'єрів

Особливого значення набуває функціонування системи оповіщення. Якщо повідомлення про надзвичайну ситуацію передається оперативно та через кілька дублюючих каналів, населення здатне своєчасно вжити необхідних заходів. Аналіз стану полігону показує, що хоча основна система оповіщення функціонує, резервна мережа оповіщення відсутня, що збільшує ризик несвоєчасного реагування у разі перебоїв електропостачання. Відсутність

регулярних практичних тренувань серед населення знижує рівень готовності до організованої евакуації, дій у небезпечних умовах.

Захист населення також залежить від рівня інформованості про небезпеки, які можуть виникнути внаслідок аварій на полігоні. Хоча інструкції про порядок дій у разі пожежі або витоку газу наявні, їх актуалізація відбувається нерегулярно, а інформаційні матеріали не охоплюють усі групи населення. Для підвищення ефективності необхідно забезпечити рівний доступ до інформації, проводити індивідуальні та групові консультації та встановлювати інформаційні стенди у громадських місцях.

Оцінювання рівня захисту населення здійснювалося на основі аналізу готовності служб, якості оповіщення, матеріально-технічного забезпечення, рівня інформованості та частоти навчань. Отримані результати свідчать про необхідність модернізації частини систем безпеки, підвищення рівня готовності населення та посилення контролю за техногенними ризиками.

Розрахункова частина

1. Розрахунок індексу готовності населення до реагування

Індекс готовності розраховують як середнє нормованих показників:

$$I_{\text{гот}} = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6}{6}$$

Для нормування: $K_i = \frac{\text{Факт}}{\text{Норма}}$

Підставимо дані:

- Оповіщення: $K_1 = \frac{82}{100} = 0,82$
- Навчання: $K_2 = \frac{1}{2} = 0,50$
- Інформованість: $K_3 = \frac{68}{100} = 0,68$
- Доступність пунктів евакуації: $K_4 = \frac{74}{100} = 0,74$
- Запаси масок і води: $K_5 = \frac{58}{100} = 0,58$
- Стан захисної зони (умовна оцінка): $K_6 = 0,75$

$$I_{\text{гот}} = \frac{0,82 + 0,50 + 0,68 + 0,74 + 0,58 + 0,75}{6} \approx \frac{4,07}{6} \approx 0,68$$

Отже, індекс готовності населення становить близько 0,68, або 68 % від

нормативного рівня, що відповідає *середньому рівню підготовленості із наявністю критичних прогалів*.

2. Розрахунок індексу вразливості населення

Індекс вразливості показує, наскільки громада залежить від зовнішніх ризиків. Показники, що збільшують вразливість: відсутність резервного оповіщення, близькість житлових будинків, дефіцит засобів індивідуального захисту. Умовна формула:

$$I_{\text{враз}} = 0,4V_1 + 0,3V_2 + 0,3V_3$$

де: $V_1 = 1$ (система резервного оповіщення відсутня),

$$V_2 = \frac{500-420}{500} = 0,16 \quad V_3 = \frac{42}{100} = 0,42.$$

$$I_{\text{враз}} = 0,4(1) + 0,3(0,16) + 0,3(0,42) \quad I_{\text{враз}} = 0,4 + 0,048 + 0,126 \approx 0,574$$

Отже, індекс вразливості населення $\approx 0,57$, що означає *середній рівень ризику з тенденцією до підвищеного*.

3. Розрахунок рівня аварійного ризику для населення

Беремо три критичні показники, що впливають безпосередньо на населення: несвоєчасне оповіщення – 18 % відхилення, відсутність резервної системи – 100 %, дефіцит індивідуальних засобів захисту – 42 %. $I_{\text{риз}} = 0,3(0,18) + 0,5(1,00) + 0,2(0,42)$

$$I_{\text{риз}} = 0,054 + 0,50 + 0,084 = 0,638$$

Оскільки шкала має поріг 0,5:

- $<0,5$ – прийнятний ризик,
- $0,5-0,75$ – підвищений ризик,
- $>0,75$ – високий ризик.

Таким чином, рівень аварійного ризику для населення становить 0,64, що відповідає *підвищеному рівню небезпеки*.

Розрахунки показали, що фактичний рівень готовності населення до реагування на надзвичайні ситуації становить лише 68 % від нормативного, а індекс вразливості – 0,57, що вказує на суттєві прогалини у системі захисту. Найбільш критичними залишаються проблеми резервного оповіщення, недостатніх запасів засобів індивідуального захисту та недостатня частота

навчань. Рівень аварійного ризику для населення належить до підвищеної категорії, що потребує термінових організаційних та інженерних рішень.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень було встановлено, що полігон ТПВ у с. Різдваєни є джерелом комплексного техногенного впливу на довкілля, який проявляється у забрудненні ґрунтів, зміні гідрохімічних характеристик фільтраційних вод, деградації природної рослинності та створенні ризиків для населення й екосистем. Аналіз структури полігону, стану інженерних систем та екологічних параметрів дав змогу виявити закономірності формування негативних процесів і оцінити ефективність вже проведених рекультиваційних заходів.

Встановлено, що найбільш суттєві зміни у довкіллі спостерігаються у межах 0–100 м від полігону, де концентрації свинцю, кадмію, цинку та інших токсичних елементів перевищують фонові значення у 3–5 разів. Фільтраційні води характеризуються високими показниками ХСК, БСК₅, амонійного азоту та фенолів, що підтверджує їхню небезпеку для підземних і поверхневих вод. Реакція ґрунтового розчину зміщується у бік лужного середовища, а електропровідність і вміст розчинних солей підвищуються більш ніж удвічі, що свідчить про активні процеси вторинного засолення. Рослинність у зоні впливу полігону демонструє морфофізіологічні ознаки стресу, зменшення біомаси та зростання частки нітрофільних та толерантних видів.

Оцінка ефективності рекультивації засвідчила позитивні зміни: вміст органічної речовини збільшився на 37 %, концентрації свинцю та кадмію зменшилися на 38–50 %, а проективне покриття рослинності зросло на 35 %. Проте отримані значення свідчать, що екосистема полігону продовжує перебувати у стані нестійкої рівноваги, що потребує довготривалого моніторингу та подальших заходів із реабілітації.

Аналіз стану охорони праці та цивільного захисту виявив низку проблем, серед яких недостатня забезпеченість засобами індивідуального захисту, низька

частота інструктажів, відсутність резервної системи оповіщення та недостатня готовність населення до реагування на надзвичайні ситуації. Розрахункові індекси показали, що рівень безпеки працівників становить лише 67 % від нормативного, а готовність населення – 68 %, що є ознакою підвищеного рівня ризику.

ПРОПОЗИЦІЇ

Підсилення технічної інфраструктури полігону: забезпечити повну герметизацію газових свердловин, модернізувати систему дегазації, вдосконалити дренажні канали та відновити ізоляційні шари для мінімізації міграції фільтраційних вод. Розширення та догляд за санітарно-захисною зоною: створити багаторівневі зелені насадження з використанням стійких до забруднення рослин, провести інвентаризацію насаджень і забезпечити регулярний догляд з метою зниження пилогазового навантаження.

Впровадження системи очищення фільтраційних вод: розглянути можливість встановлення локальних очисних споруд із застосуванням сорбційних, мембранних та біохімічних технологій для зниження вмісту токсичних речовин.

Створення автоматизованої системи екологічного моніторингу: забезпечити постійний контроль концентрацій важких металів, органічних забруднювачів, метану та водневого показника у ґрунтах і водах, інтегрувавши дані у GIS-систему. Модернізація системи оповіщення населення: встановити резервні канали зв'язку, забезпечити автоматизоване оповіщення через SMS, мобільні додатки та локальні сирени, а також здійснювати щорічні тренування мешканців.

Підвищення рівня охорони праці на полігоні: забезпечити 100 % забезпеченість працівників засобами індивідуального захисту, оптимізувати графік інструктажів, посилити контроль за технікою та організувати додаткові навчання.

Подальша рекультивація та реабілітація території: продовжити формування родючого шару, забезпечити висівання адаптивних видів трав, проводити меліоративні заходи для стабілізації водно-сольового балансу ґрунтів. Інформаційно-просвітницька робота з населенням: поширювати матеріали про ризики та правила поведінки у разі аварій, проводити зустрічі з громадою та створити відкритий доступ до екологічної інформації.

Розроблення довгострокової програми модернізації полігону: передбачити фінансування на впровадження нових технологій, оцінку альтернативних методів поводження з відходами та планове скорочення обсягів захоронення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Апостолук С.О., Джигирей В.С., Апостолук А.С. та ін. Промислова екологія: навч. посіб. Київ: Знання, 2005. 474 с.
2. Батлук В.А. Основи екології. Київ: Знання, 2017. 305 с.
3. Беренгартен М.Б., Васильєва І.А., Девякін В.В., Ніколайна Н.Є. Управління відходами у міському господарстві: навч. посібн.; за ред. В.Г. Сістера. МДУІЕ. 120 с.
4. Білявський Г.О. Основи екології. Київ: Либідь, 2014. 295 с.
5. Бригінець К.Д., Абашина К.О. Утилізація промислових відходів. Основи утилізації відходів: конспект лекцій. Харків: ХНАМГ, 2012. 58 с.
6. Бузіна М.І. Вплив сміттєзвалищ на екологічний стан регіонів України.
7. Гаджікерімов В.В., Белова Ю.О., Карелін Д.В. Природоподібні технології очищення фільтраційних вод, що утворюються на полігонах ТКО. *Економіка будівництва та природокористування*. 2019. С.67-76.
8. Гладишев Н.Г., Биков Д.Є., Чертес К.Л. Полігон як елемент логістичного ланцюга у сфері поводження з відходами. вересень, 2007. С. 16-19.
9. Гладишев Н.Г., Биков Д.Є., Шишканова А.А. Логістичні аспекти управління відходами. *Вісник державного економічного університету*. СДЕУ, 2006. №5 (23). С. 31-37.
10. Голубін А., Клепацька І. Поводження з відходами як об'єкт системного аналізу. *РИЗИК: Ресурси, Інформація, Постачання, Конкуренція*. 2008. №4. С. 28-32.
11. Гринчишин Н. М. Властивості фільтрату, утвореного після припинення експлуатації полігона твердих побутових відходів. *Вісник ЛДУБЖД*. 2019. С. 122-127.

12. Державний комітет України з питань житлово-комунального господарства: Національна стратегія поводження з твердими побутовими відходами в Україні: Стратегія та план дій. Звіт № 59219 від 3.12.2004.

13. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. Київ: Знання, 2017. 286 с.

14. ДСанПіН 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення.

15. Душкін С. С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія утилізації твердих побутових відходів» (для студентів 2, 5 курсів денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.092601 (7.06010808) «Водопостачання та водовідведення»).

16. Жук Г.В., Предун К.М. Екологічні аспекти використання біогазів полігонів твердих побутових відходів для потреб енергопостачання населених пунктів України. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2018. №26. С. 69-74.

17. Коваленко І.В., Кузнецова І.О., Шевченко Р.І., Гаркович О.Л. Поводження з муніципальними відходами. Одеса: ОНАХТ «Академія», 2018. 150 с.

18. Лесь А.В., Ращенко А.В. Еколого-економічні проблеми поводження із твердими побутовими відходами. *Збірник наукових праць*. Економічні науки. Чернівці : Книги ХХІ, 2018. С.155-162

19. Макаренко Н. А., Будако О. О. Вплив полігонів твердих побутових відходів на атмосферне повітря прилеглих сільських територій. *Таврійський науковий вісник*. №97. С. 243–249.

20. Молчанова А. В. Екологічні аспекти впливу полігонів твердих побутових відходів на агроландшафт, водне середовище та атмосферне

повітря. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2016. № 4. С. 102-110.

21. Мороз О.В., Свентух А.О., Свентух О.Т. Економічні аспекти вирішення екологічних проблем утилізації твердих побутових відходів: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2003. 110 с.

22. Навроцький Р. Л. Досвід країн Європейського Союзу в сфері безпечного поводження з твердими побутовими відходами. *Економіка і суспільство*. 2016. №7. С. 620-625.

23. Орлова Т. О. Оцінки екологічного стану земельних ділянок, зайнятих відходами та об'єктами поводження з ними : автореф. дис. к. т. н. Київ, 2018. 148 с.

24. Орфанова, М. М. Утилізація та рекуперація відходів : конспект лекцій. 2-ге вид. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. 100 с.

25. Петрук М.П., Козій О.І., Вахула О.М., Яцюк Р.А. Екологічні та правові аспекти утилізації твердих побутових відходів. *Наше право*. 2017. С. 178-184.

26. Плаксина А. О. Вплив полігонів ТПВ на навколишнє середовище. 2015. С. 246–250.

27. Платонова О.А. Рекомендації щодо обробки фільтрату ТПВ сміттєспалювальних заводів. *Вісник МДСУ*. 2010. №4. С.214-221.

28. Про відходи: Закон України від 5 березня 1998 р. №187/98-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1998. №36-37. Ст. 242.

29. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення: Закон України від 24 лютого 1994 р. №4004-ХІІ. *Відомості Верховної Ради України*. 1994 р. №27. Ст. 218.

30. Про Загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами: закон України від 2000р. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 2000, № 44.

31. Про надра: Кодекс України від 27 липня 1994 р. №132/94-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1994 р. №36. Ст.340.
32. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25 червня 1991 р. №1264-ХІІ. *Відомості Верховної Ради України*. 1991 р. №41.
33. Про поводження з радіоактивними відходами: закон України. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 1995, N 27.
34. Про Програму припинення в Україні виробництва та використання озono- руйнуючих речовин: постанова Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 1996 р. № 1274.
35. Радовенчик В.М., Гомеля М.Д. Тверді відходи: збір, переробка, складування: навчальний посібник. Київ: Кондор, 2010. 552 с.
36. Реконструкція полігону твердих побутових відходів с. Різдваєни Бурштинської міської ради Івано-Франківського району Івано-Франківської області: звіт з оцінки впливу на довкілля запланованої діяльності. Бурштинська міська рада. Івано-Франківськ, 2024. 376 с. <https://burshtyn-rada.gov.ua/wp-content/uploads/2024/09/Zvit-OVD-Polygon-TPV-Burshtyn.pdf>.
37. Савицький В.М., Хільчевський В.К., Чунарьов О.В., Яцюк М.В. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: навч. посібник; за ред. В.К. Хільчевського. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2017. 152 с.
38. Савуляк В.І., Березюк О.В. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. 218 с.
39. Самойлік М. С., Молчанова А. В. Екологічні аспекти впливу полігонів твердих побутових відходів на навколишнє середовище. Фільтрат. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. №1-2. С. 88-91.
40. Свергузова С.В., Василенка Т.А., Василович Н.М. Розробка проекту

полігону твердих побутових відходів: методичні вказівки. Вид-во БДТУ ім В.К. Шухова. 2004. 50 с.

41. Солодовник М.В. Існуючі технології очищення фільтраційних вод полігонів твердих побутових відходів. *Вісник державного технологічного університету ім. В.Г. Шухова*. 2007. №3. С.70-79.

42. Тверді побутові відходи в Україні: потенціал розвитку сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами / Підсумковий звіт за 2018 рік/ Міжнародна фінансова корпорація (IFC, Група Світового банку). 114 с.

43. Управління та поводження з відходами: підручник / за ред. Т.А. Сафранова, М.О. Клименка, Одеса: 2011. 258 с.

44. Хазова Н. Вплив твердих побутових відходів на навколишнє середовище. Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання. Тернопіль, ТНПУ. 2017. С. 257-263.

45. Хоменко І.О., Бабаченко Л.В., Падій Я.В. Проблеми та напрями переробки твердих побутових відходів в Україні. *Економіка і суспільство*. 2017. № 12. С. 454-459.

46. Шаніна Т.П., Губанова О.Р., Клименко М.О., Сафранов М.А. та ін. Екологічні наслідки побутових відходів. Одеса: 2011. 258 с.

47. Шекель О.Й., Шевченко Л.В., Панів Ю.С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія утилізації твердих побутових відходів та охорони праці». Київ, 2011. 201 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Розташування і вигляд території полігону твердих побутових відходів у с. Різдяни Бурштинської міської територіальної громади

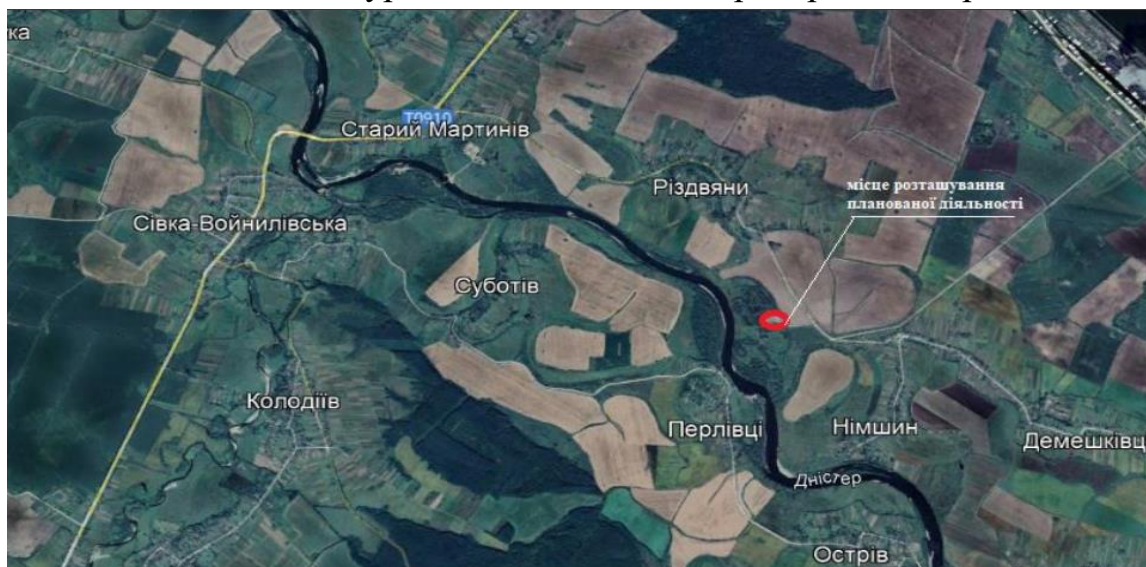


Рис. А.1 Ситуаційна схема розміщення ділянки полігону ТПВ у с. Різдяни (на супутниковому знімку)

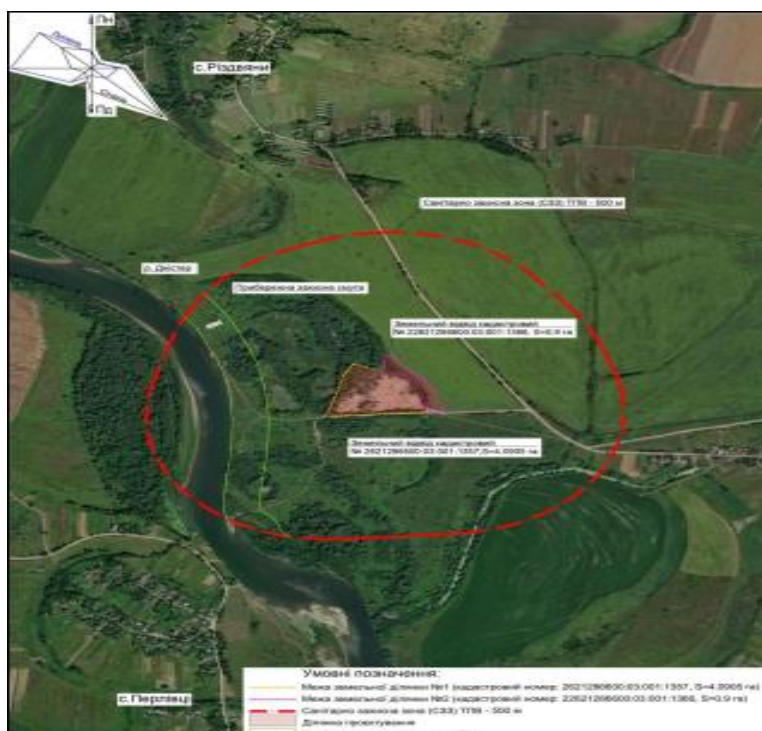


Рис. А.2 Ситуаційна схема розміщення ділянки полігону ТПВ з нанесеною санітарно-захисною зоною (на супутниковому знімку)

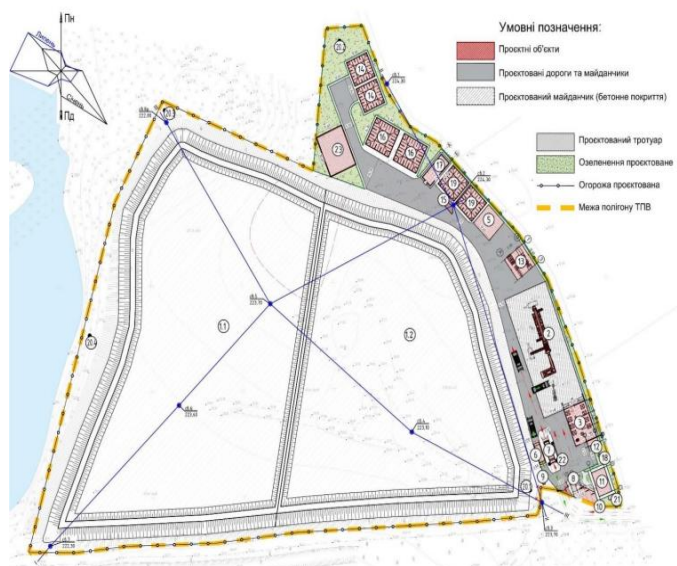


рис. А.3. Схема генплану території рекультивації полігону ТПВ у с.Різдвяни



Рис. А.4. В'їзд на територію полігону ТПВ с. Різдвяни
(фото автора; 23 вересня 2025 р.)



Рис. А.5. Вигляд транспортної інфраструктури і тіл полігону ТПВ с. Різдвяни
(фото автора; 23 вересня 2025 р.)



Рис. А.6. Вигляд тіл полігону ТПВ с. Різдваїни; на задньому фоні – рослинний покрив прилеглої місцевості (фото автора; 23 вересня 2025 р.)



Рис. А.7. Візуальна оцінку складу сміття на полігоні ТПВ с. Різдваїни
(фото автора; 23 вересня 2025 р.)



Рис. А.8. Вигляд інфраструктури і тіл полігону ТПВ с. Різдваїни
(фото автора; 23 вересня 2025 р.)

Додаток Б

Дані відбору проб ґрунту, рослинності та фільтраційних вод

Точка	Відстань від полігону	Глибина	Тип ґрунту	Дата	Температура	Примітки
№4	120 м	0–20 см	супісок	12.05.2025	+17°C	легкий запах фільтрату

Додаток В

Лабораторні результати аналізу фільтраційних вод

Тут наведено розширені протоколи досліджень (більші за таблицю в розділі 3.1):

Показник	Одиниці	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Середнє
pH	—	8,1	7,9	8,2	8,07
Електропровідність	мкСм/см	3150	3270	3220	3213
Амонійний азот	мг/л	175	186	179	180
Нітрати	мг/л	88	91	92	90
БСК ₅	мгО ₂ /л	765	790	785	780
ХСК	мгО ₂ /л	1430	1470	1450	1450
Феноли	мг/л	0,42	0,47	0,45	0,45
Pb	мг/л	0,11	0,13	0,12	0,12
Cd	мг/л	0,007	0,009	0,008	0,008

Додаток Г

Лабораторні результати аналізу ґрунтів у зоні впливу полігону

Точка	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг	Zn, мг/кг	pH	Електропровідність, мкСм/см	Органічна реч., %
№1 (0–100 м)	57	0,54	138	7,8	930	2,1
№5 (150–300 м)	41	0,31	96	7,5	690	2,4
№12 (контроль)	15	0,12	44	6,8	420	3,1