

Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра прикладної екології та природокористування

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
магістра

**на тему: «Біотехнологічні аспекти та вимоги до рекультивації земель
при ліквідації полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ»**

601-мТЗ 11393649 ПЗ

Виконав студент групи 601-мТЗ
спеціальності 183 Технології захисту
навколишнього середовища

А. В. Фесенко

Керівник:

д.б.н., професор

В. В. Вамболь

Начальник відділу організаційної роботи,
звітності та зв'язків з громадськістю
управління біоресурсів, заповідної справи
та організаційної роботи
Департаменту екології та
природних ресурсів
Полтавської обласної
військової адміністрації

І. В. Лебідь

Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра прикладної екології та природокористування
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ (Ілляш О.Е.)

(підпис)

(ПІБ)

_____ 20__ року

(дата)

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ФЕСЕНКУ АНДРІЮ ВІКТОРОВИЧУ

1. Тема роботи «Біотехнологічні аспекти та вимоги до рекультивації земель при ліквідації полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ».

Керівник роботи Вамболь Віола Владиславівна, д.т.н., професор, затверджені наказом ректора Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка від «09» серпня 2024 року №818-ф.а.

2. Строк подання студентом роботи 12.01.2025 р.
(дата)

3. Вихідні дані до роботи: Закони України: «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про місцеве самоврядування в Україні», «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2023 року», а також Урядовими постановами і наказами.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз проблем накопичення відходів та сміття; забруднення навколишнього середовища відходами та сміттям; узагальнення досвіду управління відходами в Полтавській області; з'ясування особливостей біологічного етапу рекультивації земель, що перебували під полігонами та сміттєзвалищами; характеристика біотехнологічних аспектів рекультивації й відновлення забруднених земель та типізація біотехнологій; екологічні аспекти фіторе mediaції земель; біоіндикація забруднених ґрунтів як основний метод визначення їх якості.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): рисунки, картографічний матеріал, ілюстрації, електронна презентація, дев'ять аркушів формату А3, титульний та заключний аркуш.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 2	Ілляш О.Е., доцент		

7. Дата видачі завдання 02.10.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування теми і мети дослідження	29.09.2024	
2	Робота із інформаційними джерелами (підбір, аналіз, узагальнення)	01.10.2024- 04.10.2024	
3	Узагальнення літературних джерел щодо об'єктів зберігання відходів та сміттєзвалищ у регіоні	05.10.2024- 07.10.2024	
4	Узагальнення досвіду управління відходами в Полтавській області.	10.10.2024- 21.10.2024	
5	Характеристика технологій рекультивації ґрунтів та з'ясування особливостей біологічного етапу їх рекультивації.	23.10.2024- 26.10.2024	
6	Узагальнення досвіду застосування біотехнологій рекультивації та відновлення забруднених ґрунтів	27.10.2024- 05.11.2024	
7	Типізація біотехнологій відновлення забруднених ґрунтів.	06.11.2024- 13.11.2024	
8	Характеристика біотехнології фіторе mediaції	14.11.2024- 19.11.2024	
9	Суть біоіндикації як основного методу визначення якості забруднених ґрунтів.	22.11.2024- 30.11.2024	
10	З'ясування правових аспектів рекультивації забруднених ґрунтів.	01.12.2024- 05.12.2024	
11	Укладання та оформлення роботи	06.12.2024- 12.12.2024	
12	Виготовлення додатків та оформлення демонстраційних графічних матеріалів	13.12.2024- 20.01.2025	
13	Захист кваліфікаційної роботи	21.01.2025	

Студент _____ **Фесенко А. В.**

(підпис)

Керівник роботи _____ **Вамболь В. В.**

(підпис)

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	2
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ЩОДО СТАНУ З ПОЛІГОНАМИ ТА СМІТТЄВАЗЛИЩАМИ.....	12
РОЗДІЛ 2. ВИМОГИ ДО РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ЇЇ БІОЛОГІЧНОГО ЕТАПУ.....	17
РОЗДІЛ 3. БІОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЗЕМЕЛЬ ПІСЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ ПОЛІГОНІВ ТПВ ТА СМІТТЄЗВАЛИЩ.....	22
3.1. Типізація рекультиваційно-відновних біотехнологій.....	24
3.2. Фіторемедіація як метод очищення забруднених ґрунтів.....	29
3.3. Значення фіторемедіації в очищенні ґрунтів від важких металів.....	33
3.4. Синергійні ефекти фіторемедіації та вирощування енергетичних культур.....	44
РОЗДІЛ 4. БІОІНДИКАЦІЙНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ.....	48
4.1. Біоіндикація в екологічній оцінці забруднених ґрунтів.....	48
4.2. Фітоіндикація забруднених ґрунтів.....	56
4.3. Індикація забруднених ґрунтів за якістю пилку.....	69
4.4. Індикація забруднених ґрунтів за допомогою безхребетних тварин.....	70
РОЗДІЛ 5. ПРАВОВІ АСПЕКТИ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗАБРУДНЕНИХ ЗЕМЕЛЬ.....	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	81
ДОДАТОК А. Ілюстративні матеріали	89
ДОДАТОК Б. Табличні матеріали.....	97
ДОДАТОК В. Структурно-логічна схема проведення досліджень.....	98

					601-мТЗ 11393649 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Біотехнологічні аспекти та вимоги до рекультивації земель при ліквідації полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Фесенко А.В</i>						5	97
<i>Керівник</i>	<i>Вамболь В.В.</i>					<i>Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»</i>		
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Зав. кафедр.</i>								

АНОТАЦІЯ

Фесенко А. В. Біотехнологічні аспекти та вимоги до рекультивації земель при ліквідації полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ». Рукопис. Кваліфікаційна робота на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища», Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена актуальній проблемі рекультивації та оздоровлення земель після ліквідації звалищ твердих побутових відходів шляхом використання біотехнологічних рішень. У роботі аналізуються проблеми накопичення твердих побутових відходів і сміття та забруднення земель, що знаходяться під ними. Також узагальнено досвід управління відходами в Полтавській області щодо перспектив оптимізації цих об'єктів техногенного навантаження на довкілля. Висвітлено деякі аспекти рекультивації й відновлення забруднених земель та охарактеризовано переваги ряду біотехнологій. Основна увага надається фіторе mediaції, її методам та інструментам, як екологізованої технології відновлення та оздоровлення земель після рекультивації полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ, що влаштовані на них. Обґрунтована доцільність застосування методу біоіндикації екологічного стану таких забруднених ґрунтів у контексті визначення типу й рівнів їх забруднення та на наступних етапах їх екологічного моніторингу.

Ключові слова: управління відходами, полігони твердих побутових відходів, сміттєзвалища, рекультивація забруднених земель, забруднення, фіторе mediaція, методи фіторе mediaція, біоіндикація забруднених ґрунтів.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Fesenko A. Biotechnological aspects and requirements for land reclamation during the liquidation of solid waste (municipal) landfills and dumpsites. Manuscript. Qualification work for the second (master's) level of higher education in the specialty 183 «Environmental Protection Technologies» under the educational and professional program «Environmental Protection Technologies», National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, 2025.

The qualification work is devoted to the pressing problem of land reclamation and rehabilitation following the elimination of solid waste dumps by employing biotechnological solutions. The paper analyzes the problems of solid waste and garbage accumulation and land contamination. It also summarizes the experience of waste management in Poltava Oblast with regard to the prospects for optimizing these man-made environmental impact objects. The text highlights certain aspects of contaminated land reclamation and restoration, emphasizing the benefits of various biotechnologies, with a particular focus on phytoremediation. This environmentally friendly technology is described in detail, including its methods and tools for restoring and improving land after the reclamation of solid waste landfills and landfills located on them. The text goes on to provide a compelling rationale for the incorporation of bioindication as a pivotal component in the assessment of contaminated soils. This bioindication approach is foundational in determining the extent and nature of soil contamination, paving the way for effective long-term environmental monitoring.

Keywords: waste management, solid waste landfills, waste dumps, remediation of contaminated land, pollution, phytoremediation, phytoremediation methods, bioindication of contaminated soils.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В Україні на даний час досить актуально постає проблема зменшення величезної кількості полігонів та сміттєвзалищ твердих побутових відходів (далі – ТПВ) за рахунок належного менеджменту та їх оптимізації, а також питання подальшої рекультивація земель під ними та застосування біологічних підходів щодо відновлення та оздоровлення земель.

Полігони ТПВ а сміттєвзалища однозначно озглядаються в якості об'єктів, що створюють екологічну небезпеку, а їх вплив на довкілля оцінюється за допомогою методів тематичного аналізу космічних знімків та геоінформаційних технологій (ГІС). Сміттєвзалища та полігони слугують джерелами забруднюючих речовин, які негативно впливають на всі складові навколишнього середовища, включаючи атмосферу, водні ресурси, ґрунт, літосферу та біосферу. Найбільш значний екологічний вплив відходів спостерігається через 3-4 роки після початку експлуатації звалища, а їх шкідливий вплив виявляється ще 15-20 років після його закриття. Але ж землі, зайняті звалищами та полігонами, можуть використовуватись для житлового будівництва, доріг, промислових та комунальних об'єктів, майданчиків чи рекреаційних зон після проведення їх рекультивації.

Переважна кількість нормативних матеріалів, рекомендацій і досліджень зосереджена на темі рекультивації порушених земель. Водночас питання, пов'язані з відновленням полігонів ТПВ і сміттєвзалищ, залишаються недостатньо висвітленими. Саме тому, пошук науково-методичних підходів до рекультивації полігонів ТПВ і сміттєвзалищ є важливим та актуальним завданням, зважаючи на їх негативний вплив на навколишнє середовище та необхідністю подальшого використання таких земель.

Метою дослідження є з'ясування біотехнологічних аспектів та вимог до рекультивації земель при ліквідації сміттєвзалищ та полігонів ТПВ.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єктом наукового дослідження є: забруднені землі, що знаходяться під полігонами ТПВ та сміттєзвалищами.

Предметом наукового дослідження є: біотехнологічні аспекти їх рекультивації та відновлення забруднених земель, що знаходились під полігонами ТПВ та сміттєзвалищами.

Для реалізації визначеної мети дослідження нами вирішувались такі **основні завдання:**

- аналіз проблем забруднення ґрунтів відходами та сміттям;
- узагальнення досвіду управління відходами в Полтавській області;
- з'ясування особливостей біорекультивації ґрунтів, що перебували під полігонами та сміттєзвалищами;
- характеристика біотехнологічних аспектів рекультивації й відновлення забруднених земель та типізація біотехнологій;
- екологічні аспекти фіторе mediaції земель;
- біоіндикація забруднених ґрунтів як основний метод визначення їх якості;
- розроблення практичних рекомендації щодо біотехнологічного відновлення рекультивованих земель.

Теоретичне значення результатів досліджень. У кваліфікаційній роботі набула подальшого розвитку проблема застосування біотехнологій при рекультивації та відновленні земель, що знаходяться під полігонами ТПВ та сміттєзвалищами.

Практичне значення результатів наукового дослідження полягає в аналізі доцільності біотехнологій при рекультивації та відновленні забруднених земель, що знаходяться під полігонами ТПВ та сміттєзвалищами. Врахування біотехнологічних рішень при рекультивації забруднених земель забезпечить у результаті повноцінний процес рекультивації, підсилить екологічність процесу і підвищить рівень відновлення (оздоровлення) рекультивованих земель. Отримані результати досліджень можуть бути використані для розробки проєктів рекультивації земель після закриття й

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ліквідації полігонів ТПВ та сміттєзвалищ, що є одним із пріоритетних напрямів і завдань управління відходами в Україні і в полтавському регіоні зокрема.

Зв'язок із науковими темами та програмами кафедри. Кваліфікаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідної роботи кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за напрямом «поводження з відходами».

Особистий внесок магістранта. Кваліфікаційна робота становить самостійну наукову працю. Усі наукові положення, результати й висновки, що виносяться на захист, отримано автором особисто.

Кваліфікаційна робота виконана на кафедрі прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» впродовж 2024-2025 років на основі даних, отриманих у ході накопичувального аналізу друкованих та оприлюднених різними способами в науковому інформаційному просторі матеріалів, присвячених біотехнологічним аспектам рекультивації та відновлення земель при ліквідації полігонів ТПВ та сміттєзвалищ.

Методи дослідження. В основу досліджень покладено методи системного аналізу, аналітичного огляду, співставлення, порівняння та інші, з використанням екологічної складової проєктів.

Апробація результатів досліджень. Деякі результати аналізу та узагальнення наявних матеріалів щодо біотехнологічних аспектів рекультивації земель при ліквідації ТПВ та сміттєзвалищ лягли в основу сумісної публікації автора:

Смоляр Н., Фесенко А. Біотехнологічні аспекти рекультивації земель при ліквідації полігонів ТПВ та сміттєзвалищ // Навколишнє середовище і здоров'я людини : Збірник матеріалів X Всеукраїнського науково-практичного семінару (20 жовтня 2024 року, Полтава). Полтава : НУПП, 2024. С. 56–64.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структура роботи. Зміст кваліфікаційної роботи включає вступ, п'ять основних розділів із підрозділами, загальні висновки, список використаних інформаційних джерел, додатки (ілюстративні та табличні матеріали). Основний текст роботи висвітлений на 80 сторінках машинописного тексту, загальний обсяг роботи – 98 сторінок. Текст роботи ілюстрований таблицями та рисунками.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						11
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ЩОДО СТАНУ З ПОЛІГОНАМИ ТА СМІТТЄВАЗЛИЩАМИ

Останні десять років в Україні спостерігається зростаюча проблема накопичення як промислових, так і побутових відходів. Щорічно в Україні утворюється понад 50 мільйонів кубічних метрів ТПВ. На території України налічується близько 6 000 офіційних полігонів, а число несанкціонованих і стихійних звалищ досягає 30000, що займають майже 7% території країни – більше, ніж загальна площа природно-заповідного фонду.

У 2020 році було зафіксовано 22,6 тисячі несанкціонованих сміттєзвалищ, що займають 0,56 тисячі гектарів. Загальний обсяг відходів на всіх полігонах, включаючи промислові, становить понад 450 мільйонів тонн на рік, більшість із яких є небезпечними. До того ж, 99% сміттєзвалищ не відповідають екологічним стандартам, серед яких близько 25% є перевантаженими [5]. Якщо аналізувати європейський досвід управління відходами, то найбільш успішною у сортуванні та переробці сміття стала Швеція. Там переробляється 99% і останнім часом шведи вимушені імпортувати сміття від сусідів через його нестачу. За допомогою сучасних технологій вони переробляють сміття на енергію, якою живиться громадський транспорт, опалюються та освітлюються муніципальні установи та житлові будинки.

Польща має жорстке законодавство та два тарифи за вивіз сміття, де на сортоване ціна значно нижча, ніж на несортоване сміття. Також існує система штрафів за регулярну відмову від сортування відходів.

В Австрії навчилися за допомогою біотехнологій розщеплювати пластик для переробки на нові текстильні та інші вироби. А сміттєпереробний завод у Відні став справжнім артоб'єктом.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У столиці Данії Копенгагені пішли ще далі і побудували на даху сміттєпереробного заводу лижний спуск довжиною 500 метрів, стіну для скелелазіння та інші спортивно-тренувальні об'єкти.

Світ змінюється, світ дорослішає, і люди нарешті почали розуміти справжню ціну кожній краплині чистої води, кожній пухнастій сніжинці, кожному сонячному променю. Тому найменше, що може зробити кожен – поважати й оберігати довкілля навколо себе, тримати цей світ у чистоті.

В умовах сучасних викликів забезпеченню екологічної безпеки при зберіганні та утилізації відходів слід приділяти особливу увагу.

ТПВ утворюються в результаті повсякденної життєдіяльності населення та є продуктом побутового споживання. Вони включають предмети та матеріали, які більше не можуть бути використані в побуті. Згідно із Законом України «Про управління відходами», побутовими відходами є ті, що з'являються в процесі життєдіяльності людини у житлових і нежитлових приміщеннях (серед яких можуть бути тверді, великогабаритні, ремонтні, рідкі, але виключаючи ті, що виникають внаслідок виробничої діяльності).

Відходи в цілому можна класифікувати на тверді та рідкі [5].

Проблеми, пов'язані з управлінням, зберіганням і виведенням відходів, висвітлені в працях таких відомих вітчизняних та міжнародних науковців, як Т. Ашіхмін, П. Купрієнко, Новохацька, С. Максимов, Т. Галаган, О. Швець, Н. О. Ликасов, І. Мінніахметов, Б. Мурзабулатов, Т. Овчінніков, М. Пінчук, Б. Трушін. Однак, попри значну кількість наукових досліджень, питання рекультивації полігонів та сміттєзвалищ залишаються відкритими та актуальними. У наукових працях дослідників описано актуальний екологічний стан управління відходами, розглянуто методи їх утилізації, а також запропоновано способи відновлення земель до стану, придатного для використання. Важливо відзначити, що у працях Л. Соломенка [49], присвячених дослідженню екологічної культури та етичних взаємин людини з навколишнім середовищем, розроблено проект, який сприяє зниженню обсягу побутових відходів і поліпшенню екологічної ситуації в українських

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

населених пунктах. Це дозволяє налагодити співпрацю з органами місцевого самоврядування, впливати на свідомість громадян через освітні та виховні ініціативи, використовуючи мас-медіа та активно проводити екологічні та агітаційні заходи серед населення [1].

У своїй роботі «Технологія інвентаризації місць видалення відходів за допомогою методів дистанційного зондування Землі» [18] Н. Новохацька та О. М. Трофимчук пропонують новий підхід до інвентаризації сміттєзвалищ, який використовує методи дистанційного зондування для створення єдиної бази даних і реєстру сміттєзвалищ. Ця технологія дає можливість виявляти та ідентифікувати несанкціоновані стихійні сміттєзвалища, оперативно отримувати точну інформацію про стан досліджуваної території, здійснювати своєчасний моніторинг, прогнозувати розвиток негативних явищ і процесів, що сприяє підвищенню рівня екологічної безпеки на регіональному та державному рівнях. Такий підхід дозволяє розробляти ефективні заходи для зменшення негативного впливу ТПВ на навколишнє середовище [18].

Науковці вивчають полігони ТПВ як потенційно небезпечні для екології об'єкти, аналізуючи їхній вплив на природне середовище за допомогою методів тематичного дешифрування космічних знімків та технологій геоінформаційних систем (ГІС) [33]. Використання космічних знімків і векторних карт дає змогу детально вивчити розташування полігонів ТПВ щодо населених пунктів і природно-техногенних об'єктів, а також визначити умови, за яких відбувається складування відходів. Це дозволяє оцінити їх взаємодію з навколишнім середовищем, включаючи міграцію забруднювальних речовин, що виникають під час експлуатації полігонів [33].

Сміттєзвалища та полігони виступають основними джерелами забруднення, що негативно впливає на всі складові природного середовища: атмосферу, водні ресурси, земну кору, ґрунти, біорізноманіття. Найбільше шкідливий ефект від відходів виявляється через 3-4 роки після початку

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функціонування полігону, і цей вплив продовжується ще 15-20 років після його закриття.

У наукових дослідженнях висвітлено екологічні проблеми системи поводження з відходами, проведено аналіз методів їх утилізації та окреслено шляхи відновлення земель до стану, придатного для використання.

Г. Виговська та С. Гільбран детально аналізують дані з «Регіональних доповідей про стан природного довкілля» стосовно управління відходами, визначаючи ключові чинники, що гальмують розвиток і модернізацію інфраструктури для поводження з відходами. Вони також окреслюють чотири основні заходи для розв'язування проблеми ТПВ, зокрема екологічно безпечне захоронення відходів або залишкових продуктів їх перероблення на полігонах [5].

Робота з паспортизацією та рекультивацією сміттєзвалищ здійснюється неналежним чином. Наприклад, у Полтавській області наразі 261 сміттєзвалище перебуває в стані перевантаження, а 868 об'єктів (14%) взагалі не відповідають екологічним стандартам безпеки. Процес їх паспортизації та рекультивації здійснюється недостатньо ефективно. Зокрема, із 1542 сміттєзвалищ, що потребували паспортизації, у 2020 році офіційно паспортизували лише 93, тоді як із 424 сміттєзвалищ, які слід було рекультивувати, фактично завершили роботи лише на 24 [33]. Результати аналізу поточної статистичної інформації свідчить про те, що і в інших регіонах та областях України ситуація є не кращою.

Пропоновані Н.О. Русіною та її співавторами [25] науково-методичні підходи до рекультивації полігонів ТПВ і сміттєзвалищ можуть бути застосовані для розроблення робочих проєктів, досягнення цілей сталого розвитку, а також створення належної системи й інфраструктури задля ефективного управління відходами. Це важливий крок для об'єднаних територіальних громад та відповідає Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основною метою таких досліджень є розроблення еколого-технічних засад рекультивації полігонів ТПВ і сміттєзвалищ відповідно до екологічного та земельного законодавства України, а також технічних умов Державних будівельних норм «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проєктування».

Переважна кількість нормативних матеріалів, рекомендацій і досліджень зосереджена на темі рекультивації порушених земель. Водночас питання, пов'язані з відновленням полігонів ТПВ і сміттєзвалищ, залишаються недостатньо висвітленими. Саме тому, пошук науково-методичних підходів до рекультивації полігонів ТПВ і сміттєзвалищ є важливим та актуальним завданням, зважаючи на їх негативний вплив на навколишнє середовище та необхідність подальшого використання таких земель.

Землі, зайняті звалищами та полігонами, можуть використовуватись для житлового будівництва, доріг, промислових та комунальних об'єктів, майданчиків чи рекреаційних зон після проведення рекультивації.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						16
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 2.

ВИМОГИ ДО РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ЇЇ БІОЛОГІЧНОГО ЕТАПУ

Якщо офіційно зареєстрований полігон твердих побутових відходів небезпечний в разі відсутності на його території смітесортувального обладнання чи сміттепереробного підприємства, то стихійне звалище небезпечніше в разі через відсутність контролю, а відтак – будь яких природоохоронних заходів, як і сплати податків.

Стихійне сміттезвалище може містити різні відходи надвисокого рівню небезпеки. Окрім того, їх розміщують без урахування санітарних правил і норм. Це зазвичай найбільш наближені до населених пунктів ділянки лісосмуг, яри вздовж трас, узбережжя водойм та степові зони, де вражаються отруйними речовинами значні території, гинуть рідкісні види флори й фауни, а населені пункти отримують забруднену воду і їдкий сморід від випарів у повітря.

Проблема рекультивації земель після закриття полігонів ТПВ є важливою для загальнодержавних інтересів, що включають ефективне використання земельних ресурсів та покращення екологічної ситуації в Україні.

Полігони для захоронення твердих побутових відходів є спеціалізованими інженерно-екологічними об'єктами, призначеними для збирання, оброблення та знищення ТПВ, що сприяє запобіганню забрудненню довкілля та його компонентів. Оскільки ці полігони мають обмежений період експлуатації, вже на етапі проектування передбачається їх рекультивація. Це також здійснюється, навіть якщо термін їх експлуатації ще не завершений, але полігон досяг максимального рівня накопичення відходів [33].

Процес рекультивації залежить від ряду несприятливих факторів, характерних для звалищ, і може передбачати повне або часткове видалення

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забрудненого ґрунту з його заміною на чистий чи прикриття існуючого ґрунту шаром нормативно чистого.

Цей процес передбачає визначення обсягу робіт, із урахуванням усіх негативних впливів, що виникають через сміттєзвалища. Це може включати повне або часткове видалення забрудненого ґрунту з його подальшою заміною на чистий ґрунт або покриття верхнього шару забрудненого ґрунту чистим нормативним ґрунтом [25, 32].

Рекультивация земель є кінцевим етапом роботи полігону, що проводиться після завершення його експлуатації, коли досягнуто стабільного стану. Тривалість стабілізаційного процесу варіюється залежно від типу рекультивации та кліматичних умов України і може тривати 1-10 років [32].

Усі роботи здійснюються у два етапи: технічний і біологічний.

Перед розробленням проєкту рекультивации необхідно провести низку інженерно-екологічних досліджень. Технічний етап рекультивации включає в себе стабілізацію, вирівнювання та терасування (планування території полігону), створення системи дегазації, укладання багатофункціонального покриття, встановлення обладнання для збирання фільтрату та стічних вод, а також передачу ділянки для виконання біологічного етапу рекультивации.

Екран на поверхні є ключовим елементом у проєкті рекультивации сміттєзвалища, його завдання – це забезпечення відведення газів, що виникають через розкладення відходів, а також запобігання проникненню зливових вод. Це необхідно для уникнення утворення надлишкових забруднених фільтратів всередині полігону. Окрім цього, екран сприяє формуванню верхнього шару ґрунту, що підлягає рекультивации, та інтеграції об'єкта в навколишній ландшафт або екосистему. Згідно з оновленнями в ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основи проєктування», захисний екран повинен бути розташований поверх технологічного екрана, встановленого під час експлуатації полігону ТПВ, і складається з кількох шарів [42]:

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– рекультиваційний шар складається з родючого ґрунту та перехідного шару з суглинку, загальна товщина яких повинна бути не меншою, ніж 0,5 м;

– дренажний шар із піску товщиною не меншою 0,3 м;

– захисний шар для геосинтетичної (геомембранної) гідроізоляції, який може бути виготовлений із дрібного піску, подрібненого суглинку або дрібнозернистих промислових відходів (IV класу небезпеки), має максимальний розмір часток 0,5 мм і товщину 0,3 м. Інший варіант – захисний шарі з геотекстилю, з поверхневою щільністю 300-800 г/м²;

– вторинний бар'єр – геосинтетична (геомембранна) гідроізоляція завтовшки не менше 1,5 мм з коефіцієнтом фільтрації води, що не перевищує 10⁻⁹ м/с. Для забезпечення надійного зчеплення захисного ґрунту з геомембраною на схилах полігону рекомендується використовувати геомембрани з текстурованою поверхнею.

– основний бар'єр, виготовлений із мінеральних матеріалів, з коефіцієнтом водної фільтрації, що не перевищує 10⁻⁹ м/с: з глини товщиною не менше 0,5 м або з трьох шарів бентонітових матів із поверхневою щільністю бентоніту 3700 г/м²;

– газовий дренаж (щебінь фракцій від 20 до 40 мм або геокомпозит) товщиною не менше 0,3 м;

– технологічний екран (суглинистий) товщиною не менше 0,2 м.

Сучасні захисні бар'єри виготовляються з геомембран та теплоізоляції – геосинтетичних матеріалів, що володіють підвищеною пластичністю і гідроізоляційними властивостями, необхідними для забезпечення екологічної безпеки при взаємодії полігонів для твердих побутових відходів із навколишнім середовищем. Їх потужність варіюється від 0,5 до 5 мм.

Основні переваги використання геосинтетичних матеріалів включають їх високу стійкість до різних хімічних впливів та механічних навантажень, що сприяє тривалому терміну служби; легкість у монтажі завдяки невеликій вазі, рулонній формі та доступності матеріалів для зварювання, таких як будівельні фени та гарячі клини; збільшення обсягу полігонів ТПВ і

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зниження потреби в глині, щебеню та піску на їх території. Ці переваги дозволяють знизити витрати на транспортування, встановлення та обслуговування матеріалів упродовж довготривалого використання..

У європейських країнах для засипки полігонів здебільшого використовуються геосинтетичні матеріали, зокрема бентонітові мати, захисний геотекстиль та дренажні мати [40]. Така практика отримала широке застосування в Німеччині.

Біологічний етап рекультивації включає серію агротехнічних і фітомеліоративних заходів, спрямованих на відновлення порушених земельних ділянок. Цей етап здійснюється після завершення інженерно-технічних робіт і триває упродовж чотирьох років. Після закінчення всього комплексу робіт, рекультивовані землі та їх прилегла територія повинні мати вигляд ефективно організованого та екологічно збалансованого стійкого ландшафту.

Рекультивація земель, що були закриті як полігони, дає змогу відновити родючість ґрунтів та згодом сприяти використанню цих площ для інших цілей. Процес рекультивації, який включає як технічні, так і біологічні методи, передбачає різні напрями подальшого використання, зокрема: лісове господарство, сільське господарство, рекреація та будівництво. Вибір одного або кількох способів рекультивації залежить від ряду факторів: специфіки природних умов, географічного розташування, технічних характеристик земель, майбутнього використання відновленої території та терміну реалізації робіт.

Технічний етап рекультивації передбачає:

1) Проектно-структурний підхід, основна мета якого полягає у створенні проектів для формування нових ландшафтних комплексів та поверхонь, включаючи профілювання, терасування, вертикальне планування та інші методи);

2) Хімічний метод, що включає використання різних хімічних сполук (наприклад, вапна, гіпсу, глини, сорбентів, мінеральних добрив та інших), які,

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

взаємодіючи з поверхнею ґрунту, допомагають покращити його характеристики та відновити властивості.;

3) Гідротехнічні роботи спрямовані на зменшення надмірної вологості ґрунту;

4) Теплотехнічний процес, що включає збір біогазу за методикою пасивної дегазації та проєктування газової дренажної системи.

Роботи з рекультивації закритих сміттєзвалищ повинні розпочинатися вже під час їх експлуатації. Це включає заходи, такі як формування укосів, встановлення дренажних колекторів та газодренажних систем. Враховуючи, що більшість полігонів ТПВ експлуатуються з істотними відхиленнями від затверджених проєктів, це часто супроводжується тривалим негативним впливом на навколишнє середовище, що іноді призводить до катастрофічних наслідків. Рекультивація таких полігонів після завершення їх роботи іноді стає неможливою без застосування нестандартних рішень у проєктуванні.

Основними перспективними завданнями є розробка заходів для рекультивації несанкціонованих або стихійних сміттєзвалищ, яких на території країни налічується 32984. Крім того, важливим напрямком наукового дослідження є можливість повторного використання рекультивованих полігонів для зберігання відходів, що дозволить багаторазово використовувати майданчики для захоронення твердих побутових відходів. Така рекультивація надасть змогу вирішити проблему виділення нових земель для полігонів ТПВ, очистити старі звалища, виконати вимоги діючих нормативних стандартів для об'єктів захоронення ТПВ, багаторазово використовувати ці території для захоронення відходів, зберігати природні ресурси завдяки вторинній переробці матеріалів (скло, метали, пластики), а також використовувати ґрунт, отриманий під час сортування для пересипання ТПВ і рекультивації. Це дозволить виключити необхідність видобутку ґрунту для кар'єрів і знизити витрати на етапі інвестицій та капітальних витрат [25].

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 3.

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЗЕМЕЛЬ ПІСЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ ПОЛІГОНІВ ТПВ ТА СМІТТЄЗВАЛИЩ

Проблема очищення ґрунтів в Україні набуває особливої важливості. На забруднених територіях спостерігається забруднення біоценозів різними шкідливими речовинами, такими як паливно-мастильні матеріали, вибухові речовини, важкі метали та інші токсичні сполуки. Це негативно впливає на стан агробіоценозів і екосистем. Наприклад, наявність у ґрунтах важких металів спричиняє їх накопичення в культивованих на забруднених землях рослинах. Ці метали надходять у харчові ланцюги, прикінцевим етапом яких є організм людини.

Українські небезпечні важкі метали, такі як свинець (Pb), кадмій (Cd), ртуть (Hg) та ін., володіють токсичним впливом на людину. Вони можуть викликати різні хвороби, зокрема порушення роботи нервової системи, печінки, нирок, інших внутрішніх органів [24]. Для вирішення проблеми забруднення ґрунтів шкідливими елементами та сполуками науковці розробили методи, які сприяють відновленню родючості ґрунтів і підготовці їх до використання для різних потреб, зокрема й у сільськогосподарських інтересах. Найпоширенішими є фізичні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні способи очищення ґрунту. Проте, серед них найбільш перспективним для застосування в Україні є метод фіторемедіації. Він передбачає поглинання важких металів рослинами з подальшою утилізацією рослинної маси. Однак, він потребує уточнення, довивчення, так як більшість важких металів накопичується в коренях та інших підземних органах рослин, що ускладнює повну утилізацію цих рослин і їх частин [9].

Науковими дослідженнями доведено, що високий тиск та випалювання (загоряння сміттєзвалищ) призводить до дроблення та пошкодження верхнього шару ґрунту. Це, у свою чергу, погіршує фізико-хімічні та

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

агрохімічні властивості ґрунту, зменшує біологічну активність і веде не тільки до зниження його родючості, а й до підвищення концентрації таких важких металів, як Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Mn. Необхідно підкреслити, що забруднення великих територій спричиняє не лише екологічні проблеми, але й веде до значних економічних втрат [35].

Дослідження, виконані закордонними вченими [36-38], вказують на існування особливої групи рослин, званих гіперакумуляторами важких металів. Це такі види рослин, які можуть розвиватися на ґрунтах із високим вмістом важких металів, поглинаючи їх у значних кількостях упродовж свого вегетаційного періоду без прояву явних ознак фітотоксичності.

До таких культур із найбільшим потенціалом для поглинання забруднювальних речовин належать *Pisum sativum* L. та *Miscanthus giganteus* L., що робить їх відповідними для вирощування на ґрунтах, які мають високий рівень забруднення. Проте, важливо ретельно обрати оптимальні культури для фітореMediaції сільськогосподарських земель. Ряд із таких є енергетичними, які використовуються для виробництва таких горючих ресурсів, як брекети та пелети. Наприклад, *Ricinus communis* L. вже сьогодні застосовується для виготовлення біоетанолу, що підвищує її цінність у фітореMediaційних програмах, оскільки її біомасу не планується використовувати для харчування. Культивування таких енергетичних культур, як *Miscanthus giganteus*, забезпечує зміцнення енергетичної незалежності України, зменшуючи залежність від традиційних викопних палив і підтримуючи розвиток відновлювальних джерел енергії. Важливо також враховувати кліматичні умови регіону при виборі культури для фітореMediaції. Наприклад, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, яке традиційно культивують на півдні країни завдяки його легкій адаптації до місцевих температурних умов.

При розробці фітореMediaційних стратегій важливо враховувати не тільки вид забруднення, але й перспективи подальшого застосування біомаси. Такий підхід дозволяє не тільки ефективно санувати ґрунт, а й

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

отримувати економічні вигоди та знижувати потенційні ризики для здоров'я людей.

Таблиця 1

Список культур – гіперакумуляторів важких металів

<i>Miscanthus giganteus</i> L.	Ni, Cr, Zn, Co, Sr Cu, V, U, Mn, As, Pb,
<i>Brassica juncea</i> L.	Cd, Zn, Hg, As, Pb
<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench	Pb, Cd, Zn
<i>Ricinus communis</i> L.	Cd, Pb, Ni, As, Cu, паливно-мастильні матеріали
<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench	Cd, Pb, As, нафтові вуглеводні
<i>Pisum sativum</i> L.	Cd, U, Fe, Pb, Co, Cu Cr, Mo, Zn
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd	Cd, Pb, Cu, N

3.1. Типізації рекультиваційно-відновних біотехнологій

Одні з перших наукових робіт, що вивчали використання рослин для очищення забруднених ґрунтів, були здійснені в Ізраїлі ще в 50-х роках минулого століття. Проте, суттєвий розвиток цієї технології розпочався лише в 80-х роках ХХ століття. Внаслідок появи ефективного та економічного методу був введений термін «фітореMediaція навколишнього середовища», який означає відновлення екосистем, порушених людською діяльністю, з участю рослин.

У 2003 році в Києві відбувся семінар щодо проблем фітореMediaції забруднених ґрунтів, організований під егідою Агентства з охорони навколишнього середовища США, на якому обговорювалися питання очищення ґрунтів, що забруднені стійкими ксенобіотиками органічного походження.

Сучасні методи фітореMediaції ґрунтів включають різноманітні технології, такі як фітодеградація, ризофільтрація, фітоекстракція, фітоволоталізація та ін. Для того, щоб вибрати відповідну методику, необхідно здійснити детальний аналіз території, що підлягає відновленню, визначити тип токсичних речовин, їх концентрацію, глибину проникнення в

грунт, а також тип ґрунту, рівень ґрунтових вод, кількість опадів під час вегетаційного періоду та інші фактори. Одним із важливих етапів розробки фітореMediaційних технологій є вибір рослин, здатних ефективно поглинати забруднювачі з ґрунту. Зазвичай використовують місцеві види рослин, хоча іноді застосовуються й генетично модифіковані рослини.

До основних і впроваджених методів фітореMediaції належать [10]:

Фітоекстракція застосовується для очищення земель і водних об'єктів, що забруднені важкими металами та радіонуклідами. Цей процес характеризується поглинанням забруднюючих речовин кореневою системою рослин разом із поживними елементами, а також їх подальшою надходженням до надземних частин рослини. Після завершення вегетаційного періоду та процесів транслокацій, надземні частини рослин скошуюються та піддаються відповідній обробці. Наприклад, після спалювання зібраної біомаси утворений попіл може стати джерелом кольорових металів. Якщо вартість видобутку металів із попелу є вищою за їх ринкову ціну, рослинну біомасу можна й компостувати. Рівні ефективності фітоекстракції оцінюються за допомогою коефіцієнта біоаккумуляції, що визначається як співвідношення концентрації металів у рослинах до їх концентрації в ґрунті або воді, що забруднена.

Ризофільтрація – це метод, при якому враховується здатність рослин формувати мікросередовище навколо коренів, що сприяє проникненню та накопиченню різних речовин в організм рослини. Однією з головних переваг цього методу є його низька вартість та можливість використання широкодоступних рослин, включаючи дерева. Для ефективного застосування в ризофільтраційних процесах рослини повинні відповідати певним критеріям: швидко рости, активно накопичувати біомасу та мати розвинену кореневу систему. Це здебільшого багаторічні рослини з широкими листками, які добре ростуть у різних кліматичних умовах, як у теплому, так і в холодному. Багато водних та болотних рослин підходять під ці вимоги. Рослини взаємодіють з мікроорганізмами, що населяють ґрунт.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі фотосинтезу рослини накопичують енергію сонця у вигляді вуглеводів (цукрів). 10-20% цієї енергії використовуються для синтезу і виділення речовин (цукрів, спиртів, органічних кислот) у прикореневу зону, що стимулює розвиток мікроорганізмів. Тому поруч із коренем у кожному кубічному сантиметрі утримується близько 130 мільярдів мікроскопічних організмів, і на відстані 10 см їх кількість зменшується до 20 мільярдів.

Основним процесом фітореMediaції ґрунту є біологічне розкладання вуглеводнів нафти за допомогою мікроорганізмів, чия активність підвищується завдяки виділенням з кореневої системи рослин. Фітодеградація або фітотрансформація передбачає як «внутрішнє» розкладання вуглеводнів рослиною через їх поглинання та переробку під час метаболічних процесів, так і «зовнішнє», при якому нафтопродукти розкладаються завдяки впливу кореневих виділень. Це, безсумнівно, є однією з ключових особливостей фітореMediaції. Вона базується на здатності рослин спільно з ґрунтовою мікрофлорою ферментативно розкладати органічні токсичні речовини в ґрунті. Під час цього процесу також відбувається усунення неорганічних токсичних забруднювачів, таких як важкі метали та радіонукліди.

Фітодеградація, як біотехнологія, продемонструвала свою ефективність при очищенні ґрунтів, забруднених високими рівнями ароматичних, аліфатичних і поліциклічних вуглеводнів, пестицидів, фенолів та інших токсичних речовин. Кожна рослина має здатність розкладати токсичні сполуки. Чимало водоростей також активно здійснюють метаболізм органічних токсикантів.

Основний принцип **фітоволоталізації** полягає в здатності рослин до газообміну та транспірації – процесу випаровування води через листя. Токсичні речовини, що потрапляють у рослину через корені, вивільняються в атмосферу разом з транспіраційним потоком. Це біотехнологічне рішення виявилось ефективним для очищення ґрунтів і водних ресурсів від органічних і навіть деяких неорганічних елементів, наприклад, ртуть і селен.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Ця технологія має певні значні обмеження: не перетворені токсичні речовини, що надходять до атмосфери, можуть увійти до трофічного ланцюга та спричинити вторинне забруднення екосистеми.

Фітостабілізація – процес зменшення рухливості забруднювачів у ґрунті за рахунок їх адсорбції кореневою системою рослин або часточками ґрунту. Це дозволяє перетворити токсичні речовини в малорухливі форми, запобігаючи їх переміщенню в навколишньому середовищі.

Фітостимуляція – стимулювання мікробного метаболізму в ризосфері рослин, що сприяє посиленню процесу очищення ґрунту від забруднювачів.

Фітовипаровування – процес видалення летких неотруйних сполук із ґрунту в атмосферу за допомогою рослин.

Ризодеградація – розкладання ксенобіотиків у ризосфері рослин за допомогою мікроорганізмів.

Існують різні методи відновлення забруднених земель, зокрема механічне видалення та ізоляція забруднених важкими металами, нафтопродуктами та пестицидами ґрунтів. До того ж, використовуються фізичні й хімічні методи очищення, такі як електрокінетичні методи, промивка, стабілізація, окислення або відновлення. Проте, вони здебільшого є малоефективними та дороговартісними, і часто призводять до вторинного забруднення навколишнього середовища. До того ж, вони здебільшого підходять лише для локалізованих забруднених ділянок.

Для фізичного та хімічного очищення від сміття та забруднень необхідні значні фінансові ресурси, що ускладнює впровадження екологічно чистих ініціатив. Для боротьби з промисловими відходами, забрудненим ґрунтом і водами, науковці пропонують застосовувати доступні природні методи. Зокрема, пропонується висаджувати на забруднених ділянках рослини, що здатні до фіторемедіації. Цей підхід є значно дешевшим за будівництво спеціалізованих очисних споруд і є більш екологічно безпечним. Економічна вигідність фіторемедіації, ймовірно, є основним аргументом на користь цієї технології. Біологічний метод відновлення екосистем, порушених людською

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

діяльністю, є найефективнішим із економічної точки зору та найменш шкідливим для навколишнього середовища. Наприклад, індійський еколог М. Н. Прасад виявив, що витрати на очищення ґрунтів, забруднених важкими металами, радіонуклідами, нафтою та пестицидами за допомогою рослин, які отримують енергію лише від сонця, складають лише 5% від витрат на інші методи відновлення екосистем.

Американські вчені, у свою чергу, підраховали, що відновлення забрудненого ртуттю ґрунту (до 50 см глибини) на площі одного акра (0,4 га) коштує від 400 тисяч до 1,7 мільйона доларів, тоді як використання технології фітореємедіації обійдеться лише в 60-100 тисяч доларів.

Отже, визначення рослин, які здатні накопичувати ксенобіотики в природних екосистемах регіонів, є важливим напрямом досліджень. Відомі рослини, які здатні накопичувати надмірні кількості важких металів, а також ті, що можуть зберігати пестициди та перетворювати їх на безпечні речовини. Вони зростають на забруднених та непридатних для інших видів землях. До таких належать: талабан, гіриця сарепська, види лободи, коноплі та деякі інші. Встановлено, що деякі дикорослі злакові рослини здатні адаптуватися до умов ґрунту, забрудненого важкими металами [36].

Дослідження показують, що головними джерелами забруднення навколишнього середовища є гідроелектростанції, теплоелектростанції, котельні, металургійні підприємства чорних та кольорових металів, а також нафтохімічні комплекси. Основними методами фітореємедіації є: фітоекстракція, ризофільтрація, фітодеградація, фітоволоталізація.

Таким чином, фітореємедіація є інноваційною та ефективною технологією, яка має потенціал для захисту біосфери планети. Вона є більш ефективним і економічно доцільним способом очищення навколишнього середовища порівняно з традиційними методами. Основні труднощі, які виникають при провадженні цієї біотехнології, пов'язані зокрема із низьким рівнем екологічної свідомості землекористувачів та землевласників та недосконалість екологічного законодавства.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Фіторемедіація як метод очищення забруднених ґрунтів

Відновлення деградованих земель є складним і інколи непосильним завданням, оскільки втрата їх природної родючості пов'язана з порушенням різноманітних процесів і явищ, у яких беруть участь рослини та інші організми ґрунту. Одним із перспективних рішень є вирощування енергетичних культур на забруднених і деградованих землях, що дозволяє уникнути використання орних земель сільськогосподарського призначення для цих цілей, а також знизити конкуренцію між землекористуванням для харчових та енергетичних потреб [42].

Актуальним є дослідження нових енергетичних культур, які можуть бути використані для виробництва як рідкого, так і твердого біопалива, а також оцінка їх здатності до фіторемедіації забруднених територій. Однак, на сьогоднішній день недостатньо наукових даних та досліджень, що стосуються здатності енергетичних культур до очищення ґрунтів. Не до кінця вивчені також специфічні аспекти використання цих рослин для фіторемедіації забруднених земель в умовах різних типів забруднень.

Один із найскладніших викликів сучасної науки – це відновлення родючості ґрунтів та їх захист від забруднення. Це питання вимагає реалізації ряду фізико-хімічних і біологічних методів. Українським важливим завданням є розроблення нових підходів до очищення забруднених ґрунтів, що має велике значення як у теоретичному, так і в практичному контексті.

Фіторемедіація – це один із найдієвіших способів очищення ґрунтів від забруднюючих речовин за допомогою рослин. Цей процес не потребує видалення ґрунту, що сприяє охороні та відновленню екосистеми. Вона також допомагає покращити якість ґрунтів, захищати їх від ерозії та може бути застосована на значних за площею територіях.

Основним чинником, що сприяє розвитку зеленої енергетики, є здатність енергетичних культур адаптуватися до малородючих ґрунтів, ефективно

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

накопичуючи біомасу в таких умовах. Коренева система цих культур при тривалому вирощуванні на одному місці сприяє збільшенню органічної складової ґрунту, що, в свою чергу, покращує його родючість. Після завершення вегетації надземна частина рослин може бути перероблена для отримання біопалива або використана як джерело кольорових металів, що також сприяє енергетичним та іншим господарським потребам.

Високий рівень продуктивності біомаси енергетичних рослин здатний зробити фіторе mediaцію вигідною та перспективною для біоенергетичної галузі.

Техногенне забруднення навколишнього середовища має всесвітній характер. Людська діяльність призвела до деградації ґрунтів, їх забруднення пестицидами, радіоактивними елементами та важкими металами. До категорії земель несільськогосподарського використання належать забруднені території біля гірничих і металургійних підприємств, кар'єри, полігони для твердих побутових відходів та інші маргінальні землі, де спостерігається перевищення ГДК неорганічних (важкі метали: Pb, Cr, Al, Zn, Ni тощо) і органічних (поліциклічні ароматичні вуглеводні, без(а)пірен, фенатрен, поліфенольні з'єднання тощо) речовин [39].

Основними джерелами забруднення є коксохімічні підприємства, установки, що спалюють викопне паливо, – ТЕС, ГЕС, котельні, чорна та кольорова металургія, хімічна промисловість, виробництво будівельних матеріалів, целюлозно-паперова, нафтохімічна та паливна галузі, а також транспорт, комунальні послуги та сільське господарство. Нафтова промисловість, включаючи видобуток і переробку нафти, завдає комплексної шкоди навколишньому середовищу, створюючи численні екологічні проблеми. Це також включає загальний внесок забруднювальних речовин у процеси деградації ґрунтів.

Ступінь деградації ґрунтів значний, а процес їх відновлення є важким, дороговартісним, затратним і повільним. Експерти в галузі ґрунтознавства наголошують, що для відновлення продуктивності виснажених та

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пошкоджених земель потрібні великі фінансові вкладення. Рекультивація забруднених територій має починатися з розробки методів їх використання в агропромисловому виробництві, що дозволить швидко відновити ці землі та отримувати з них безпечні продукти [24].

Таблиця 2

Вплив забруднення на ґрунтові екосистеми

Пестициди	Дія пестицидів призводить до змін у складі мікробіоценозу ґрунту, що впливає на чисельність та структуру популяцій ґрунтових мікроорганізмів, що може погіршити процеси природного очищення. Негативні наслідки застосування пестицидів включають зниження біологічної продуктивності, порушення роботи ґрунтових мікробіоценозів, накопичення залишків пестицидів і їх похідних у поверхневих водах, ускладнення відновлення родючості, зниження харчової цінності сільськогосподарських культур тощо. Ступінь негативного впливу залежить від технології застосування пестицидів, методів обробки ґрунту чи рослин. Пестициди можуть бути не тільки токсичними, але й стійкими. Найбільшу стійкість проявляють хлорорганічні пестициди, а період їх напіврозпаду, зокрема для сполук, що містять миш'як, свинець або ртуть, може тривати до 20 років. У ґрунті ці речовини піддаються фотохімічному та біохімічному розпаду, що виявляється в таких процесах, як випаровування в атмосферу, адсорбція частками ґрунту та гумусу, поглинання та трансформація ґрунтовими організмами, а також переходять до рослин. Сукупність цих процесів визначає стабільність агрохімікатів у ґрунтового середовищі.
Важкі метали та їх сполуки	Найбільш небезпечні забруднювачі ґрунту відзначаються високою стабільністю, токсичністю та здатністю до накопичення, що має негативний вплив на живі організми. Викиди відпрацьованих газів автомобілів містять токсичні елементи, такі як кадмій і свинець. Забруднення ґрунтів уздовж автомагістралей цими металами відзначається своєю тривалістю та стійкістю. Сільськогосподарські землі забруднюються важкими металами через атмосферні викиди підприємств, відходи від тваринницьких ферм і використання мінеральних добрив та пестицидів. Органічні добрива, такі як гній і компост, також можуть містити значні кількості важких металів. Після внесення органічних добрив у ґрунт підвищується рівень свинцю, кадмію, міді, цинку, заліза та марганцю. Одним із головних джерел кадмію є продукти горіння. Вміст кадмію в деревній золи може варіюватися від 2 до 30 мг/кг, а в солом'яній золи досягати 10 мг/кг. Під час лісових пожеж відбувається серйозне забруднення атмосфери, ґрунту і води кадмієм. Зола, яка має лужну реакцію, містить кадмій, який розчиняється у воді і погано засвоюється рослинами, але накопичується в ґрунті і, при закисленні, стає доступним для поглинання рослинами.
Радіонукліди	Чорнобильська катастрофа призвела до значного і тривалого радіоактивного забруднення великих територій, зокрема через

	<p>цезій, стронцій та плутоній. Одним із серйозних наслідків цієї аварії стало забруднення сільськогосподарських земель. Під обмеження потрапило близько 5 млн. гектарів (50 тис. км²) територій, серед яких 3,5 млн. гектарів – орні землі, а 1,5 млн. гектарів – ліси. Радіонукліди потрапляють у природний круговорот, накопичуються в ґрунті, воді та живих організмах. На даний момент, порівняно з початковим періодом після Чорнобиля, радіаційна ситуація в Україні на забруднених територіях покращилася завдяки природному розпаду радіоактивних елементів, процесам їх фіксації та перерозподілу в ґрунті, а також низці заходів, спрямованих на підвищення біогеохімічних бар'єрів для блокування радіонуклідів у ґрунтах. Однак, особливу загрозу представляє радіоактивно забруднена продукція на пасовищах і сіножатах забруднених зон, що знаходяться на болотистих і торфових ґрунтах, де спостерігаються високі коефіцієнти накопичення цезію-137 у рослинах.</p>
<p>Нафта і нафтопродукти</p>	<p>Нафта та її похідні є рідкими забруднювачами, які активно поширюються в ґрунті. Їхня висока рухливість не тільки створює загрозу поширення на великих територіях під час аварій, а й може призвести до забруднення ґрунтових, підземних і поверхневих вод. Негативний вплив смолисто-альфальтенових складових на ґрунтові екосистеми полягає не тільки в їхній хімічній токсичності, але й у порушенні водно-повітряного балансу, зниженні здатності ґрунту утримувати вологу, а також у блокуванні доступу до мінералів через гідрофобізацію поверхні ґрунтових частинок важкими вуглеводневими фракціями. Це також спричиняє пригнічення біологічних процесів. Якщо нафта проникає в ґрунт зверху, її смолисто-асфальтенові компоненти затримуються в верхньому гумусовому шарі, цементуючи його. Це призводить до зменшення пористості ґрунту. Чорний колір нафтозабруднених ґрунтів сприяє надмірному поглинанню сонячної енергії [3, 9, 10].</p>

Очищення забруднених ґрунтів є важливим екологічним завданням в Україні.

Рослини можуть поглинати ксенобіотики, трансформувати їх через метаболічні процеси та накопичувати на своїх поверхнях. У зв'язку з цим, фітореMediaція вважається перспективним і сучасним методом відновлення хімічно забруднених ґрунтів різного походження в розвинутих країнах. ФітореMediaція, як один із ключових методів відновлення екологічних функцій та властивостей ґрунту, передбачає ряд підходів, що базуються на природних процесах. До таких методів належать: фітостабілізація, фітоекстракція, фітостимуляція, дітодеградація (або фітотрансформація),

					<p>601-мТЗ 11393649 ПЗ</p>	<p>Арк.</p>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<p>32</p>

фітовипаровування, ризофільтрація, ризодеградація та ін, які більш детально охарактеризовані в попередньому підрозділі.

Ці методи сприяють відновленню екосистем та підтриманню біорізноманіття, зменшуючи забруднення й покращуючи екологічний стан довкілля.

Питання розробки методів екологічної ремедіації забруднених ґрунтів залишаються актуальними, зокрема щодо здатності різних фіторемедіантів відновлювати природний стан ґрунту (як його структуру, так і функції), ефективно розвивати кореневу систему та надземну вегетацію, а також демонструвати високу біоаккумуляційну здатність.

3.3. Значення фіторемедіації в очищенні ґрунтів від важких металів

Однією із найбільших загроз для здоров'я людей і тварин є забруднення важкими металами. Ці елементи не піддаються розкладу в природі і поступово накопичуються в організмах живих істот. Потрапляючи в рослини, важкі метали можуть порушувати обмінні процеси, що в кінцевому підсумку призводить до зниження врожайності та збільшення ризику забруднення токсичними речовинами наступних рівнів трофічного ланцюга [24].

У наукових працях досліджено різноманітні аспекти негативного впливу важких металів на навколишнє середовище. Однак, питання методів зниження концентрації важких металів у ґрунтах ще не отримали достатнього висвітлення.

Одним із перспективних напрямів є фіторемедіація – сукупність екологічних технологій, що базуються на використанні рослин і мікроорганізмів, асоційованих із ними, для очищення земель від забруднень, зокрема важких металів, радіонуклідів і пестицидів.

Фіторемедіаційні технології активно розвиваються в глобальному масштабі, однак в Україні цей напрям знаходиться на початкових етапах. Спочатку фіторемедіація була запропонована як метод очищення ґрунтів від

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забруднень важкими металами. Дослідження показали, що деякі рослини мають здатність не лише витримувати, але й абсорбувати та накопичувати значно більшу кількість іонів свинцю, ртуті, цинку та інших шкідливих металів порівняно з іншими видами рослин [10]. Це відкриття дозволило зробити висновок, що для очищення ґрунтів достатньо висіяти на них спеціальні рослини, які накопичують важкі метали. Наприкінці сезону зібраний «врожай» цих металів можна транспортувати до спеціально відведеного місця для подальшого вилучення чи знешкодження. Основою цієї технології є природний біологічний цикл, який включає вирощування рослин-акумуляторів, поліпшення якості ґрунтів і їх захист від ерозійних процесів.

ФітореMediaція має кілька переваг перед традиційними фізичними методами очищення: вона ефективна на великих за площею територіях, значно дешевша, не потребує спеціалізованого обладнання і сприяє збереженню природи та поліпшенню якості ґрунтів через вирощування рослин.

У дослідженні [2] було вивчено процес міграції свинцю та кадмію в системі «ґрунт – рослина» за допомогою цих рослин. Експерименти проводились як у польових, так і в лабораторних умовах. На основі отриманих експериментальних даних були розраховані показники впливу важких металів на рослини, зокрема фітотоксичний ефект, що визначається як зниження біомаси рослин, що ростуть на забрудненому ґрунті, порівняно з біомасою рослин на умовно чистому ґрунті. Також оцінювався показник фітотоксичності, який відображає накопичення важких металів у рослинах при зменшенні їх біомаси, а також коефіцієнт біологічного поглинання, що характеризує здатність металів мігрувати з ґрунту в рослини. Встановлено, що найбільше плюмбум та кадмій (60-65 %) накопичуються в наземних частинах рослин. Рівень вилучення цих металів з ґрунтів залежить від їх складу і зростає в такому порядку: важкосуглинкові, середньо-суглинкові та легкосуглинкові ґрунти.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для біологічного очищення ґрунтів застосовують гречку та кормові боби, які відзначаються здатністю активно виводити з ґрунту такі метали, як мідь, нікель, цинк, кобальт, свинець та кадмій [34, 35].

У дослідженні [48] розглянуто метод застосування бобових трав для очищення ґрунтів, забруднених важкими металами. Цей метод передбачає висів культур, здатних накопичувати важкі метали з ґрунту, а також їх подальше скошування. У перший рік після висіву, на стадії формування стебел, проводиться аналіз вмісту важких металів у зеленій масі. Якщо концентрація важких металів на цій стадії не перевищує встановлені норми більш ніж удвічі, трави залишають до фази цвітіння для використання як корм. У дослідженні [40] зазначається, що *Calamagrostis epigeios* є ефективним засобом для рекультивації полігонів твердих побутових відходів. Ця рослина здатна активно накопичувати важкі метали, зокрема нікель. У його листях концентрація нікелю може досягати 703 мг/кг, а в коренях – 346 мг/кг сухої маси. Завдяки високій продуктивності вівника (15 ц/га), рослина сприяє виведенню рухомих форм важких металів з відходів та знижує їх концентрацію в ґрунтах до рівня, що в 5-10 разів є нижчим за пороговий.

Вивчення використання рапсу для вилучення важких металів, таких як кадмій, мідь і цинк, з ґрунтів проводилось в Італії [42].

Встановлено, що додавання металів у ґрунт у кількості 50, 500, 600 мг/кг не викликає значного пригнічення рослин. Виведення важких металів зростає з накопиченням їх у надземних частинах рослин. Для ефективної фітореMediaції рекомендується використовувати рапс для очищення від кадмію та цинку на забруднених територіях. Для покращення результативності цього процесу пропонується застосування таких речовин, як етилендіамінтетраацетат, хітозан, гідроксиетилідендифосфонові та бурштинові кислоти, які підвищують рухливість металів і сприяють їх швидшому проникненню в рослини. Переміщення важких металів в ґрунті визначається їх здатністю до адсорбції на органо-мінеральних сполуках.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Дослідження адсорбційних властивостей ґрунтових мінералів є ключовим для розуміння процесів фітореMediaції.

Адсорбція важких металів на ґрунтових компонентах сприяє їх накопиченню, а формування стабільних комплексів з органічною речовиною, що не адсорбується, підвищує мобільність металів, полегшуючи їх переміщення в кореневі системи рослин. Ці властивості використовуються в фітореMediaції для очищення навколишнього середовища.

У дослідженнях, наведених у [13], було виявлено значне винесення цинку зі світло-каштанових ґрунтів за допомогою гірчиці сарептської. Дослідження показали, що ефективність вилучення цинку значно зростає при застосуванні фітоекстрактора – гідроксиетилідендифосфонової кислоти. Зокрема, при збільшенні дози цієї кислоти з 0,175 моль/кг до 0,70 моль/кг коефіцієнт концентрації цинку (співвідношення вмісту металу в рослині та ґрунті) підвищується від 0,26 до 2,48 разів [13].

Поряд із практичною значущістю фітореMediaції (очищення ґрунтів через виведення важких металів), також розглядається механізм токсичної дії сполук важких металів на живі організми. Згідно з поглядами авторів [25], важкі метали вступають у реакцію з функціональними групами білків рослин, зокрема амінними, карбоксильними, сульфідними, що підтверджується схемою:



Ці взаємодії змінюють структуру білкових молекул, що впливає на їхню ферментативну та транспортну здатність. Сильна хімічна прив'язаність більшості важких металів до зазначених функціональних груп сприяє накопиченню токсичних речовин у рослинах.

Основними завданнями фітореMediaції на сьогодні є вибір рослин-гіперакумуляторів для видалення важких металів із забруднених територій, дослідження принципів роботи фітоекстракторів, визначення ділянок з підвищеним рівнем важких металів, що можуть бути очищені завдяки

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

новітнім біотехнологіям. Перспективним напрямом є розробка рослин на основі генетичної інженерії, які здатні більш ефективно, ніж існуючі на даний час види, накопичувати важкі метали.

ФітореMediaція ґрунтів, що зазнали хімічного забруднення різного походження та піддаються постійному впливу техногенних забруднювачів, є одним із найперспективніших напрямів відновлення їх властивостей, екологічних функцій і якості. Проте, питання відновлення родючості ґрунтів і їх захисту від забруднення залишаються одними з найскладніших наукових викликів сучасності. Це пояснюється тим, що ефективне вирішення проблеми ремедіації забруднених ґрунтів передбачає подолання численних методичних, технологічних та правових труднощів і потребує комплексного застосування фізичних, хімічних, фізико-хімічних і біологічних методів. Враховуючи це, розробка нових способів зниження інтенсивності деградації ґрунтів під впливом техногенного хімічного забруднення є надзвичайно важливою як у теоретичному, так і в практичному контекстах.

Результатом наукових і прикладних досліджень лабораторії охорони ґрунтів від техногенного забруднення ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» у сфері розробки методичних підходів до біоремедіації забруднених ґрунтів стало створення ряду методичних рекомендацій, нових підходів та технологій [27].

Огляд патентів щодо методів фітореMediaції техногенно забруднених ґрунтів показує, що в них активно застосовуються різні види рослин-ремедіантів. Наприклад, існує метод очищення ґрунтів від важких металів (ВМ), який передбачає обробку верхнього шару ґрунту, внесення мінеральних добрив (зокрема, нітроамофоски, обробленої природним сорбентом, у кількості 800 + 50 г на 100 м²), а також висівання рослин-аккумуляторів ВМ, таких як ріпак (*Brassica napus* L.), суріпиця (*Barbarea vulgaris* R. Br.), тифон (*Brassica rapa* L.).

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Основними недоліками цієї методики є її обмежене застосування тільки в зонах шахтних виробок, а також висока трудомісткість і значні витрати ресурсів на її реалізацію.

Існує ще один відомий біологічний метод очищення ґрунтів від важких металів, який полягає у вирощуванні амброзії полинолистої (*Ambrosia artemisiifolia* L.) родини айстрових (Asteraceae) та її зборі до повного цвітіння, після чого рослини знешкоджуються або захоронюються в спеціальних місцях [9].

Однак цей метод має значний недолік: амброзія полинолиста є карантинним бур'яном, який швидко поширюється та може викликати алергічні реакції у людей, що робить її використання для фітомеліорації забруднених ґрунтів непрактичним та небажаним. Крім того, рослина здатна утворювати значну надземну масу, що може спричинити пригнічення культурних рослин у польових умовах [9, 10].

Дослідження показали, що для утворення 1 тонни сухої маси ця рослина виносить із ґрунту 15,5 кг азоту, 1,5 кг фосфору та близько 950 т води [12]. Крім того, амброзія полинолиста може порушувати мікробіологічні процеси в ґрунті, знижуючи його целюлозоруйнівну активність, що негативно позначається на стані екосистеми [39].

Для забруднених ВМ ґрунтів необхідно проводити комплексні фітосанітарні заходи, спрямовані на зменшення кількості *A. artemisiifolia*. Це передбачає використання механічних, агротехнічних та хімічних методів, що значно збільшує трудові витрати та споживання ресурсів. Такий підхід ускладнює ефективне використання ґрунтів і збереження їх родючості, знижуючи ефективність ремедіації забруднених ВМ ґрунтів і підвищуючи витрати на її здійснення.

Найбільш подібним до методу біологічного очищення ґрунтів, забруднених важкими металами, за технологічною сутністю та результатами є фіторемедіація ґрунтів, які постраждали від техногенних забруднень. Цей процес включає етапи:

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

– висівання злакових рослин, які повинні рости на цих ґрунтах упродовж не менше 30 діб; – скошування фітомаси та її утилізація після попереднього визначення типу і рівня забруднення важкими металами;

– створення технологічної схеми очищення ґрунтів з урахуванням особливостей забруднення, яка передбачає висівання кукурудзи (*Zea mays*) або пшениці (*Triticum L.*).

Одним із недоліків цього методу є обмежена можливість його застосування на ґрунтах, забруднених техногенними факторами, через виникнення додаткових екологічних проблем. Це пов'язано з високою спеціалізацією сівозмін, значними втратами біомаси з поля, обмеженням розподілу робочих навантажень, зменшенням кількості органічної речовини в ґрунті, а також ризиком вимивання нітратного азоту в районах з промивним режимом ґрунту через вертикальні і поверхневі стоки. Відповідно, виникає потреба в застосуванні високих доз азотних та органічних добрив. Ще одним мінусом є те, що монокультури пшениці та кукурудзи сприяють зростанню забур'яненості, що збільшує ризик поширення шкідників та хвороб рослин, таких як пухирчаста сажка і гельмінтоспоріоз у кукурудзи та кореневі гнилі й іржа у пшениці.

Отже, для ефективного впровадження цього методу необхідні значні ресурси для відновлення якості ґрунту, збільшення різноманіття фіторемедіантів для забруднених ґрунтів і врахування їх біологічного потенціалу в просторі й часі.

Метою цього дослідження є розробка методики фіторемедіації забруднених важкими металами ґрунтів, яка дозволяє скоротити час біологічного очищення та покращити стан забруднених ґрунтів. Це досягається без зайвого навантаження на екосистему ґрунту завдяки використанню рослин-ремедіантів із різних родин, що мають властивості ефективної ремедіації, адаптуючись до специфіки забруднення.

Метод орієнтований на досягнення таких цілей: 1) підвищення ефективності біоремедіації техногенно забруднених ґрунтів шляхом

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

прискорення процесу очищення з одночасним зменшенням витрат на очищення ґрунту, здійснення екобезпечного чергування в часі та просторі для вирощування конкурентоспроможних видів трав'янистих дикорослих рослин різних родин, таких як Asteraceae (айстрові), Fabaceae (бобові), Poaceae (злакові), з різним рівнем фітореMediaційної здатності; 2) забезпечення ефективного впливу на забруднені ґрунти за допомогою конкурентних комбінацій певних родин рослин вже з першого року застосування, а також безперервність процесу ремедіації забруднених територій з поглибленим очищенням безпосередньо на місці забруднення (in situ); 3) подальший розвиток методик екстракції забруднюючих речовин із фітомаси рослин із можливістю вибору рослин-ремедіантів, які мають спрямовану здатність до ремедіації відповідно до характеристик забруднення ґрунтів, що дозволяє здешевити технологічні процеси.

У результаті проведених ґрунтово-геохімічних та довгострокових мікропольових досліджень системи «ґрунт – рослина» у зонах постійного і сталого впливу техногенних джерел поліелементного забруднення ВАТ «Укрцинк» та ВАТ «Авдіївський коксохімічний завод» у Донецькій області було виявлено, що рослини родин Poaceae, Asteraceae та Fabaceae мають різну здатність до накопичення важких металів. Для дикорослих видів цих родин характерні вищі рівні накопичення металів, порівняно з культурними рослинами. Крім того, досліджені трав'янисті дикорослі рослини різних родин відзначаються високою зимостійкістю та посухостійкістю, а також добре розвинутою кореневою системою, яка проникає глибоко в ґрунт.

ФітореMediaція ґрунтів за допомогою багаторічних дикоростучих трав здійснюється за природних умов, фактично представляючи собою процес самоочищення без потреби в додаткових енергетичних витратах. Для цього не потрібна спеціальна агротехніка, достатньо лише здійснювати моніторинг.

Оцінка екологічного стану ґрунтів показує наявність локальних зон забруднення ґрунтів валовими та рухомими формами важких металів (ВМ). Щодо забруднення ґрунтів поліелементами, такими як Cd, Pb, Zn, Ni, Cu та

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Cr, ефективність біоремедіації підвищується завдяки поєднанню домінуючих багаторічних дикорослих трав'янистих рослин та чергуванню рослин різних родин у часі й просторі. Також, запропонована послідовність вирощування рослин родин Asteraceae, Fabaceae та Poaceae з різними морфологічними характеристиками кореневих систем (чергування рослин за здатністю коренів до проникнення в ґрунт) дозволяє ефективніше екстрагувати важкі метали та використовувати поживні елементи з ґрунту. Це сприяє поліпшенню балансу трофічного режиму забрудненого ґрунту та регулюванню не тільки мінерального живлення рослин, а й підвищенню вмісту органічної речовини завдяки відновленню структури ґрунту.



Рис. 1. Поглинання важких металів із ґрунтового розчину та їхня мобілізація рослинами

Багаторічні дикоростучі трав'янисті рослини, зокрема бобові, значно покращують структуру ґрунту, тоді як складноцвіті та злакові – в меншій мірі. Перелік рослин родин Asteraceae, Fabaceae та Poaceae дозволяє вирощувати їх на різних типах ґрунтів (слабокислих, нейтральних, слаболужних), підвищуючи ефективність конкуренції між рослинами для поліпшення фітосанітарного стану. Це забезпечує збільшення

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

продуктивності, раціональне використання ресурсів (техніки, добрив, робочої сили), а також сприяє ефективнішому фітоекстрагуванню та екологічній стабільності навколишнього середовища.

Отримані результати дозволяють точніше підбирати рослини-ремедіанти залежно від рівня забруднення ґрунтів важкими металами. Наприклад, злакові та складноцвіті рослини накопичують Zn, злакові, складноцвіті й бобові – Cr, а складноцвіті – Cd. Це дає можливість вибору рослин із визначеними властивостями для ремедіації. Вибір рослин також залежить від їх здатності до фітоекстрагування важких металів, особливостей корневих систем, стійкості до забруднень, темпів росту та здатності накопичувати зелена масу.

Основна ідея запропонованого підходу до фіторемедіації техногенно забруднених ґрунтів полягає в розширенні можливостей використання фіторемедіантів серед домінуючих трав'янистих дикорослих видів рослин, що належать до родин Asteraceae, Fabaceae та Poaceae. Ці види мають властивості, які дозволяють ефективно очищати ґрунти від забруднювачів, із урахуванням специфіки забруднення та чергування рослин-ремедіантів у просторі і часі. Такий підхід знижує витрати на очищення ґрунтів, підвищує ефективність біоремедіації (зменшення терміну очищення, прискорення процесу, зниження витрат протягом усієї сівозміни) та сприяє відновленню якості ґрунтів без додаткового технологічного навантаження. Це забезпечує переваги порівняно з іншими методами та підходами, що використовуються для очищення забруднених ґрунтів:

– зменшення витрат на очищення ґрунту досягається шляхом економії фінансових ресурсів, а також за рахунок зниження потреби в посівному матеріалі та паливно-мастильних матеріалах. Це забезпечується через використання екологічно безпечних методів із застосуванням різних видів рослин, що мають різний рівень здатності до фіторемедіації. Такий підхід гарантує ефективний результат вже в перший рік, а також дозволяє забезпечити постійну очистку забруднених ґрунтів із поступовим

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поглибленням очищення саме в районі забруднення (*in situ*): інтенсифікація біологічної ремедіації та покращення її результативності через використання забруднених ВМ ґрунтів, чергуючи вирощування основних трав'янистих дикорослих рослин різних родин: Asteraceae, Fabaceae, Poaceae, з урахуванням просторових і тимчасових змін;

– сприяння розвитку нових методів екстракції важливих молекул із рослинної біомаси, з можливістю вибору рослин-ремедіантів, які мають властивості для цілеспрямованого очищення ґрунтів, що надає можливості ефективніше застосовувати методи біологічної ремедіації, знижуючи їх вартість у залежності від типу забруднення ґрунтів.

Подальший прогрес у дослідженнях фіторемердіації забруднених ґрунтів обумовлений удосконаленням двох основних підходів: прямої фіторемердіації та фіторекультивуації *ex planta*. Це також включає розвиток науково-методичної бази для біоремердіації хімічно змінених ґрунтів, зокрема шляхом створення нових методичних рішень і технологій фітоекстракції, гіперакумуляції, фітодеградації, фітостабілізації, фітостимуляції та різодеградації забруднювачів. Ці підходи сприятимуть подальшому зниженню витрат на використання методів біологічної ремедіації *in situ* в районах, які постійно піддаються атмосферному техногенному забрудненню.

Фіторемердіація дозволяє ефективно усувати важкі метали, органічні сполуки та інші токсичні речовини. Основою фіторемердіації є здатність рослин поглинати, розкладати, стабілізувати, трансформувати та випаровувати забруднювачі з різних природних середовищ. Використання фітотехнологій надає екологічно безпечні рішення для очищення забруднених ґрунтів та води, зменшення повітряних забруднень, підвищення якості продовольчих продуктів та створення відновлюваних джерел енергії, що сприяє раціональному використанню природних ресурсів.

Процес фіторемердіації включає кілька ключових етапів: 1. Поглинання та накопичення: рослини абсорбують забруднюючі речовини через свої корені, зберігаючи їх у внутрішніх тканинах. 2. Мікробіологічні процеси в

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ризосфері: мікроорганізми, що населяють ризосферу рослин, здатні розкладати органічні з'єднання. 3. Трансформація: рослини можуть модифікувати забруднювачі, перетворюючи їх на менш токсичні форми.

Вартість відновлення ґрунтів значно варіюється залежно від типу забруднювачів, властивостей самого ґрунту та умов на конкретній ділянці. Високі витрати стимулюють пошук доступніших технологій очищення.

Таким чином, фітореMediaція – це прогресивний екологічний метод, що здатний забезпечити ефективно та екологічно чисте відновлення забруднених земель, зокрема й токсичних для всього живого важких металів.

3.4. Синергійні ефекти фітореMediaції та вирощування енегетичних рослин

Різноманіття рослинних видів має великий потенціал для застосування у біоенергетичних і фітореMediaційних процесах завдяки їх екосистемним властивостям. Це дозволяє створювати ефективні зв'язки між фітотерапією ґрунтів, їх відновленням і виробництвом біопалива.

Особливо важливими є енергетичні культури, що вирощуються з метою отримання палива або виробництва біопалива. Вони мають здатність накопичувати неорганічні забруднювачі в кореневій системі та знижувати стійкість органічних забруднювачів у ґрунті. Тому ці рослини є ідеальними для фітостабілізації та фітодеструкції [4]. До найбільш розповсюджених енергетичних культур належать представники таких родів, як тополя, верба, міскантус, сорго, свічграс, рижій, еспарцет, буркун, рижій, буркун та інші.

У даний час вивчається багато рослин, які можуть бути використані як джерела енергії, але лише деякі з них досягли рівня комерційного виробництва та вирощуються на великих територіях. Екологічні осоловості деяких енергетичних культур наведено в таблиці 3.

У деяких наукових роботах зазначається, що забруднені ґрунти негативно впливали на ріст *Miscanthus giganteus*. Використання гуматів

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(гумуфілд форту та фульвітал плус) через обробку наземної частини рослин під час вегетації сприяло покращенню життєздатності міскантусу за умов нафтового забруднення. Рослини активно накопичували біомасу, формували потужну кореневу систему та надземну частину, а вміст фотосинтезуючих пігментів у листках збільшувався. Ці дослідження є важливими для підвищення стресостійкості й врожайності міскантусу на забруднених землях та в процесі розробки фіторемедіаційних технологій для очищення територій, зокрема земель, які використовувались під сміттєзвалища.

Таблиця 3

Екологічні характеристики найбільш поширених енергетичних культур

Одно- та дворічні насінні трав'янисті рослини	
Рижій посівний (<i>Camelina sativa</i> L.)	Олійна рослина родини капустяні з коротким вегетаційним періодом (80–85 днів), можна вирощувати в усіх регіонах України, що дає змогу не лише ефективно використовувати запаси вологи осінньо-зимових опадів, а й сформувати врожай. Перевагою рижію є те, що він практично не заселяється шкідниками та не уражується хворобами, а це дає можливість значно знизити рівень витрат на його вирощування; невибагливий до родючості ґрунту [17]
Буркун лікарський (<i>Melilotus officinalis</i> L.)	Дворічна трав'яниста рослина з родини бобових, найкращий азотфіксатор, добре підходить для сівозмін півдня. Його можна культивувати як однорічну рослину (сходить, цвіте та плодоносить у рік посіву) і як дворічну – сходи рослини з'являються навесні або восени, зимують і формують насіння на другий рік. Дворічний буркун є більш продуктивним. Рослину можна використовувати як сидерат, а це збагачує ґрунт азотом [17].
Ріпак (<i>Brassica napus</i> L.)	Однорічна олійна рослина родини капустяні (Brassicaceae). Розрізняють дві форми ріпаку: ярий (кольза) й озимий. Ріпак озимий має основне значення, добре адаптований до умов України, сидерат, може забезпечити збільшення органічної речовини в ґрунті у кількості, еквівалентній внесенню 10-15 т/га гною. Має високу врожайність і продуктивність, зимостійкий. Завдяки кореневій системі ріпаку знижується інтенсивність ерозії ґрунтів, покращується структура ґрунту [18].
Багаторічні трав'янисті рослини	
Світчґрас, або лозоподібне просо (<i>Switchgrass – Panicum virgatum</i> L.)	Багаторічна трав'яниста злакова посухостійка культура, розмножується насінням, може рости на всіх типах ґрунтів, невимоглива до вмісту вологи та поживних речовин у ґрунті, стійка до шкідників та хвороб; корінь розвинений і може сягати до 2 м у глибину; добре переносить спеку в літні місяці; на одному місці може рости протягом 10-15 років [6]
Міскантус гігантський (<i>Miscanthus giganteus</i> L.)	Багаторічна злакова культура, триплоїд має стерильний пилок, тому розмножується вегетативно, кореневищами (ризомами); має дуже розгалужену кореневу систему, тому його можна вирощувати

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

	на деградованих, піщаних, супіщаних ґрунтах; на одному місці може рости протягом 25 років. Рослина містить 64-71% целюлози, вміст золи становить 2,2%; погано переносить високу кислотність і високий рівень ґрунтових вод [17]
Енергетична верба (<i>Salix L.</i>)	Найбільш розповсюджена енергетична культура у світі: генотип верби – один із найбагатших після рису, і це дає можливість створювати нові сорти та гібриди для різноцільового використання. Продуктивність верби – 10-15 т/га (за сприятливих ґрунтово-кліматичних умов урожайність зростає до 25-30 т/га) сухої маси в рік, що перевищує за продуктивністю традиційні лісові насадження у 14 разів [8].
Енергетична тополя (<i>Populus L.</i>)	Багаторічна деревовидна енергетична культура, маловибаглива, росте практично на всіх типах ґрунтів, порівняно швидко накопичує біомасу, погано переносить підвищену кислотність ґрунту [8]. Останнім часом насадження тополі все активніше використовують як регенеративне джерело енергії для виробництва біопалива. Її деревина досить легка, широко використовується з технічною метою.

Енергетичні культури, які існують багато років, можуть швидко розвивати велику надземну фітомасу та створювати міцну кореневу систему, що дає їм можливість поглинати важкі метали з ґрунту. Це робить їх важливими рослинами для фітореMediaції.

Дослідження показали, що такі культури, як світчґрас та міскантус, здатні активно поглинати важкі метали та накопичувати їх у своїх коренях і стеблах. Після завершення вегетаційного періоду надземна маса цих рослин може бути перероблена, що дозволяє отримувати додаткові кольорові метали або виготовляти біопаливо для енергетичних потреб [4].

Розробка нових ефективних методів ремедіації техногенно забруднених ґрунтів потребує вирішення ряду питань, що стосуються методологічних, технологічних та правових аспектів. Це включає створення і впровадження комплексу фізико-хімічних і біологічних заходів, спрямованих на зменшення швидкості деградації ґрунтів.

Одним із таких методів є фітореMediaція – технологія, що використовує рослини і їх супутні мікроорганізми-деструктори для очищення ґрунту від токсичних речовин або їх перетворення в нешкідливі метаболіти. Враховуючи це, вирощування енергетичних культур як фітореMediaнтів на забруднених і деградованих ґрунтах виглядає перспективним шляхом. Це

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

дозволить не лише зменшити рівень деградації, а й покращити агрономічні характеристики ґрунтів. Висока продуктивність біомаси таких культур може перетворити фітореMediaцію на вигідний сектор біоенергетичної індустрії.

					<i>601-мТЗ 11393649 ПЗ</i>	Арк.
						47
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 4.

БІОІНДИКАЦІЙНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ

4.1. Біоіндикація в екологічній оцінці забруднених ґрунтів

Оцінювання стану забруднення ґрунтів є необхідною при розробленні проєктів реконструкції і перепрофілювання підприємств, при організації будівництва в межах історичних промислових зон, закритті цвинатрів, а також тих земель, які знаходились під звалищами відходів та сміття. У цих випадках порівняльний аналіз проводять, використовуючи емпіричні значення концентрацій різних домішок у ґрунтах, що засвідчують той чи інший рівень забруднення. Фактично, в результаті цієї процедури ініціатор діяльності і спеціально вповноважені державні органи повинні прийняти рішення про екологічну відповідність майданчика для реалізації конкретного проєкта або, в деяких випадках, про необхідність очищення й рекультивації таких земель.

У світовій практиці частіше, крім росії та країн СНГ, де використовується єдиний норматив забруднення ґрунтів – норматив для орного шару застосовується більш розвернута система нормування, яка дозволяє приймати рішення по небезпеку забруднення в залежності від типів використання ґрунтів. Наводимо нормативи якості для різних ландшафтів, які працюють у Німеччині, а також голандські нормативи, які зорієнтовані на прийняття рішень про можливість господарського використання території, яка оцінюється.

Екологічне оцінювання земель проводиться за чотирима класами їх неблагополуччя:

- неблагополуччя земель: загальна площа порушених земель є меншою, ніж 5% території;
- екологічний ризик – загальна площа порушених земель складає 5-20%;

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- екологічна криза – загальна площа порушених земель складає 20-50%;
- екологічна катастрофа – загальна площа порушених земель складає більше, ніж 50% території чи регіону.

Таблиця 4

Критерії екологічної оцінки забруднення ґрунтів у житлових районах (у відповідності із зарубіжними нормами)

Шкідливі речовини	Німеччина, м. Берлін, земля Бранденбург			Нідерланди	
	ГДК шкідливих речовин для майданчиків за категоріями (мг/кг сухої речовини)			Концентрації шкідливих речовин	
	категорії			ґрунти (мг/кг сухої речовини)	
	I	II	III	допустимі	потребують втручання
1. Метали:					
миш'як	10	20	40	29	55
свинець	100	500	600	85	530
молібден	-	-	-	10	200
кадмій	2	10	20	0,8	12
хром (загальний)	150	400	600	100	380
Хром (шестивалентний)	25	50	100	-	-
кобальт	100	200	300	20	240
мідь	200	300	600	36	190
нікель	200	250	300	35	210
ртуть	0,5	1	10	0,3	10
цинк	500	2000	3000	140	720
олово	100	300	1000	-	-
барій	-	-	-	200	625
2. Інші неорганічні речовини:					
ціаніди (сум.) в комплексних сполуках:					
pH менше 5	5	50	100	5	650
pH більше 5	-	-	-	5	50
ціаніди, вільні	1	5	10	1	20
триціанати (сум.)	-	-	-	-	20
сульфати	-	-	-	-	-
фосфати	-	-	-	-	-
нітрити	-	-	-	-	-
нітрати	-	-	-	-	-
аміак	-	-	-	-	-
фториди	500	1000	200	-	-
3. Ароматичні вуглеводи					

моноароматичні вуглеводи (сум.)	5	15	25	7	70
бензол	0,5	3	5	0,05	1
толуол	5	15	25	0,5	130
ксилол	5	15	25	0,5	25
етилбензол	-	-	-	0,05	50
4. Поліциклічні ароматичні вуглеводи (ПАВ)					
(сумарно)	10	50	100	1	40
нафталін	-	-	-	-	-
бенз(а)пірен	-	-	-	-	-
5. Аліфатичні галогенозаміщені вуглеводні					
леткі галогенозаміщені вуглеводні (сумарно)	5	25	50	-	-
леткі хлоровані вуглеводні (сумарно)	5	25	50	70	15
монохлоретен	1	3	5	-	-
6. Ароматичні галогенозаміщені вуглеводні					
поліхлоровані біфеніли (сумарно)	1	3	5	0,02	1
хлорбензоли	1	3	5	-	30
хлорфеноли	1	3	5	-	10
7. Феноли і спирти					
феноли (сумарно)	5	100	150	-	-
феноли, леткі під водяною парою	1	3	5	-	-
метанол	100	120	150	-	-
ізопропанол	100	120	150	-	-
гліколь	100	120	150	-	-
8. Нафтові вуглеводи (мінеральні масла)	300	3000	5000	5	5000
9. Пестициди в цілому ДДТ, ДДЕ, ДДД (сумарно)	0,5	1	2	0,0025	4

Примітка: категорії майданчиків: I – водоохоронні зони, природоохоронні об'єкти; II – давні річкові долини; III – вододіли.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Показник (відсоток) порушених і виведених із землекористування земель, як правило, відображається в екологічному паспорті регіону.

Узагальнена екологічна оцінка території за статистичними ознаками характеризує «екологічний портрет» регіону. Систематичний моніторинг такого рангу земель дозволяє відслідковувати зміни ділянок порушених і виведених із землекористування земель, оцінювати швидкість несприятливих змін, рівні забруднення суміш територій, збіднення біорізноманіття таких земель тощо.

Зміни порушених ділянок за рік (або інший періодичний час) у відсотках є узагальненою екологічною оцінкою території за динамічними ознаками. Ця екологічна оцінка земель за швидкістю наростання несприятливих процесів також дозволяє віднести ділянки до одного із класів їх небезпеки:

- екологічна норма: швидкість наростання є меншою, ніж 5% у рік;
- екологічний ризик: швидкість наростання заходиться в межах 2-4% у рік;
- екологічне неблагополуччя: швидкість наростання є більшою, ніж 4% у рік.

Така інформація повинна заноситись до екологічного паспорта регіону чи адміністративної одиниці.

Загальний висновок про рівень неблагополуччя екологічного стану території повинен формулюватися з врахуванням обох узагальнених оцінок – статистичної і динамічної.

Організація екологічного моніторингу територій існуючих чи ліквідованих звалищ повинно бути обов'язковим природоохоронним напрямом.

Такий моніторинг передбачає визначення оцінок і показників за всіма компонентами навколишнього середовища (атмосферним повітрям, поверхневими й ґрунтовими водами, ґрунтами та ін.) щорічно.

Оцінення ступеню забруднення атмосферного повітря передбачає визначення результатів за:

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

- ліхенодікайними дослідженнями;
- морфологічними й анатомічними змінами хвої сосни (знехвоєність крон дерев хвойних, пошкодження, всихання хвої, середній приріст і тривалість функціонування хвої, стан генеративних органів сосни, опадання шишок із несформованим насінням та ін.);
- характеристиками руху спеціального транспорту;
- зхімічним складом снігового покриву;
- запиленістю (швидкість осідання пилу за добу).

Оцінення ступеня забруднення ґрунтів здійснюється за такими напрямками:

- оцінка властивостей ґрунтів за рослинами-індикаторами родючості, вологості й кислотності;
- визначення фенотипосої структури популяцій конюшини повзучої (*Trifolium ptarense* L.);
- визначення властивостей ґрунтів за видами безхребетних тварин – індикаторів стану ґрунтів;
- мікробіологічна активність ґрунту (за характеристикою дихання ґрунту, швидкості розпадання целюлози, 2-3 рази в сезон);
- визначення кількості пилквоих зерен різних рослин (як культивованих, так і дикорослих, наприклад, бур'янів).

Про можливість застосування живих організмів в якості індикаторів відповідних природних умов зазначали вчені Греції та Древнього Риму. У працях багатьох вчених давнини згадується про рослини, що вказують на особливості ґрунтів, гірських порід, ґрунтових вод. У ХІХ столітті з розвитком екології рослин був указаний зв'язок рослин із зовнішніми факторами середовища.

Про можливості рослинної індикації – фітоіндикації – писав геолог О. М. Карпинський. Другий геолог – П.О. Ососков – викоистовував характер озпоілу рослинних угруповань (фітоценозів) для створення геологічних карт, а методи екологічного моніторингу ґрунтознавець С.К. Чаянов – ґрунтових

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

карт. Значний внесок у розвиток біоіндикації зробив учений-грунтознавець В.В. Докучаєв.

Під біоіндикацією у той час розумілось еєстрацію наявності чи відсутності того чи іншого явища (природного чи антропогенного фактора середовища), відмічаючи в термінах «наявний» – «відсутній».

До кінця ХХ століття у біоіндикаційних закономірностях відбувся якісний скачок. У наш час для значної групи індикаторних видів біорізноманітя слід зазначати не тільки про наявність чи відсутність фактора, а й про ступінь його впливу на навколишнє середовище.

Ступені впливу на довкілля, що визначаються за цими видами, дозволяють створювати шкалу таких впливів (наприклад, відсутній вплив – слабкий – середній – значний). Розроблені шкали екологічного фактора дозволяють більш об'єктивно оцінювати екологічний стан досліджуваної території. У цих випадках йдеться не про біоіндикацію, а про біодіагностику територій – методі кількісної оцінки рівнів впливу екологічного чинника на довкілля.

У сучасному розумінні біоіндикатори – це організми, присутність яких, їх кількість чи особливості озвитку слугують показниками природних процесів, умов чи антропогенних змін середовища існування.

Біоіндикація – метод, який засвідчує відповідний стан навколишнього середовища за фактором трапляння, відсутності, особливостям розвитку організмів – біоіндикаторів.

Умови, що визначаються за допомогою біоіндикаторів, називаються об'єктами біоіндикації. Ними виступають як відповідні типи природних об'єктів (грунт, повітря, вода), так і їх різні характеристики (хімічний та механічний склад тощо) та певні процеси навколишнього середовища (дефляція, заболочування, заторфування, ерозія, забруднення та ін.), зокрема й під дією антропогенних впливів.

При виборі біоіндикаторів один із видатних американських екологів Ю.Одум пропонує враховувати такі положення:

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

1. Стенопні види (тобто види, пристосовані до існування в чітко визначених і обмежених умовах), більш рідкісні в угрупованнях, як правило, є кращими індикаторами, ніж евритопні (широко поширені й такі, що володіють широким діапазоном екологічної витривалості).

2. Більш крупні види є, звичайно, кращими індикаторами, ніж дрібні, так як швидкість кругообігу останніх у біоценозах є вищою, і вони можуть не потрапити в пробу в момент досліджень (при спотереженнях із тривалою періодичністю).

3. При визначенні виду (чи групи видів), що використовується в якості індикатора того чи іншого екологічного фактора, необхідно мати матеріали польових і експериментальних досліджень про лімітуюче значення даного фактора з врахуванням можливих компенсаторних реакцій організму й толерантності виду (групу видів).

4. Численне співвідношення рідких видів (популяцій чи угруповань) є більш показовим і є більш надійним індикатором, ніж чисельність одного виду («...ціле є кращим, ніж частина, що ідображає загальну умову»).

Біоіндикаційні дослідження проводяться на двох рівнях: видовому й біоценотичному.

Перший включає констатацію наявності організму, облік частоти їх трапляння, вивчення його морфолого-анатомічних та фізіологічних і біохімічних характеристик. При другому (біоценотичному) враховуються різні показники біорізноманіття, продуктивність даного угруповання.

Виділяють різні види біоіндикації: неспецифічну (коли одна й та ж сама реакція викликана різними факторами) й специфічну (коли ті чи інші зміни можна пов'язати тільки з одним фактором).

Наприклад, хвойні дерева та лишайники індикують якість повітря і наявність промислових чи комунальних забруднень у місцях їх зростання.

Видовий склад безхребетних тварин і нищих рослин (водоростей), що приурочені до ґрунтів, є специфічним для різних ґрунтових угруповань, тому зміни цих комплексів і чисельності видів у них засвідчують забруднення

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

грунтів різними хімічними речовинами чи зміну структури ґрунтів у результаті антропогенного впливу.

За використанням методів біоіндикацію поділяються на реєстраційну біоіндикацію та біоіндикацію за акумуляцією.

Реєстраційна біоіндикація дозволяє виявляти вплив факторів середовища за станом особин виду чи популяції, а біоіндикація за акумуляцією використовує здатність представників біорізноманіття накопичувати ті ж і інші хімічні речовини (наприклад, уміст свинцю в печінці риби, що знаходяться в кінці ланцюга живлення, може перевищувати ГДК в 100-300 разів) [13].

У відповідності з цими методами розрізняють і реєструючі та накопичуючі біоіндикатори.

Реєструючі індикатори реагують на зміни стану навколишнього середовища змінами чисельності, фенообліку, пошкодженням тканин, соматичними виявами, змінами швидкості росту та іншими, добре візуалізованими, ознаками.

Реєструючими індикаторами можуть бути, наприклад, лишайники, хвоя дерев (прояви хлорозу, некрозу) або суховершність. Проте, за допомогою таких індикаторів не завжди вдається визначити причини змін, тобто чинники, які впливають на чисельність, поширення, остаточний стан або форму біоіндикатора. Це є ключовим недоліком методу біоіндикації, оскільки спостережувані ефекти можуть бути спричинені різними факторами або їх комбінацією.

Накопичувальні індикатори здатні акумулювати забруднювальні речовини у тканинах, окремих органах або частинах тіла, що дозволяє визначати рівень забруднення довкілля шляхом хімічного аналізу. Як приклади таких індикаторів можна навести хітинові покриви ракоподібних личинок водних комах та ракоподібних, а також мозок, нирки, селезінку й печінку ссавців, мушлі молюсків і мохи [51].

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасне обладнання для моніторингу забруднень і визначення шкідливих домішок у навколишньому середовищі, яким би точним воно не було, не здатне зрівнятися зі складним «живим інструментом». Проте, ці біологічні індикатори мають значний недолік – вони реагують на весь комплекс речовин і не дозволяють визначити конкретну концентрацію окремого компонента в багатокомпонентній суміші.

Фізичні та хімічні методи дозволяють визначити кількісні та якісні характеристики чинника, проте вони дають можливість лише побічно оцінити його біологічний вплив. Використання біоіндикаторів дає змогу отримати дані про біологічні наслідки та зробити лише непрямі висновки щодо специфіки самого чинника.

4.2. Фітоіндикація забруднених ґрунтів

Моніторинг, заснований на використанні накопичувальних індикаторів, зазвичай передбачає застосування складних і дорогих приладів, спеціалізованого обладнання та громіздких методик, що доступні лише спеціалізованим лабораторіям. Проте, більшість біоіндикаційних методів характеризуються низькими затратами праці, простотою у використанні та відсутністю потреби у дорогому обладнанні.

Біоіндикатори доцільно застосовувати разом із інструментальними методами контролю навколишнього середовища, особливо під час локального моніторингу джерел і об'єктів забруднення. Використання біоіндикаційних методів забезпечує можливість аналізу впливу техногенних забруднень на живі організми, включаючи рослини і тварин, а також на абіотичні компоненти природи.

Вони є доцільними й при визначенні та моніторингу земель, які зайняті звалищами відходів і сміття, та тих, які межують із такими об'єктами.

Ґрунт – один із важливих компонентів навколишнього природного середовища й центральна ланка зв'язку між біотичною і абіотичною

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складовою біосфери. Повний аналіз ґрунту потребує багато часу і затрат. Однак, чимало особливостей ґрунту, зокрема й родючість, наявність відповідних елементів та сполук можна визначити за рослинами-індикаторами, які зростають на цих ґрунтах [40].

Так, наприклад, про високі показники **родючості ґрунту** засвідчують такі дикорослі та культивовані рослини, як: малина, кропива дводомна, спіреї, яглиця звичайна, чистотіл великий, копитняк європейський, кислиці, чина лучна, стоколос безостий. Індкаторами помірної родючості ґрунтів є: веснівка дволиста, медунка темна, дудниун лісовий, гравілат річковий та гравілат міський, костриця лучна, вероніка довголиста та ін. На низько родючих ґрунтах зростають наземні (епігейні) мохи, лишайники, пирій повзучий, котячі лапки дводомні та ін.

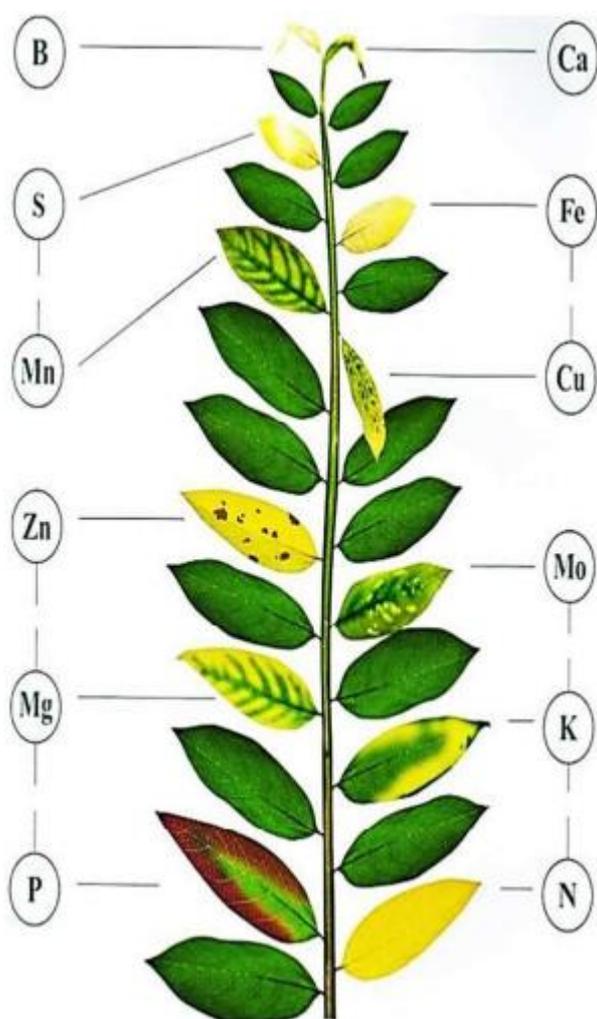


Рис. 2. Фітоіндикація нестачі макро- і мікроелементів за станом листків

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Нейтральними до родючості ґрунту є: жовтець їдкий, грицики звичайні, тонконіг лучний, сухврески звичайні, рястиця збірна. Не вимогливою до родючості ґрунту є й сосна звичайна.

Азотисті речовини у ґрунтах індикують всі рослини, які в побуті називають «бур'янами», бо вони є нітрофілами: хаменерій вузьколистий, малина, кропива дводомна, гравлат міський, хрінниця смердюча, ромашка безязичкова підмаренник прирічковий, гірак пташиний (спориш). При високому вмісті азоту в ґрунті пагони рослин маюь інтенсивне зелене забарвлення. Навпаки, нестача азоту викликає у рослин білозелене забарвлення, зменшує газулистість пагонів і кількість листків.

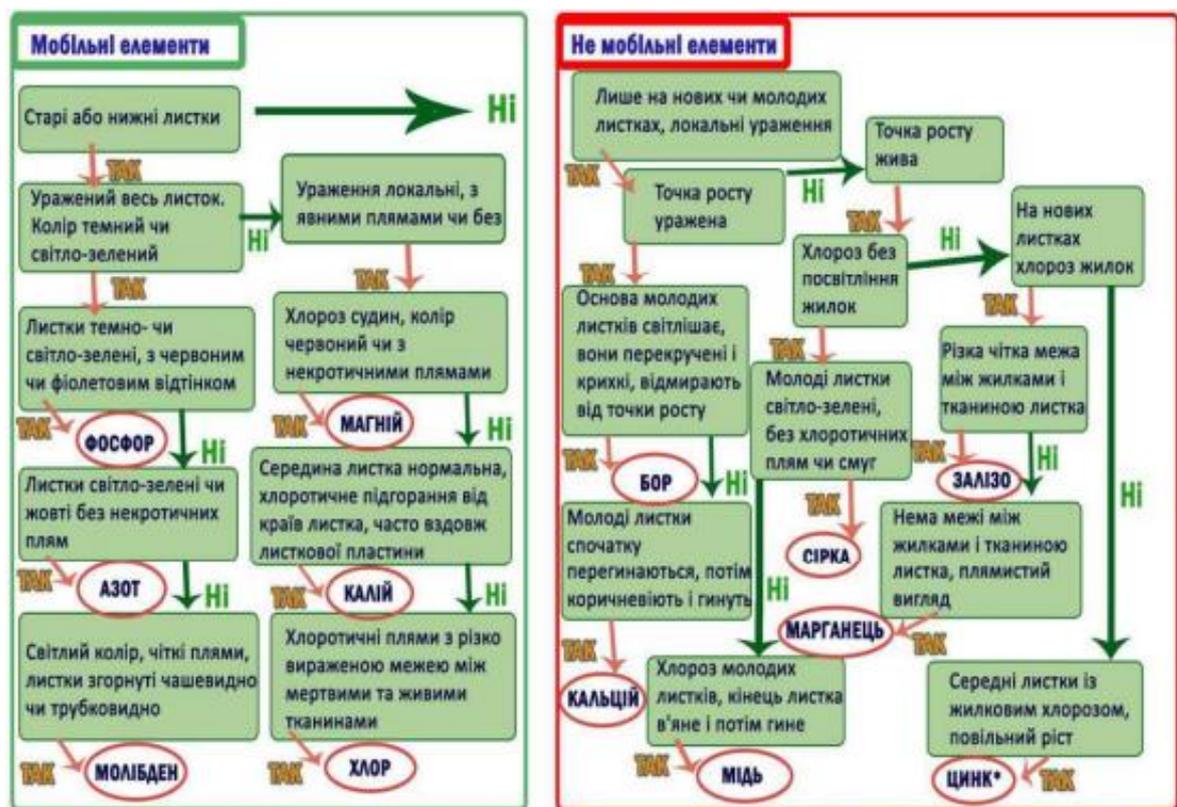


Рис. 3. Загальна схема дефіциту елементів живлення

Високий уміст **кальцію** в ґрунті засвідчують, так звані, кальцефіли: багато представників бобових (наприклад, люцерна серповидна), модрина сибірська. При нестачі кальцію в ґрунті на ділянках домінують кальцефоби – рослини кислих ґрунтів: білоус, щучка дерниста, мохи сфагнуми, конюшина

повзуча, перстач прямостоячий та ін. Ці рослини виявляють стійкість до негативного впливу іонів заліза, марганцю, алюмінію.

У результаті глобального й регіонального забруднення із повітря, води, а також при складуванні, зберіганні та захороненні відходів у ґрунт потрапляють підвищені кількості сполук катіонів металів, що призводить до збільшення їх надходження в організми рослин, де вони накопичуються в органах і тканинах.

Підвищений вміст мікроелементів і сполук важких металів викликає порушення метаболізму в тканинах рослин і обумовлює відповідні ознаки надлишкового їх вмісту.

Полеві дослідження дикорослих видів і форм рослин допомагають виявити той чи інший елемент чи сполуку в ґрунті.

Наведемо ознаки надлишкового вмісту хімічних елементів у ґрунті.

Перевищені показники **цинку** обумовлюють знебарвлення і відмирання тканин листків, молоді листки жовтіють, верхні бруньки відмирають, більш старі листки можуть опадати без ознак в'янення, жилки листків забарвлюються в червоний або чорний колір (на ранніх стадіях схоже з нестачею заліза). Перші ознаки виявляються на молодих рослинах, при цьому вражається вся рослина.

Перевищені показники **міді** виявляються через хлороз молодих рослин, при цьому вражається вся рослина. Жилки листків залишаються зеленими.



Рис. 4. Ознаки токсичної дії міді

При перевищенні показників **марганцю** перші ознаки виявляються у молодих рослин, враження – місцеве. Тканина некротична, хлороз

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

розвивається між жилками молодих листків, перетворюючи їх в жовті або білуваті з темно-коричневими або майже білі некротичні плями. Листок викивляється і зморщується (у цьому відмінність від марганцевого голодування рослин).



Рис. 5. Зовнішні ознаки інтоксикації рослин кадмієм

Залізо – тканина не виявляє ознак некрозу. Хлороз розвивається між жилками молодих листків, жилки залишаються зеленими, пізніше увесь листок стає жовтим або жовтуватим, що схоже з залізним голодуванням у рослин.

Кобальт – у деяких рослин уздовж основних зелених жилок листка з'являються прозорі, наповнені водою ділянки. Між жилками розвивається також некроз. Пізніше листки стають коричневими й опадають.

Фосфор – перші ознаки виявляються на дорослих рослинах, вражається вся рослина. Тканина некротична. Загальне пожовтіння листків. Жовтуваті або коричневі кінчики і краї у молодого листя. Молоді листки більші від старих. З'являються некротичні плями. Опадання листя. У деяких рослин фосфорне голодування схоже за ознаками до калієвого голодування, у інших – з надлишком азотистих речовин.

Магній – листки дещо темніють і трішки зменшуються в розмірах. Іноді спостерігається звертання та зморщування молодих листків, на пізніх стадіях росту кінці їх втягуються і відмирають.

Калій – некрози тканин не виявляються. На ранніх стадіях спостерігається слабкий ріст рослин, видовження міжвузел, світло-зелений

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

колір листків. На пізніх стадіях ріст рослини уповільнюється. У листків з'являються плями, вони в'януть і опадають.

Сірка – загальне огрубіння рослин. Листки дрібні, блідо-зелені, стебла тверді, пізніше листки можуть скручуватись всередину і вкриваються наростами, краї їх стають коричневими, потім блідо-жовтуватими.

Хлор – загальне огрубіння рослин, листки здрібнюються. У деяких рослин на більш старих листках з'являються пурпурово-коричневі плями, після чого листки опадають.

Азот аммонійний або нітратний – пошкодження тканин листків локальне. Тканина некротична: хлороз розвивається по краях рослин і поширюється між жилками, з'являється коричневий некроз, і кінчики листків завертаються, потім листя опадає.

Кальцій – хлороз розвивається між жилками листків з білуватими і некротичними плямами, які можуть забарвлюватися чи мати наповнені водою концентричні кільця. У деяких рослин відбувається формування прикореневих розеток, відмирання пагонів і опадання листків (схоже за враженням з нестачею магнію і заліза).

Бор – хлороз кінців і каю листків, який поширюється всередину, особливо між жилками, доки увесь листок не стає блідо-жовим або білуватим. Опіки країв листків і некроз із закручуванням країв, опадання листків.

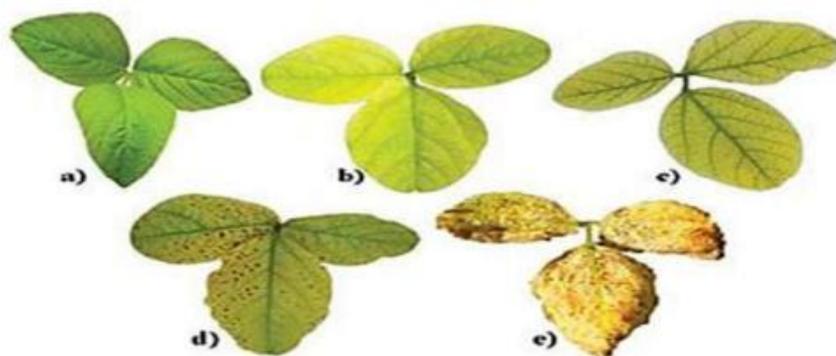


Рис. 6. Зовнішні ознаки інтоксикації рослин сої а – Zn, b – Mn, c – Cu, d – Cd, e – Hg437

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

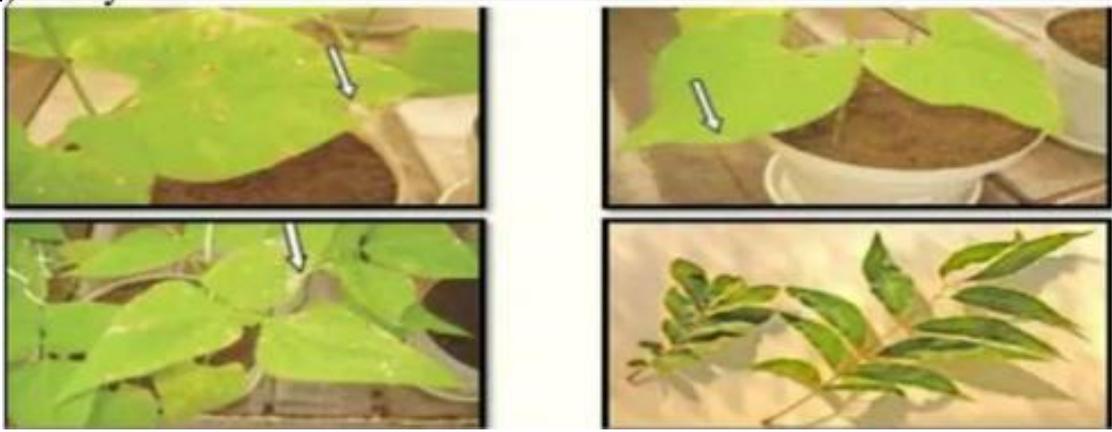


Рис. 7. Ознаки токсичної дії нікелю



Рис. 8. Ознаки токсичної дії цинку

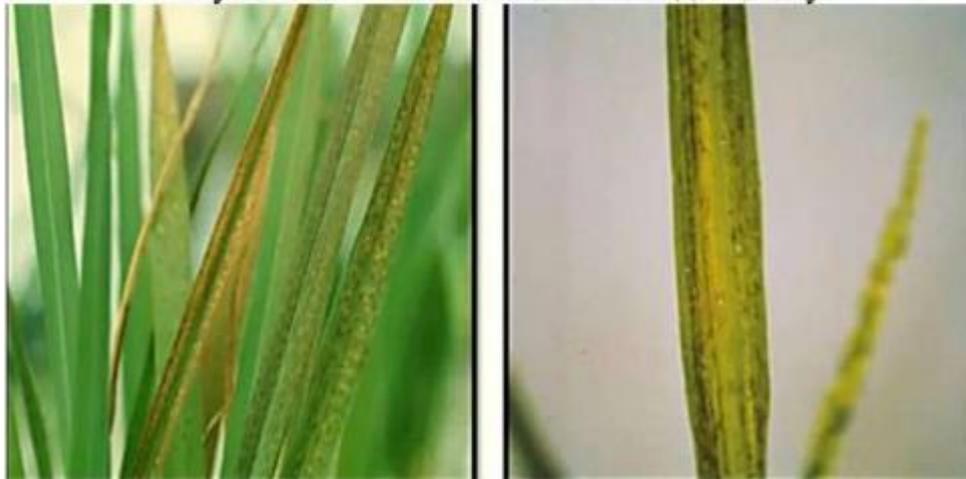


Рис. 9. Ознаки токсичної дії заліза



Рис.10. Ознаки токсичної дії марганцю



Рис. 11. Фітоіндикаційні ознаки дефіциту азоту



Рис. 12. Фітоіндикаційні ознаки дефіциту фосфору

При організації екологічного моніторингу слід визначати ознаки надлишку й мікро- і макроелементів у ґрунтах методом біодіагностики.

Як засвідчує світовий та європейський досвід, для фіторемедіації може бути використаний широкий спектр водних рослин, наприклад: очерет

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

черет (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), види та сорти верб (наприклад, *Salix cinerea* L., *Salix peuntandra* L.), види роду Ряска (*Lemna* sp. – *L. minor* L., *L. trisulca* L., *L. glabra* L.)

У даний час проводяться активні дослідження гіпернакопичувачів (наприклад, водяний гіацинт (*Eichhornia crassipes* L.) вже застосовується в фіторемерації), а також можливості генної модифікації рослин (прищеплення рослинам бактеріальних генів, відповідальних за розкладання органічних речовин, наприклад, метилртуті та вибухових речовин).

Цю рослину називають королем серед ґрунтовідновлювальних культур. У той час як у висоту рослина виростає на 60 см, в глибину її коріння сягає 1,8 м, доставляючи поживні речовини з глибини, недосяжної для інших рослин. Потім ці поживні речовини зосереджуються в листі. За кілька місяців рослина формує велику кількість низькорослої, але густої зеленої маси. Після скошування вона відростає за лічені тижні. Легко розмножується кореневищами.

Павловнія войлочна (*Paulownia tomentosa* L.) – інтродуковане дерево, яке виростає заввишки до 12 м, однак, якщо скошувати рослину кожні кілька місяців, то буде формуватися кущ висотою до 2,4 м. Якщо його скосити при землі, пучок нових паростків сформує листя більше звичайного до 60 см у діаметрі, яке надасть багато зеленої маси для компосту. Рослина може вирощуватись у місцевостях, де мінімальна температура впродовж зими не опускається нижче мінус 26°C.

Артишок іспанський (*Cynara cardunculus* L.) унікальний тим, що водночас є «ґрунтобудівником» і їстівною культурою. Виростаючи в висоту до 1,8 м, продукує вражаючий обсяг листової маси. Вирощується з насіння. Росте в регіонах із мінімальною температурою протягом року не нижче - 17°C.

Кропива дводомна (*Urtica dioica* L.). Накопичує поживні речовини не гірше за живокіст лікарський. Вирощувати її дещо складно. Росте як на сонці,

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

так і в затінку, але потребує багато вологи. Розмножується підземними ризомами.

Конюшина лучна (*Trifolium pratensis* L.) виростає заввишки до 90 см. Як і інші покривні культури, виступає хорошим азотфіксатором, перетворюючи азот із повітря у доступні для культур-наступників форми. З кожним скошуванням зеленої маси гинуть бульбочкові бактерії на корінні, постачаючи накопичений із повітря азот у ґрунт. Зелена маса рекомендується для виробництва компосту, оскільки вона теж містить порівняно багато азоту.

Аморфа кушова (*Amorpha fruticosa* L.) – ще один азотфіксатор – бобовий кущ, що виростає заввишки до 2,4 м. Рослину можна косити раз за разом, отримуючи велику кількість біомаси. Любить вологі, частково затінені місцевості.

Карагана дерев'яниста (*Caragana arborescens* L.) – низькоросле дерево з родини бобових, яке покращує структуру ґрунту і накопичує азот. За умови регулярного скошування – формується кущ заввишки до 1,8 м. Підходить для лісової та лісостепової зон та прохолодного клімату, погано витримує спеку. Розмножується саджанцями.

Культура соняшнику. Рослини соняшника мають розгалужену кореневу структуру, яка допомагає їм залишатися прямими при значній висоті. Їх глибоке й міцне коріння сягає далеко вглиб землі, ефективно створюючи канали для води, повітря і поживних речовин, необхідних для створення гарного стану ґрунту з часом.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65



Рис.13. Культура соняшнику (фото: Freepik)

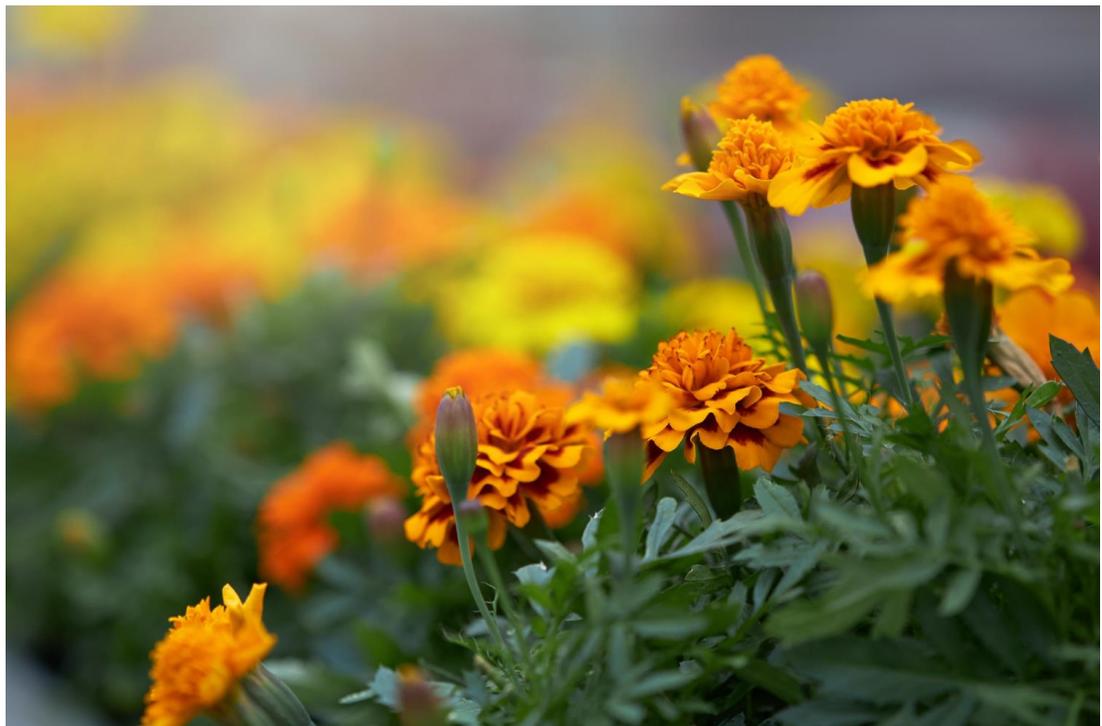


Рис.14. Культура чорнобривців (фото: Freepik)

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66



Рис.15. Культура гороху (фото: Wikipedia)

Горох та інші бобові відомі як рослини, що збалансовують рівень азоту – вони можуть із часом значно підвищити вміст цієї життєво важливої поживної речовини та її сполук у ґрунті. Азот є основним компонентом амінокислот, своєрідних будівельних блоків білків, без яких рослини в'януть і гинуть. Тож рослина, яка виробляє азот – як-от горох – у значній кількості, безумовно корисна для родючості ґрунту і здорових рослин.

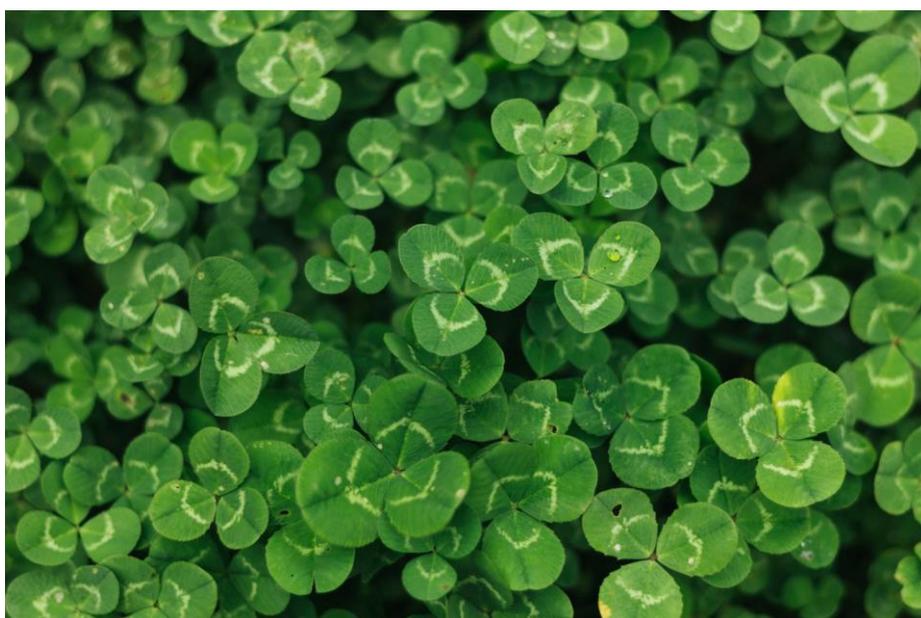


Рис. 16. Конюшина повзуча (фото: Freepik)

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Конюшина – це не лише барвиста альтернатива трав'яному газону. Її квіти приваблюють як комах-запилювачів, так і корисних комах, які допомагають контролювати популяцію шкідників, що також впливає на якість ґрунту.

Розторопша плямиста (*Silybum marianum* L.) – багаторічна трав'яниста рослина з родини Айстрові (Asteraceae).



Рис.17. Розторопша плямиста (фото: Wikipedia)

За словами експертів в садівництві, розторопша має ґрунтоутворні властивості, які можуть допомогти саду рости і залишатися здоровим. Крім цього, рослина багата на калій, а її міцне і довге коріння допомагає розпушувати ґрунт і виносити залізо ближче до поверхні, що покращує структуру ґрунту.

Культура люпину (*Lupinus* sp.) – багаторічна трав'яниста рослина з родини бобових (Fabaceae). Х'юїтт цінує люпин в садівництві з багатьох причин, і не лише тому, що він покращує ґрунт – насамперед, через те, що цю рослину легко вирощувати. Та головне, люпин має кореневу систему, яка приносить користь ґрунту та рослинам поруч, збалансовуючи рівень азоту у ґрунті.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-мТЗ 11393649 ПЗ

Арк.

68

4.3. Індикація забруднених ґрунтів за якістю пилку

Кількість пилкових зерен значною мірою залежить від рівнів фізичного й хімічного забруднення середовища. Пилок рослин відрізняється високою чутливістю до дії негативних факторів, а тому є добрим індикатором забруднення довкілля генетично активними компонентами [43].

Методика аналізу якості пилку полягає у визначенні відсотка ненормальних (абортивних) пилкових зерен. Висока чутливість до дії мутагенів (етиленімін, нітрозоетилсечовина, деякі пестициди) виявляється, наприклад, у помідорів, які висаджені на забруднених ґрунтах.

Генетично активні фактори середовища різко порушують процес утворення пилку помідорів, доводячи навіть до повної відсутності у пильниках нормальних пилкових зерен.

Для визначення якості пилку використовують таке обладнання та методи, як мікроскоп, предметне і покривне скельця, препарувальні голки, піпетки і слабкий розчин йоду.

Для приготування слабого розчину йоду слід взяти 2 мл йодної насоянки і озбавити водою до 10 мл. Цей розчин викорисовується для забарвлення пилку. Після забарвлення його не важко відрізнити нормальні пилкові зерна від ненормальних, використовуючі дані таблиці 5.

Таблиця 5

Відмінні знаки нормальних пилкових зерен помідорів від ненормальних

Нормальні пилкові зерна	Абортивні пилкові зерна
забарвлені інтенсивно	знебарвлені (слабо забарвлені)
однакові за розміром	мають різні розміри
однакові за формою	неправильної форми (диформовані)

Дослідження (приготування та аналіз мікропрепаратів) слід проводити в лабораторних умовах із використанням методи мікроскопіювання за таким алгоритмом:

1. Препарувальною голкою вилучити пилок із пильників квітки і помістити їх на предметне скельце.

2. За допомогою піпетки нанести на пилок каплю розчину йоду і розмішати цю каплю препарувальною голкою так, щоб всі пилкові зерна були в розчині, а не плавали на його поверхні.

3. Витримати препарат у такому вигляді впродовж двох хвилин, після чого накрити краплю покривним склом і розглянути препарат під мікроскопом.

4. За декількома полями зору підрахувати кількість нормальних і абортивних пилкових зерен. Бажано, щоб їх загальна сума була не меншою, ніж 200-300).

5. Визначити відсоток нормальних (чи абортивних) пилкових зерен за кожною квіткою, яка бралась для аналізу.

Звичайно, пилок у рослин, які зростають в нормальних умовах, має хорошу якість, відсоток нормальних пилкових зерен складають біля 10%. Підвищення забруднення навколишнього середовища та окремих його компонент, як от ґрунти, викликає зниження кількості нормальних пилкових зерен до 50%.

4.4. Індикація забруднених ґрунтів за допомогою безхребетних тварин

Одним із найбільш важливих показників антропогенного впливу на ґрунти й екосистеми в цілому є зміна вилученого складу й кількості ґрунтових і наґрунтових безхребетних тварин. Їх вивчення доцільно проводити на облікових ділянках, лінійно-радіальних маршрутах, екологічних профілях, де

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проводяться ґрунтові прикопки й встановлюються ловилки за методом «ловчих стаканів».

Для визначення загального характеру забуднення ґрунту на обліковій ділянці в 1 га необхідно закладати 4-5 прикопок розміром 50 x 50 см на глиину трапляння ґрунтових безхребетних тварин.

При більш детальному вивченні локальних антропогенних впливів на ґрунти слід брати проби на ділянках в 0,01 га (10x10 м) в 1/16 м²(25x25 см).

При

Цьому кількість проб із однієї ділянки збільшують до 9-12. Розміщення прикопок на ділянці моніторингу визначається метою й завданнями дослідницьких вишукувальних робіт.

На однорідних ділянках достатньо закласти три (а діагонально), а краще – п'ять (чотири по кутам і одну в центрі)/

Процес відбору проб відбувається за таким алгоритмом.

Спочатку відзначають площу ділянки моніторингу, потім забивають по кутам квадрату кілки, натягуючи між ними шнур. Потім від меж відбитої ділянки відгрібають у різні сторони все, що знаходиться зверху до ґрунту (в даному випадку сміття).

Поряд із пробою з однієї чи з двох сторін розкладаються плівку чи щільну тканину, на яку потім поміщають вибраний із проби ґрунт.

Спочатку з пробної ділянки руками знімають поверхневу частину ґрунту, і ретельно перебирають, враховуючи і збираючи всіх виявлених і зафіксованих тварин.

Великі за розмірами грудки доцільно дробити, а переплетення коренів – розривають.

Усіх виявлених тварин збирають у баночки (чи інші ємності), тканинні мішечки. Усіх тварин збирають із кожної проби і шару окремо, і тут же записують інформацію у польовий щоденник із тією точністю визначення, яка тільки можлива в польових умовах.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Увес зібраний при взятті проб матеріал фіксується для наступної камеральної обробки в лабораторних умовах.

Для підвищення точності розмірів прои використовують металічні пластини заданого розміру, які забивають у ґрунт, а потім вибирають ґрунтові шари.

Здійснюється також обрахунок кількості дощових черв'яків.

Дощові черви – постійні й обов'язкові мешканці ґрунтів. Кількість їх є дуже варіабельною, досягаючи в сприятливих умовах до 1000 особин на 1 м². У звичайний умовах чисельність їх коливається від декількох десятків до 2-4 сотень.

Ця група організмів відіграє осоловую роль у ґрунтотворочому процесі, збагачуючи ґрунт азотистими речовинами і біогенними елементами, беручи участь в розкладанні органічних рештків.

Вивчення чисельності й біомаси дощових черв'яків дозволяє оцінити хід ґрунтотворчого процесу на досліджуваній території.

Для збирання черв'яків потрібен довгий пінцет, ніж, совок і лопата.

Зібраних черв'яків поміщають у тканинні мішечки, які виготовлені із щільної тканини або в скляні баночки разом із землею і, за можливості, вологим мохом. У банках у жарку погоду тварини швидко загинуть, тому краще використовувати мішечки.

Розкопки при взятті проб і ручний відбір ґрунтових проб на місці надають достовірні дані по порядок чисельності і співвідношення трапляння окремих видів червів та екологічних груп.

Отримані такими методами дані виявляються найбільш достовірні і співставні при регіональних дослідженнях. Однак, треба зважати на трудомісткість цього методу.

Для підрахунку дощових червів методом підрахунку виповзків після дощу чи ля вигонки червів, заливаючи ділянку моніторингу водою (5-6 відер на 1 м²), але ці методи надають наближені результати.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

При вивченні впливу дорожньо-стежкової сітки та інших форм антропогенного впливу на ґрунт підраховують також чисельність дощових черв'яків також за рівнями віддаленості від об'єкта.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						73
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 5.

ПРАВОВІ АСПЕКТИ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗАБРУДНЕНИХ ЗЕМЕЛЬ

Рекультивация порушених земель, консервація деградованих, малопродуктивних та техногенно забруднених земель, меліорація земель з порушеним водним режимом є основними організаційно-правовими заходами відновлення порушених чи техногенно забруднених земель. Упровадження вище зазначених заходів потребує розробки проєктної документації, технічних засобів та спеціальних знань. Слід підкреслити, що здійснення вказаних заходів отримало належне правове забезпечення. Виходячи зі змісту ст. 166 Земельного кодексу України, об'єктом рекультивациі виступають порушені землі. Останні, згідно зі ст. 1 Закону України «Про охорону земель» від 19 червня 2003 р. № 962-IV, є такими, які в результаті антропогенної діяльності людини або через дію природних явищ втратили господарську та екологічну цінність, що є наслідком порушення ґрунтового покриву [14].

Таким чином, ідеться про землі, структура рельєфу яких, екологічний стан ґрунтів і материнських порід, а також гідрологічний режим внаслідок гірничодобувних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт зазнали змін та підлягають рекультивациі. Відповідно до законодавчого визначення, рекультивация порушених земель становить собою комплекс як організаційних, технічних, так і біотехнологічних заходів, які спрямовані на відновлення ґрунтового покриву, а отже, на поліпшення стану та продуктивності порушених земель.

Виходячи з наведеного вище, доцільно підтримати точку зору С. В. Шарапової [40] щодо комплексу організаційних та технічних заходів, які впроваджуються при рекультивациі порушених земель. Як переконливо зазначає науковиця, заходи, що здійснюються при рекультивациі земель, спрямовані на поліпшення як їх продуктивності, так і екологічної,

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

господарської цінності та подальше повне відновлення якісного стану навколишнього природного середовища (екосистеми) [40].

Рекультивації підлягають порушені землі як сільськогосподарського так і несільськогосподарського призначення, які втратили господарську та екологічну цінність. Зазначений захід відновлення має бути застосований як стосовно сільськогосподарських, так і несільськогосподарських угідь сільськогосподарського призначення, адже будь-які з них можуть зазнати порушення ґрунтового покриву через антропогенну діяльність або вплив природних явищ. Проте мета рекультиваційних заходів є різною.

Акцентуємо увагу, що земельному законодавству бракує норми щодо обов'язкового проведення рекультивації щодо порушених земельних ділянок сільськогосподарського призначення. Правова норма ст. 166 Земельного кодексу [11] має загальний характер і стосується земель усіх категорій. Проте виходячи з того, що саме землі сільськогосподарського призначення є основним національним багатством, отже, потребують особливо дбайливого ставлення, земельне законодавство доцільно доповнити окремою нормою щодо обов'язкового проведення рекультивації на землях вказаної категорії.

Підкреслимо, що об'єктом консервації виступають сільськогосподарські угіддя з порушеною внаслідок землетрусу, карстоутворення, зсувів, повеней тощо поверхнею, а також з ґрунтами, які є еродованими, перезволоженими, забрудненими хімічними речовинами, з підвищеною кислотністю або засоленістю. Крім того, консервації підлягають і малопродуктивні сільськогосподарські угіддя, господарське використання яких є економічно неефективним через їх низьку родючість, що обумовлене їх негативними властивостями.

Слід наголосити, що впровадження консервації земель призводить до трансформації сільськогосподарських угідь у несільськогосподарські на час її проведення, що впливає зі змісту ч. 2 ст. 22 Земельного кодексу. Катастрофічних пошкоджень, масштабної руйнації землі

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

сільськогосподарського призначення зазнали за час проведення бойових дій на території України.

Отже, на сьогодні постала необхідність проведення консервації не лише деградованих та малопродуктивних земель сільськогосподарського призначення, але й вилученню із сільськогосподарського обігу і техногенно забруднених земель [28]. Правові приписи щодо консервації деградованих, малопродуктивних і техногенно забруднених земель містяться в Земельному кодексі України (ст. 172) й Законі України «Про меліорацію земель» (ст. 51) [29].

До того ж, Постановою Кабінету Міністрів України від 19 січня 2022 р. №35 було затверджено Порядок консервації земель, який визначає організаційні засади щодо консервації зазначених вище земельних ділянок [.

Відповідно до ч. 1 ст. 172 Земельного кодексу України консервація земель здійснюється шляхом припинення чи обмеження господарського використання на визначений термін і залуження, заліснення або ренатуралізації. Як і проведення рекультивації порушених земель, впровадження консервації є неможливим без розроблення робочого проєкту землеустрою. Акцентуємо увагу, що в умовах низької родючості ґрунтів, їх засолення, дефіциту вологозабезпечення, зниження рівня ґрунтових вод, надлишкової ґрунтової кислотності важливого значення набуває їх меліорація. Адже відновлення земель сільськогосподарського призначення шляхом застосування меліоративних заходів спрямоване не лише на забезпечення продовольчої безпеки, але й сталого розвитку сільськогосподарського виробництва в цілому.

Доцільно підтримати точку зору Т. В. Лісової [16], яка підкреслює, що в Україні, як аграрній країні, значний вплив на землеробство спричиняє не лише рівень господарювання, а й природно-кліматичні умови, які, на жаль, упродовж останніх років є несприятливими. Зокрема, спостерігається підвищення температури, що викликає зміщення ґрунтово-кліматичних зон,

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що впливає на обрання та проведення тих чи інших заходів відновлення земель [17].

Відповідно до ст. 1 Закону України «Про меліорацію земель» від 14 січня 2000 р. № 1389-XIV меліорація становить собою комплекс гідротехнічних, культуртехнічних, хімічних, агротехнічних, агролісотехнічних, а також інших меліоративних заходів, що здійснюються з метою регулювання водного, теплового, повітряного і поживного режиму ґрунтів, збереження і підвищення їх родючості та формування екологічно збалансованої раціональної структури земель [29].

Залежно від меліоративних заходів, визначених зазначеним вище Законом, передбачено проведення хімічної, гідротехнічної, культуртехнічної, агротехнічної й агролісотехнічної меліорації. Під час розроблення проєктів меліорації земель обов'язково має застосовуватися комплексний підхід до здійснення меліоративних заходів.

Отже, меліорація є важливим дієвим заходом відновлення й поліпшення земель, проте при здійсненні її заходів повинно обов'язково бути забезпечене збереження природних екосистем. Сам же цей захід відновлення земель повинен провадитися з дотриманням вимог екологічної безпеки.

Отже, питання забезпечення відновлення земель сільськогосподарського призначення та техногенно навантажених набувають особливої актуальності в умовах погіршення їх якісного стану, поширення процесів деградації. Важливим на сьогодні є вдосконалення чинного законодавства у сфері забезпечення впровадження заходів щодо відновлення порушених і забруднених земель. Зокрема, такі заходи як біоремедіація, фіторемедіація, детоксикація земель повинні знайти закріплення у земельному законодавстві. Крім того, у законодавстві необхідно встановити екологічні вимоги до проведення вказаних заходів відновлення земель.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Окремим напрямом комплексної проблеми управління відходами є об'єкти накопичення та зберігання твердих побутових відходів – полігони та ТПВ та сміттєзвалища – як потенційно небезпечні для довкілля техногенні об'єкти. Вони виступають основними джерелами забруднення, що негативно впливає на всі складові природного середовища: атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунти, біорізноманіття. Найбільш шкідливий ефект від відходів та сміття в місцях їх накопичення й зберігання виявляється через 3-4 роки після початку функціонування полігону, і цей вплив продовжується ще 15-20 років після їх закриття.

2. Робота з паспортизацією та рекультивацією полігонів ТВП та сміттєзвалищ здійснюється неналежним чином. Встановлено, що в Полтавській області наразі знаходиться 261 сміттєзвалищ, які перебувають у стані перевантаження, а 868 об'єктів (14%) взагалі не відповідають екологічним стандартам безпеки. Процес їх паспортизації та рекультивації здійснюється недостатньо ефективно. Зокрема, із 1542 сміттєзвалищ, що потребували паспортизації, у 2020 році офіційно паспортизували лише 93, тоді як із 424 сміттєзвалищ, які слід було рекультивувати, фактично завершили роботи лише на 24-х. Результати аналізу поточної статистичної інформації засвідчує те, що й в інших регіонах та областях України ситуація є не кращою.

3. Встановлено, що більшість нормативних матеріалів, рекомендацій і досліджень зосереджена на темі рекультивації порушених земель. Водночас питання, пов'язані з відновленням земель полігонів ТПВ і сміттєзвалищ, залишаються недостатньо висвітленими. Тому пошук науково-методичних підходів до рекультивації полігонів ТПВ і сміттєзвалищ є важливим та актуальним завданням, зважаючи на їх негативний вплив на навколишнє середовище та необхідність подальшого використання таких земель.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

4. Полігони для захоронення твердих побутових відходів є спеціалізованими інженерно-екологічними об'єктами, призначеними для збирання, оброблення та знищення ТПВ, що сприяє запобіганню забрудненню довкілля та його компонентів. Оскільки вони мають обмежений період експлуатації, вже на етапі проєктування передбачається їх рекультивація.

5. Рекультивація полігонів ТПВ передбачає проведення ряду робіт із відновлення економічної цінності та продуктивності територій, що підлягають відновленню та оздоровленню. Використовуються основні методи рекультивації, які співвіднесені в групи: видалення, вилучення та захоронення відходів, знищення на місці та фіксування забруднюючих речовин. Рекультивація земель є кінцевим етапом роботи полігону, що проводиться після завершення його експлуатації, коли досягнуто стабільного стану. Усі роботи здійснюються у два етапи: технічний і біологічний.

6. Встановлено, що дієвим і найбільш ефективним методом відновлення забруднених земель після ліквідації полігонів та сміттєзвалищ, є фітореMediaція як ефективна, оздоровча для ґрунтів природоохоронна біотехнологія, що включає такі технологічні рішення як: фітодеградація, ризофільтрація, фітоекстракція, фітоволоталізація та ін.

7. ФітореMediaція – це один із найдієвіших способів очищення ґрунтів від забруднюючих речовин за допомогою рослин. Цей процес не потребує видалення ґрунту, що сприяє охороні та відновленню екосистеми. Вона також допомагає покращити якість ґрунтів, захищати їх від ерозії та може бути застосована на значних за площею територіях. Це більш ефективний і економічно доцільний спосіб очищення ґрунтів у порівнянні з традиційними методами. Основні труднощі, які виникають при провадженні фітореMediaції, пов'язані із низьким рівнем екологічної свідомості землекористувачів та землевласників та недосконалість екологічного законодавства.

8. При виборі найбільш ефективного рішення для забруднення ґрунтів певного типу є підбір фітореMediaнтів – рослин, здатних ефективно

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поглинати забруднювачі з ґрунту. Доцільно використовувати місцеві дикорослі види рослин (робінію звичайну, клен американський, талабан польовий, буркун білий, види лободи, амброзію полинолисту), культивовані (сорти сорго, міскантусу, соняшнику, кукурудзи, гороху, світчграсу та ін.) і навіть генетично модифіковані. При виборі фіторемедіантів враховуються їх здатності відновлювати природний стан ґрунту (як його структуру, так і функції), ефективно розвивати кореневу систему та надземну вегетацію, а також демонструвати високу біоаккумулятивну здатність.

8. Фіторемедіація – технологія, що використовує рослини і їх супутні мікроорганізми-деструктори для очищення ґрунту від токсичних речовин або їх перетворення в нешкідливі метаболіти. Враховуючи це, вирощування енергетичних культур як фіторемедіантів (видів і сортів родів Тополя, Верба, світчаграс та ін.) на забруднених і деградованих ґрунтах виглядає перспективним шляхом. Це дозволить не лише зменшити рівень деградації, а й покращити агрономічні характеристики ґрунтів. Висока продуктивність біомаси таких культур може перетворити фіторемедіацію на вигідний сектор біоенергетичної індустрії.

9. При визначенні типів та рівнів забруднення ґрунтів, а також ефективності їх очищення у процесі фіторемедіації доцільно використовувати біоіндикаційні методи, що надають можливість аналізу впливу техногенних забруднень на живі організми, включаючи рослин і тварин, а також на абіотичні компоненти природи. Вони є доцільними й при визначенні та моніторингу земель, які зайняті звалищами відходів і сміття, та тих, які межують із такими об'єктами.

10. Важливим на сьогодні є вдосконалення чинного природоохоронного законодавства щодо впровадження заходів із відновлення порушених і забруднених земель. Зокрема, такі з них, як біоремедіація, фіторемедіація, детоксикація земель повинні знайти закріплення у земельному законодавстві. У законодавстві необхідно встановити екологічні вимоги до проведення вказаних заходів і забезпечити їх повний нормативно-правовий супровід.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Агроекологічний атлас Полтавщини. Серія «Екологічна бібліотека Полтавщини». Випуск 7. Полтава : Оріяна, 2009. 70 с.
2. Балюк С. А., Воротинцева Л. І., Ладних В. Я. Заходи з детоксикації забруднених ґрунтів та зменшення транслокації важких металів в сільськогосподарські культури: рекомендації. Харків : ТОВ «Смугаста типографія», 2014. 56 с.
3. Бессонова В.П. Методи фітоіндикації в оцінці екологічного стану довкілля. Запоріжжя : Запорізький університет, 2001. 196 с.
4. Борецька І. Ю., Джура Н. М., Романюк О. І. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. *Екологічні науки*. 2023. № 6(39). Науково-практичний журнал. С. 72–76.
5. Брощак І. С., Венглінський М. О., Гаврилюк В. Б. Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України. Львів, 2015. 94 с.
6. Виговська Г. П., Гільбран С. В. Оцінка техніко-екологічного стану об'єктів інфраструктури щодо поводження із твердими побутовими відходами (ТПВ). *Екологічні науки*. 2020. Т. 1, № 2(29). С.158–163.
7. Гавриш Н. С. Використання, відтворення та охорона ґрунтів в Україні: теоретико-правові аспекти : моногр. Одеса : Юрид. літ., 2016. 396 с.
8. Гирля Л. М. Фіторемедіація – ефективний шлях зниження вмісту важких металів у ґрунтах. *Наукові праці*. 2010. Вип. 140. Том 152. С. 57–59.
9. Грабак Н. Х., Будикіна Ю. І. Техногенно забруднені землі та шляхи їх безпечного використання в агропромисловому виробництві. *Наукові праці : наук.-метод. журнал*. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. Т. 232. Вип. 220. Екологія. С. 83–87.
10. Дацько О. М., Яценко В. М. Сучасні методи ремедіації ґрунтів. Фіторемедіація як ключ до очищення ґрунтів та збереження екосистем. *Аграрні інновації*. 2024. №25. С. 20–24.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

11. Земельний кодекс України від 25.10.2001 р. № 1389-XIV. Офіц. вісн. України. 2001. № 46. Ст. 2038. Про охорону земель: Закон України від 19.06.2003 р. № 962-IV. Відом. Верхов. Ради України. 2003. №39. Ст. 349.

12. Ілляш О.Е., Голік Ю.С. Дослідження ресурсного потенціалу побутових відходів у Полтавській області. Проблеми Охрони Праці в Україні. 2023. 39 (1-2). С. 47–54.

13. Ілляш О. Е., Голік Ю. С. (2022). Організація моніторингу системи управління побутовими відходами. Technologies and strategies for the implementation of scientific achievements: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the I International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 2), May 27, 2022.

14. Ілляш О. Е., Смоляр Н. О. (2022). Оцінювання ризиків впливу на довкілля та здоров'я населення при плануванні й реалізації Регіонального плану управління відходами. Проблеми охорони праці в Україні, 38(3), 1С. 19–27.

15. Кулинич П. Ф. Земельна реформа в Україні: правові проблеми : моногр. Київ : Норма права, 2021. 308 с.

16. Ласло О. О. Відновлення порушених земель сільськогосподарського призначення за допомогою біоремедіації. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування : зб. наук. пр. Рівне, 2014. С. 94–100.

17. Лейба М. О. Проблеми правового забезпечення заходів щодо відновлення земель сільськогосподарського призначення. Науковий вісник Ужгородського національного університету, 2024. Серія Право. Випуск 84: частина 2. С. 212–216.

18. Лісова Т. В. Меліорація земель як захід їх відновлення: сучасні проблеми правового забезпечення. Право і суспільство. 2022. № 1. С. 104–111.

19. Лісова Т. В. Особливості відновлення земель в сучасних умовах правового регулювання. Реалізація норм екологічного, земельного та

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

аграрного права в умовах реформування правової системи України : матер. Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Івано-Франківськ, 8–10 вересня 2017 р.). Івано-Франківськ : ДВНЗ «Прикарпат. нац. ун-т ім. В. Стефаника», 2017. С. 155–157.

20. Лісова Т. В. Правове забезпечення відновлення земель: теоретичні і практичні проблеми : моногр. Харків : Юрайт, 2020. 396 с.

21. Макаренко Н., Строкаль В., Бережняк Є., Бондар В., Павлюк С., Вагалюк Л., Наумовська О., Ладика М., Ковпак А. Вплив російської воєнної агресії на природні ресурси України: аналіз ситуації, методологія оцінювання. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2022. Вип. (4). № 98.

22. Методичні рекомендації з фітотестування забруднених стійкими пестицидами ґрунтів ; під ред. О. І. Фурдичка. К. : ДІА, 2009. 28 с.

23. Моклячук Л. І., Слободенюк О. А., Петришина В. А. Науково-методичні підходи до фіторемедіації забруднених пестицидами ґрунтів. *Агроекологічний журнал*. 2008. Спецвипуск. С. 188–190.

24. Мовчан О. М., Устінов І. Д., Марков І. Л. та ін. Карантинні шкідливі організми. К. : Світ, 2000. 200 с.

25. Новохацька Н. А., Трофимчук О. М. Технологія інвентаризації місць видалення відходів методами дистанційного зондування Землі. *Екологічна безпека та природокористування*. 2014. Вип.14. С. 31–40.

26. Окрушко С. Є., Стаюк С.В. Фіторемедіація забруднених ґрунтів. *Збірник наукових праць ВНАУ Селекція*. 2011. №9 (49). С. 179–186.

27. Параняк Р. П., Васильцева Л. П., Макух Х. І. Шляхи надходження важких металів у довкілля та їх вплив на живі організми. *Біологія тварин*. 2007. С. 1–6.

28. Пацула О. І., Фецюх А. Б., Буньо Л. В. Використання *Salix viminalis* L. для фіторемедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. *Екологічні науки*. 2018. Т. 2, № 20. С. 101–106.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

29. Петришина В. А., Моклячук Л. І. Рослинне угруповання території з полікомпонентним забрудненням пестицидами. *Агроекологічний журнал*. 2008. №3. С. 65–69.

30. Петришина В. А., Моклячук Л. І., Лисенко В. П. Використання апарату нечітких нейронних мереж для виявлення толерантних до пестицидного навантаження видів дикорослих рослин. *Аграрна освіта і наука*. 2008. №1-2. С. 87–93.

31. Про затвердження Порядку консервації земель: постанова Кабінету Міністрів України від 19.01.2022 р. № 35. Офіц. вісн. України. 2022. № 10. Ст. 532.

32. Про меліорацію земель: Закон України від 14.01.2000 р. № 1389-XIV. Офіц. вісн. України. 2000. №6. Ст. 200.

33. Протопопова В. В., Мосякін С. Л., Шевера М. В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. К. : Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного, 2002. 32 с.

34. Регіональна програма охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на 2022-2027 роки («Довкілля – 2027»). Полтава. 2018. 138 с.

35. Регіональний план поводження з відходами у Полтавській області до 2033 року. Полтава, 2021. 717 с.

36. Русіна Н. Г., Люльчик В. О., Петрова О. М., Кушнірук О. М., Рудько О. М. Еколого-технічні засади рекультивації земель закритих полігонів твердих побутових відходів (ТПВ). 2020. *Екологічні науки*. № 5(38). Науково-практичний журнал. С. 127–131.

37. Самохвалова В.Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. Біологічні студії. 2014. С. 217–236.

38. Самохвалова В. Л., Погромська Я. А., Фатєєв А. І. та ін. Екологічна реабілітація ґрунтів техногенно забруднених переважно кадмієм, цинком та міддю. *Ґрунтознавство*. 2014. Т. 15. № 1-2. С. 42–52.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

39. Самохвалова В. Л., Фатєєв А. І., Зуза С. Г. та ін. Спосіб екологічної ремедіації ґрунту техногенно забрудненого переважно кадмієм, свинцем, цинком та хромом. *Агрохімія та ґрунтознавство*. 2014. Вип. 81. С. 51–59.

40. Самохвалова В. Л., Фатєєв А. І., Зуза С. Г., Зуза В. О. Спосіб ремедіації ґрунту техногенно забрудненого важкими металами. *Агрохімія та ґрунтознавство*. 2013. Вип. 80. С. 101–110.

41. Самохвалова В. Л., Фатєєв А. І., Зуза С. Г., Погромська Я. А., Зуза В. О., Панасенко Є. В., Горпинченко П. Ю. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів. *Agroecological Journal*. 2015. №1. С. 92–100.

42. Фатєєв А. І., Самохвалова В. Л. Детоксикація важких металів у ґрунтовій системі: Науково-методичне видання (методичні рекомендації). Х. : КП «Міськдрук», 2012. 70 с.

43. Шарапова С. В. Рекультивация як форма відновлення якісного стану й підвищення продуктивності земель лісогосподарського призначення. *Право і суспільство*. 2018. № 2. С. 123–128.

44. Шевякіна Н. А., Трофимчук О. М., Красовський Г. Я., Клименко В. І. Методи і моделі космічного моніторингу зон впливу полігонів твердих побутових відходів на довкілля. *Космічна наука і технологія*. 2019. Т.25, №1. С. 62–72 .

45. Basumatary B., Saikia R., Bordoloi S. Phytoremediation of crude oil contaminated soil using nut grass *Cyperus rotundus*. *Journal of Environmental Biology*. 2012. Vol. 33, №5. P. 891–896.

46. Glick B. R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. *Biotechnology Advances*, 2003. 21(5), P. 383–393.

47. Moubasher H.A., Hegazy A.K., Mohamed N.H., Moustafa Y.M., Kabiell H.F., Hamad A.A. Phytoremediation of soils polluted with crude petroleum oil using *Bassia scoparia* and its associated rhizosphere microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2015. Vol. 98, P. 113–120.

48. Salt D. E., Smith, R. D., Raskin, I. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1998. 49. P. 643–668.

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

49. Pandey, Vimal Chandra & Bajpai, Omesh & Singh, Nandita, 2016. Energy crops in sustainable phytoremediation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier. 2016. Vol. 54(C), P. 58–73.

50. Pilon-Smits E. Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology, 2005. 56. P. 15–30.

51. Samokhvalova V. L. Biological methods of remediation soil contaminated by heavy metals. Studia Biologica. 2014. Vol. 8. №1. P. 217–236. <https://doi.org/10.30970/sbi.0801.337> 28. Slima D. F., Ahmed D. A. E.-A. Trace Metals Accumulated in Pea Plant (*Pisum sativum* L.) as a Result of Irrigation with Wastewater. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2020. Vol. 20, №4. P. 2749–2760. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00341-8>

52. Державні будівельні норми «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування». URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/DBN-V.2.4-2-2005.pdf>

53. ДБН В.2.4-2-2005 Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування. Зміна №2. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=89799/

54. Маслак Г., Абдул-Огли Л., Нефьодова О., Нефьодов О., Земляний О., Стрижак О. Вплив важких металів на морфологічні структури травної системи (огляд даних літератури). *Перспективи та інновації науки*. 2024. Вип. 2. № 36. С. 1136–1148. [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-2\(36\)-1136-1148](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-2(36)-1136-1148).

55. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 р.: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p

56. Офіційний веб-ресурс ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» URL : <http://www.ioгу.gov.ua/monitorynh-objektiv-dovkillya/vazhki-metaly/>

57. Офіційний веб-ресурс Професійної Асоціації Екологів України (ПАЕУ). URL : <https://ecolog-ua.com/news/pro-shkodu-pestydydiv>

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

58. Офіційний веб-ресурс Biowatt. URL :
<http://www.biowatt.com.ua/informatsiya/bioenergetichni-kulturi-polissya/>

59. Про управління відходами: Закон України від 15 листопада 2024 р. № 2320-XI / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>

60. Розумнюк Я. В., Соломенко Л. І. Сміття як важлива екологічна проблема на шляху до сталого розвитку. UDR: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/5427> Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік. UDR: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zkhk/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik-2/>

61. Чавлюк Г. В., Грубінко В. В., Гуменюк Н. Б., Мацюк О. Б. Як війна знищує екологію України. *Наукові записки ТНПУ*. Серія: Біологія. 2023. Вип.82. № 4. С. 49–64. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.22.4.6>

					601-мТЗ 11393649 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Додатки

					<i>601-мТЗ 11393649 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		88

ДОДАТОК А ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ

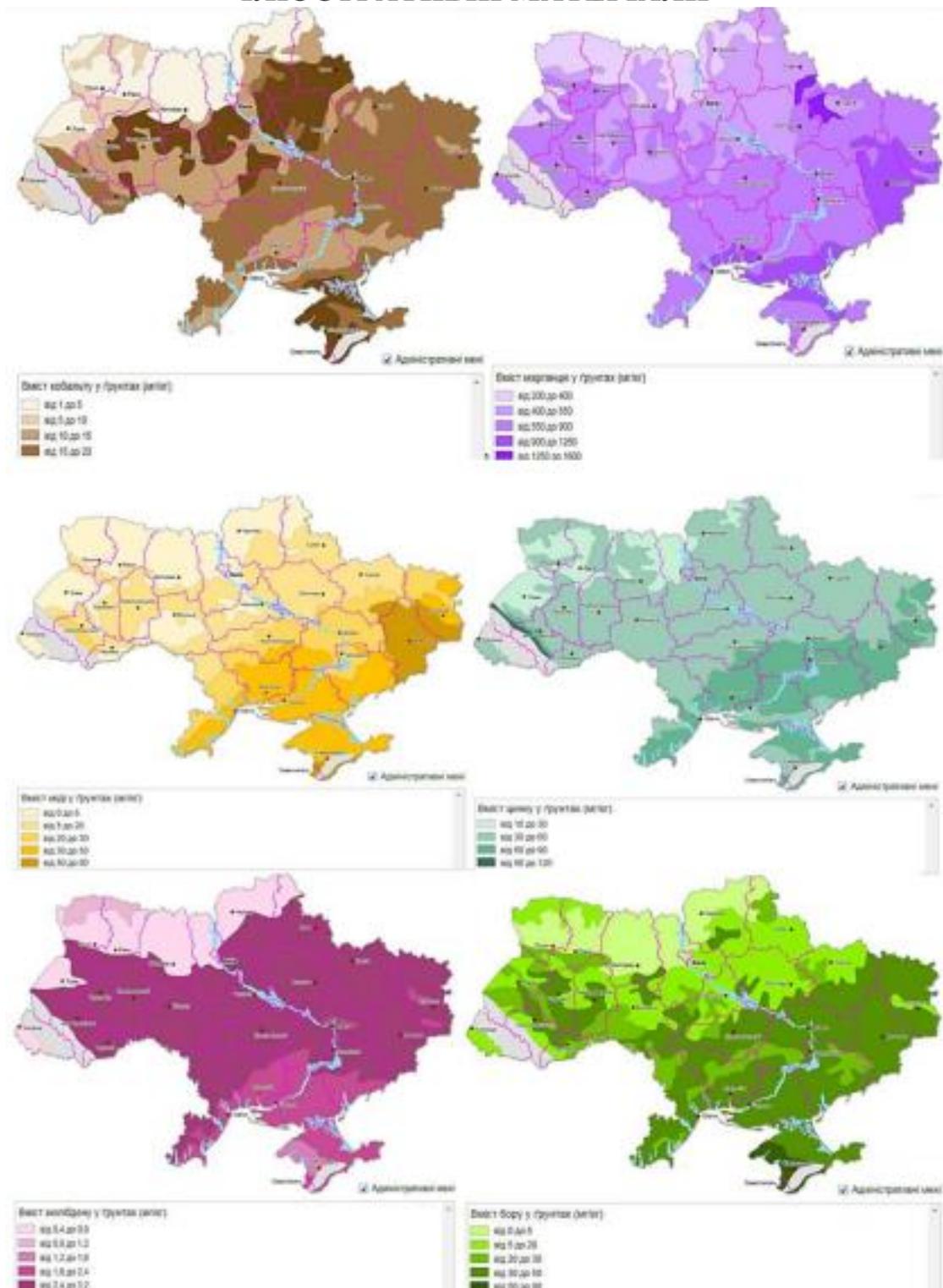


Рис. А.1. Уміст важких металів у ґрунтах України (послідовно зліва-направо та зверху-вниз: Co, Mn, Cu, Zn, Mo, V)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

601-мТЗ 11393649 ПЗ

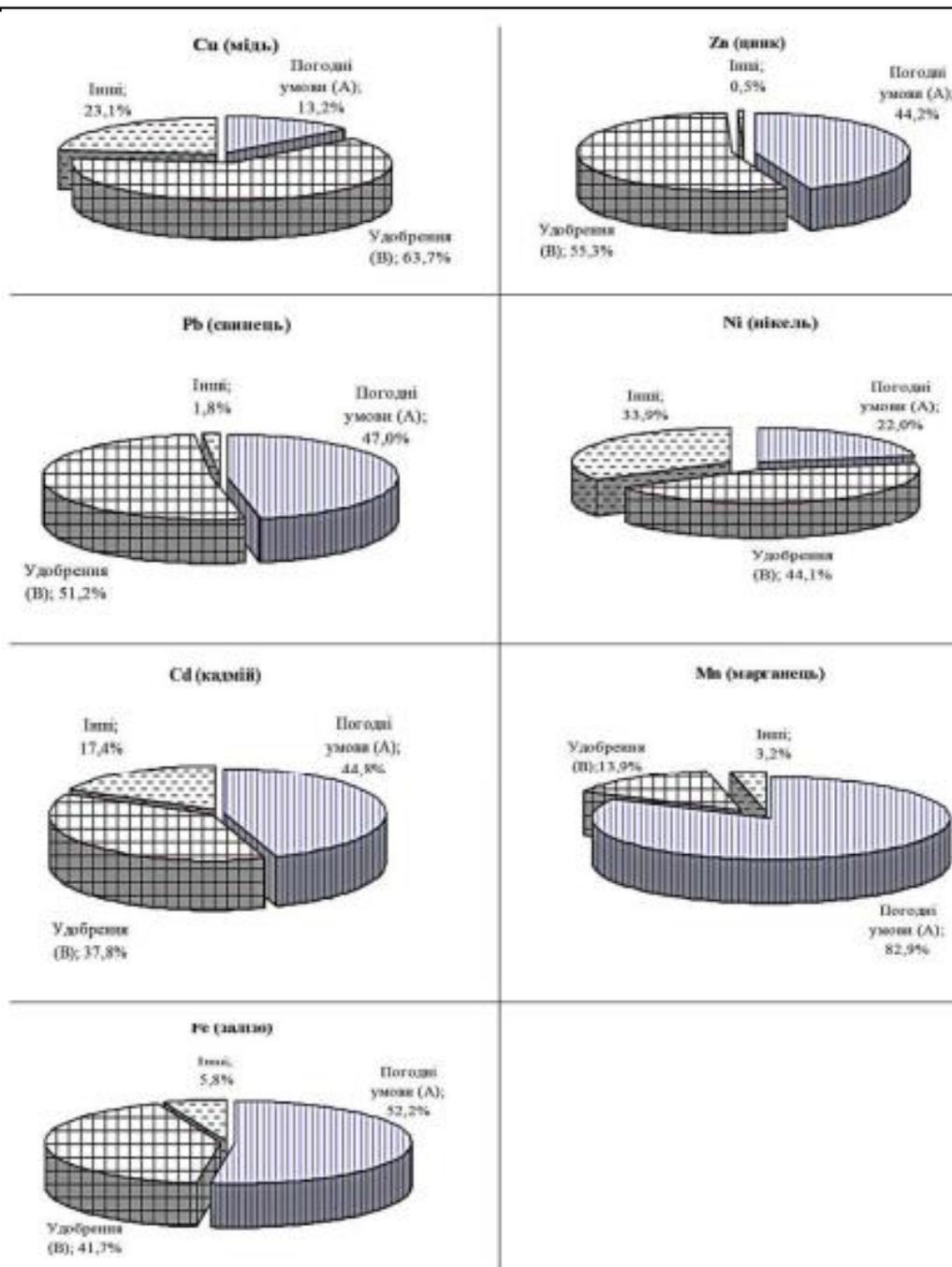


Рис.А.2. Частка участі факторів у нагромадженні важких металів у ґрунті (середнє за 2018-2023 рр.)

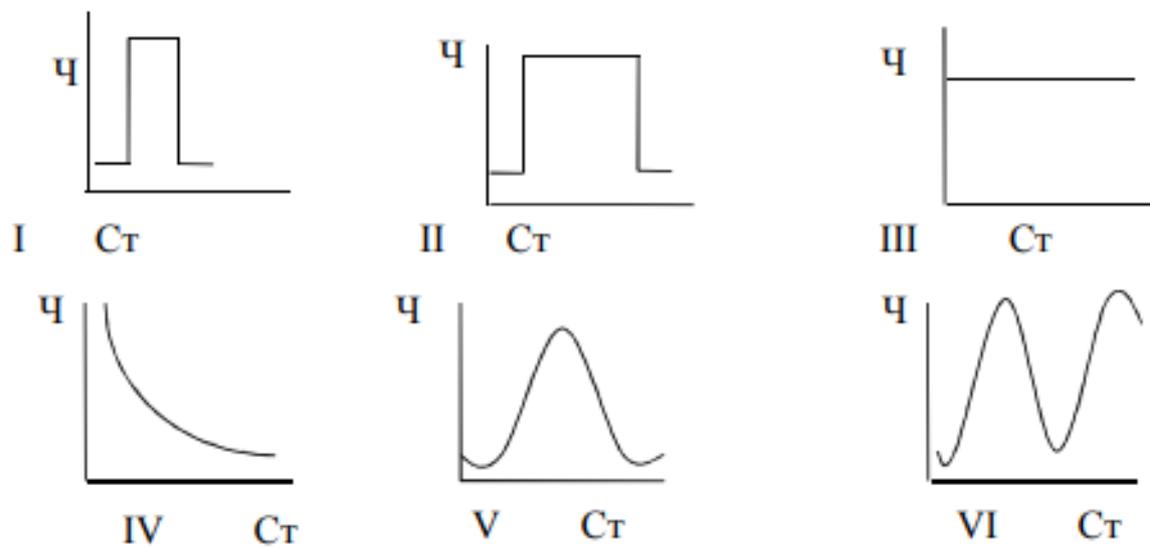


Рис.А.3. Типи чутливості біоіндикаторів залежно від часу розвитку біондикаційних процесів: Ч – чутливість біоіндикатора, Ст-стресор довкілля



БІОЛОГІЧНІ	Методи біодеградації Методи біопоглинання
ФІЗИЧНІ	Механічні методи Гідродинамічні методи Аеродинамічні методи Термічні методи Електричні та електрокінетичні методи Електрохімічні методи Магнітні та електромагнітні методи
ФІЗИКО-ХІМІЧНІ	Коагуляційні методи Сорбційні методи
ХІМІЧНІ	Методи осадження Методи керування окислювально-відновними умовами Методи хімічного окислення Методи хімічної іммобілізації
ҐРУНТОВОГО КОНСТРУЮВАННЯ	Методи ґрунтового конструювання та кондиціонування
МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	Метод математичного моделювання

Рис.А. 4. Концептуальна модель диференціації відомих методів фітореємедіації забруднених важкими металами ґрунтів

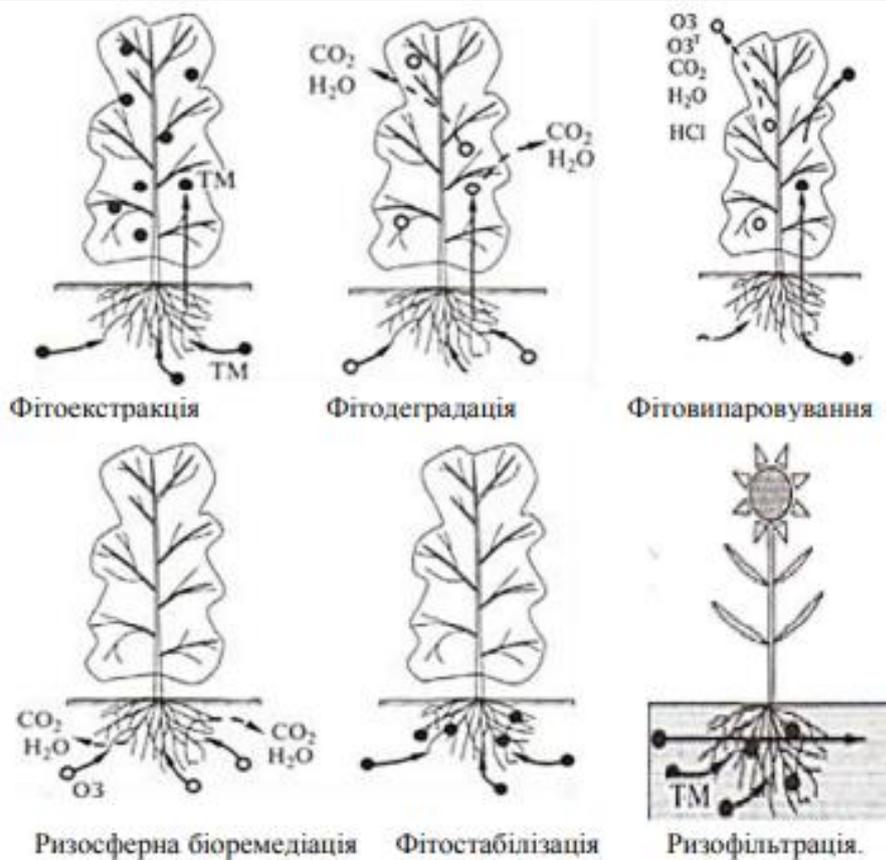


Рис. А.5. Варіанти фіторемедіації (ТМ – важкі метали, ОЗ – органічні забруднювачі, ОЗт – трансформаційні форми органічних забруднювачів)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-мТЗ 11393649 ПЗ

Арк.

93



Рис.А.6. Механізм стійкості рослин до важких металів

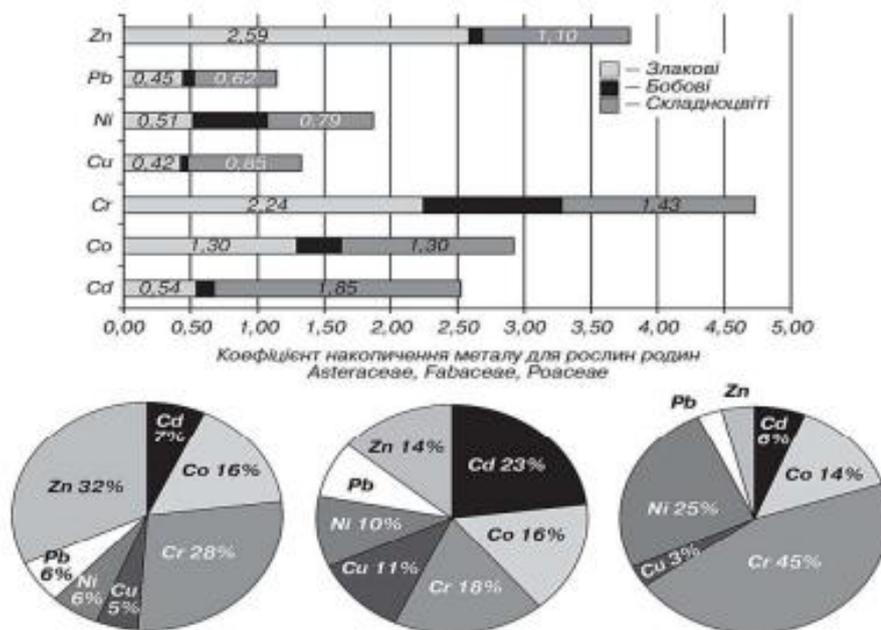


Рис.А.7. Уплив рослин різних родин на ефективність очищення забруднених ґрунтів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

601-мТЗ 11393649 ПЗ

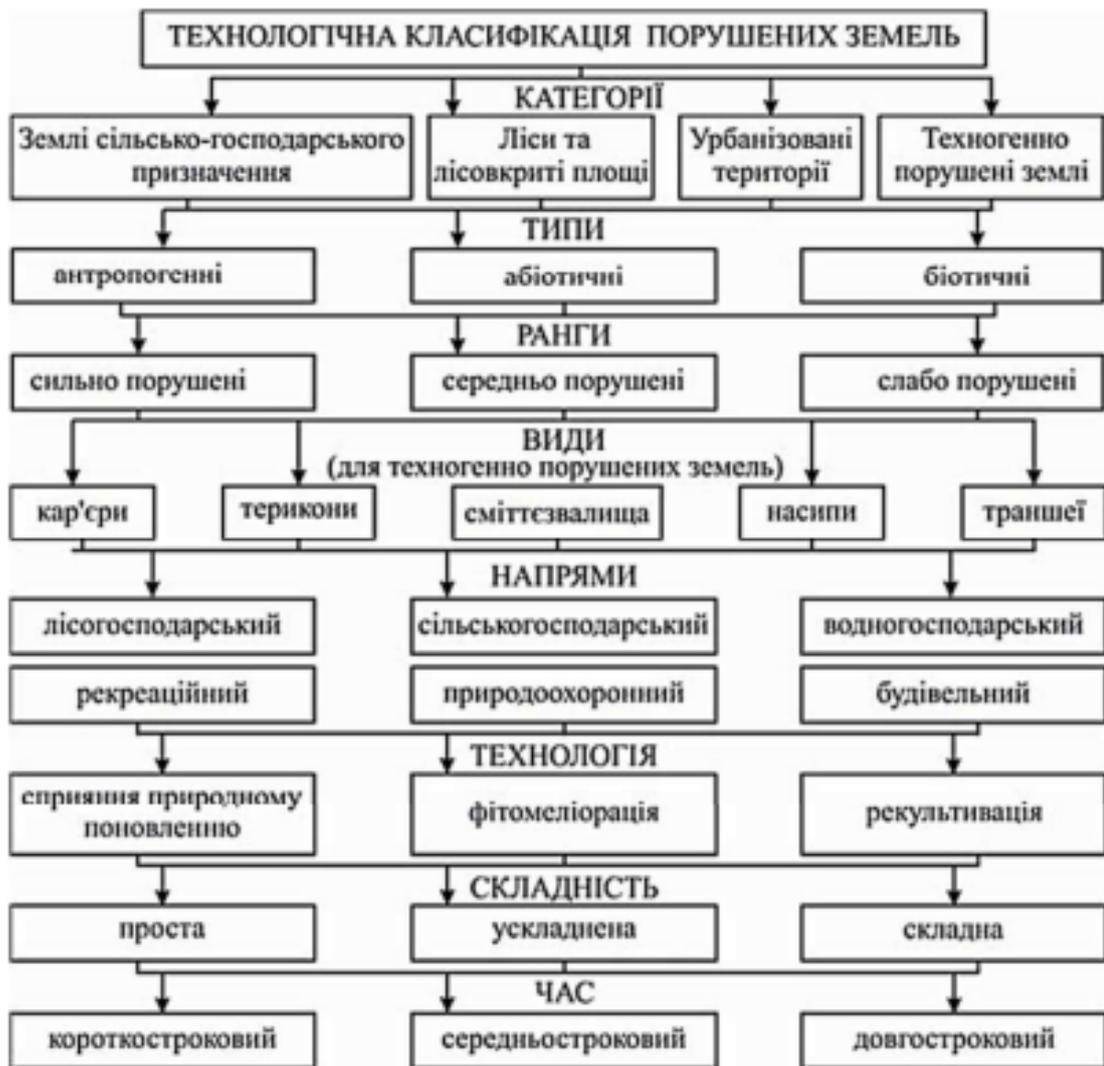


Рис.А.8. Фрагмент технологічної класифікації порушених земель

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-мТЗ 11393649 ПЗ

Арк.

95

Клас порушень	Характер порушень	Параметри порушень	Елементи відкритих розробок	Поверхневий шар	Вид освоєння	Індекс виду порушень
1		$h < 10м$ $S < 10га$ $H < 10м$	Трав'яні, канали, дамби	Потенційно родючий (1); нейтральний у вигляді наносів (2); нейтральний у вигляді скали (3); фітотоксичний (4)	Рілля, ліса, сади, пасовища	I_1 I_2 I_3 I_4
2		$h \geq 10м$ $S \geq 10га$	Поверхня зовнішніх відвалів, гідровідвалів, шламосховищ	Потенційно родючий (1); нейтральний у вигляді наносів (2); нейтральний у вигляді скали (3); фітотоксичний (4)	Рілля, ліса, сади, забудови	II_1 II_2 II_3 II_4
3		$h > 10м$ $S > 10га$	Відкоси і поверхні відвалів, площі менше ділянки	Потенційно родючий (1); нейтральний у вигляді наносів (2); нейтральний у вигляді скали (3); фітотоксичний (4)	Ліси, пасовища	III_1 III_2 III_3 III_4
4		$100 \geq H \geq 10м$ $100 \geq S \geq 10га$	Кар'єри горизонтальних і слабо нахилених родовищ	Потенційно родючий (1); нейтральний у вигляді наносів (2); нейтральний у вигляді скали (3); фітотоксичний (4)	Водосховища, зони відпочинку, ставки для рибництва	IV_1 IV_2 IV_3 IV_4
5		$H > 100м$ $S > 100га$	Глибокі кар'єри	Потенційно родючий (1); нейтральний у вигляді наносів (2); нейтральний у вигляді скали (3); фітотоксичний (4)	Водосховища, ліси, сади	V_1 V_2 V_3 V_4

Рис. А.9. Класифікація порушень (за А.К. Поліщуком, 1977)

ДОДАТОК Б
ТАБЛИЧНІ МАТЕРІАЛИ

Таблиця Б.1

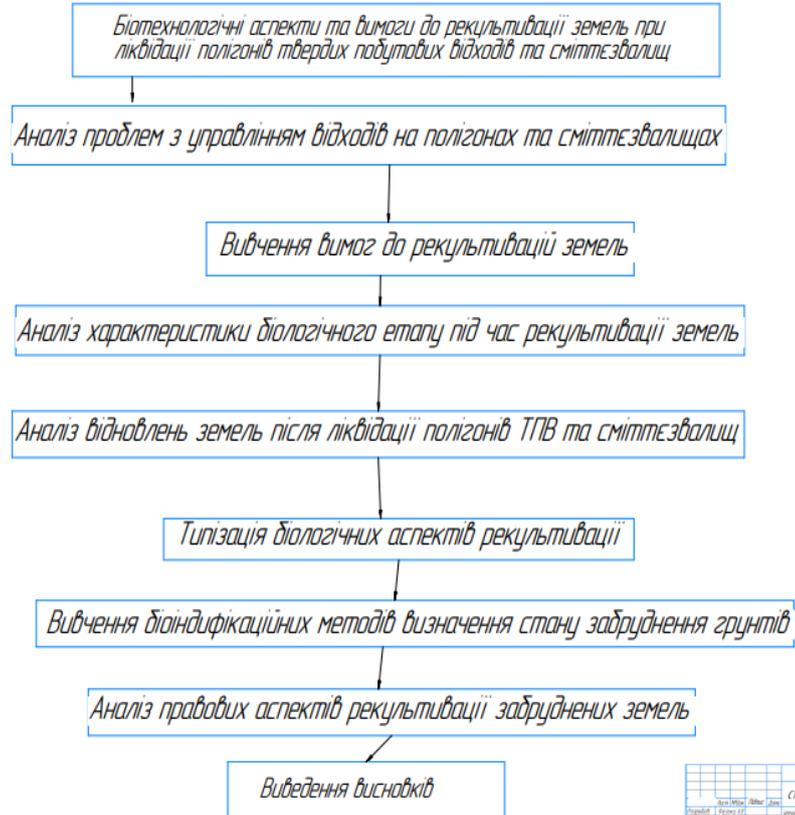
**Фізіологічні порушення у рослинах при надлишку і нестачі
вмісту в них важких металів**

Хімічні елементи	Фізіологічні порушення	
	При нестачі	При надлишку
Cu	Хлороз, в'їлт, меланізм, білі скручені верхівки, послаблене утворення волоті, порушення одеревеніння, суховершинність дерев	Темно-зелені листки, як при Fe – індрукованому хлорозі; товсті, короткі або схожі на колючий дріт корені, пригнічене утворення пагонів
Zn	Міжжилковий хлороз (в основному у однодольних), зупинка росту, розетність листків дерев, фіолетовочервоні цятки на листках	Хлороз і некроз кінців листків, міжжилковий хлороз молодих листків, затримка росту рослини вцілому, пошкоджені корені, схожі на колючий дріт
Cd	-	Бурі краї листків, хлороз, червонуваті жилки і черешки, скручені листки і бурі недорозвинені корені
Hg	-	Деяке пригнічення пагонів і коренів, хлороз листків і бурі цятки на них
Pb	-	Зниження інтенсивності фотосинтезу, темно-зелені листки, скручування старих листків, чахла листя, бурі короткі корені

ДОДАТОК В

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ДОСЛІДЖЕНЬ

3



				601-мТЗ 11393649 ПЗ	
				СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ДОСЛІДЖЕНЬ	
№ докум.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст
					3 9
				<small>© 2013 Інститут біотехнологій та біоінженерії НАН України Київський національний університет імені Шевченка</small>	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-мТЗ 11393649 ПЗ

Арк.

98

*Міністерство освіти і науки України
Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра прикладної екології та природокористування*



*графічна частина
до кваліфікаційної роботи магістра*

*на тему: «Біотехнологічні аспекти та
вимоги до рекультивації земель при ліквідації
полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ»*

*Виконав: студент групи 601-МТЗ
спеціальність: 183 «Технології
захисту навколишнього середовища»
Фесенко А.В.*

*Керівник: д.т.н., професор
Вамболь В.В.*

Полтава – 2025

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ВИМОГИ ДО РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА СМІТТЄЗВАЛИЩ

Актуальність проведених досліджень. Проблема рекультивації земель, зайнятих полігонами ТПВ та сміттєзвалищами, є надзвичайно актуальною (зростання кількості відходів і деградації природного середовища). Біотехнологічні підходи (використання мікроорганізмів, фіторемедіацію, діоінженерні матеріали та ін., дозволяють ефективно знижувати рівень токсичності забруднень, відновлювати родючість ґрунтів і забезпечувати їх подальше використання. Тому, рекультивація земель із використанням біотехнологій є ключовим напрямком сталого управління відходами.

Мета дослідження: з'ясування біотехнологічних аспектів та вимог до рекультивації земель при ліквідації сміттєзвалищ та полігонів ТПВ.

Основні завдання:

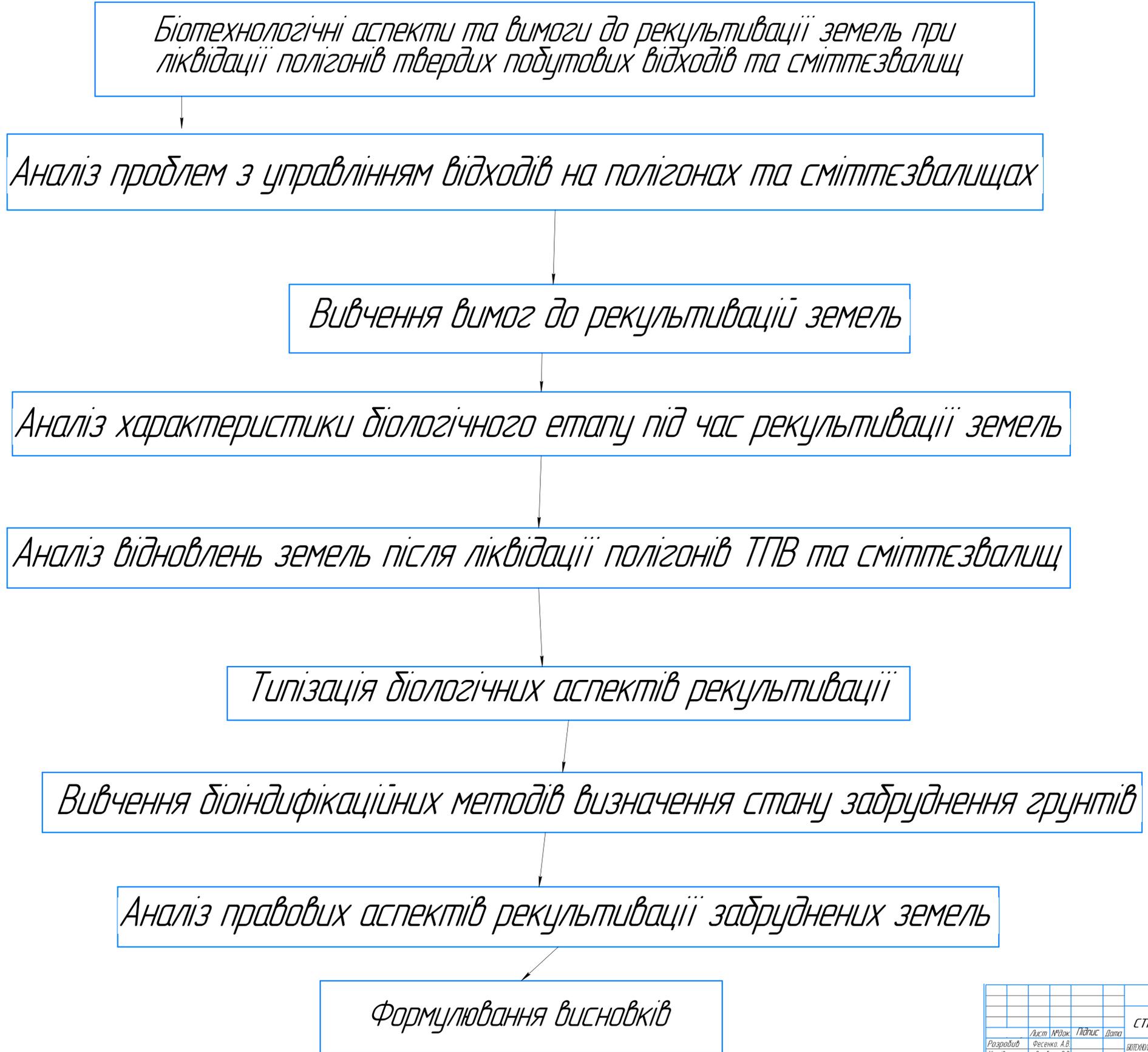
- аналіз проблем забруднення ґрунтів відходами та сміттям;
- узагальнення досвіду управління відходами в Полтавській області;
- з'ясування особливостей біорекультивації ґрунтів, що перебували під полігонами та сміттєзвалищами;
- характеристика біотехнологічних аспектів рекультивації і відновлення забруднених земель та типізація біотехнологій;
- екологічні аспекти фіторемедіації земель;
- діоіндикація забруднених ґрунтів як основний метод визначення їх якості;
- розроблення практичних рекомендацій щодо біотехнологічного відновлення рекультивованих земель.

Об'єкт дослідження – забруднені землі, що знаходяться під полігонами ТПВ та сміттєзвалищами.

Предмет дослідження – біотехнологічні аспекти їх рекультивації та відновлення забруднених земель, що знаходились під полігонами ТПВ та сміттєзвалищами.

				601-мТЗ 111393649 ПЗ	
				БІОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ВИМОГИ ДО РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА СМІТТЄЗВАЛИЩ	
Розробив	Фесенко А.В.	Підпис	Дата	Лист	Листів
Керівник	Ваніль В.В.			2	9
				ІНІ "Полтавська політехніка ім. В.Кандяка" Кафедра прикладної екології та природокористування	
Заб. кафедри	Ілляш О.Є.				

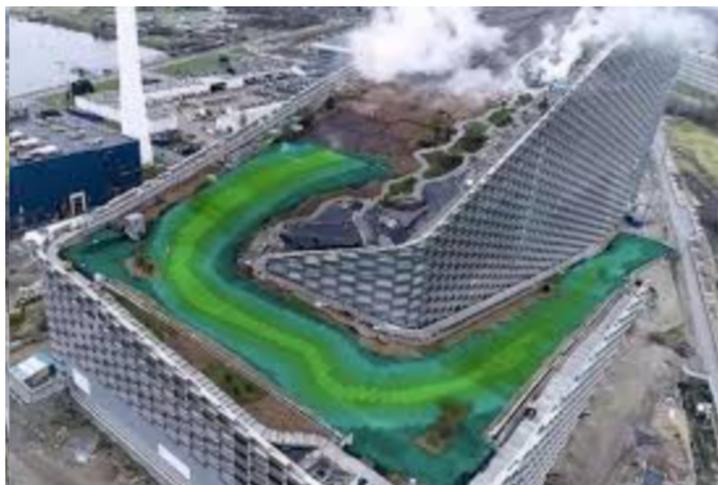
СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ДОСЛІДЖЕНЬ



				601-мТЗ 111393649 ПЗ	
				СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ДОСЛІДЖЕНЬ	
Розробив	Фесенко А.В.	Підпис	Дата	Лист	Листів
Керівник	Вачаль В.В.			3	9
				ІНІ "Північна патронка ім. В. Кондратюка" Кафедра прикладної екології та природоохорони	
Зав. кафедри				Литвиш О.Е.	

ПРОБЛЕМА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ НА ПОЛІГОНАХ ТА СМІТТЕЗВАЛИЩАХ

В Україні утворюється понад 50 мільйонів кубічних метрів ТПВ. На території України налічується близько 6 000 офіційних полігонів та несанкціонованих і стихійних звалищ 30000 (7% території країни).



				601-мТЗ 111393649 ПЗ	
				ПРОБЛЕМА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ НА ПОЛІГОНАХ ТА СМІТТЕЗВАЛИЩАХ	
Лист	Аржж	Ліпис	Дата	Лист	Листів
Розробив	Фесенко А.В.			4	9
Керівник	Вандал В.В.				
				ІНІТІАЛ	
				Зав. кафедри Ілляш О.Є.	

ІНІТІАЛ
політехнічна ін. в. Конфідентна
Класифікація праць: екологія та природокористування

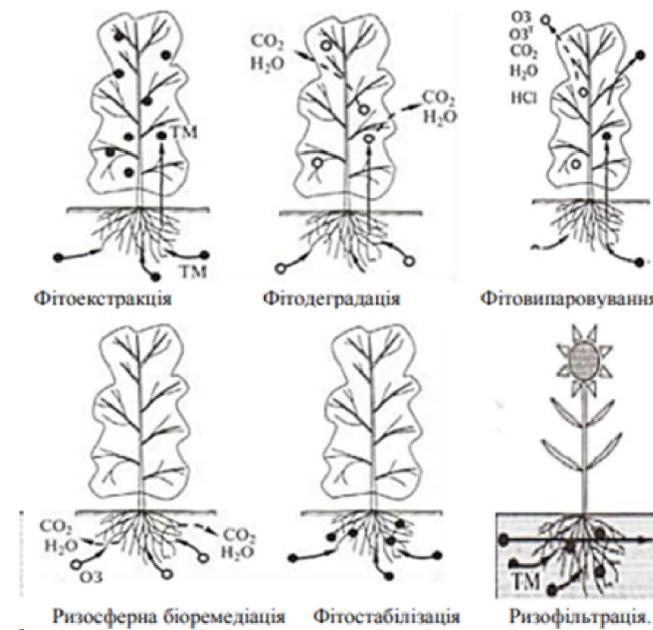
БІОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЗЕМЕЛЬ

Одні з перших наукових робіт, що вивчали використання рослин для очищення забруднених ґрунтів, були здійснені в Ізраїлі ще в 50-х роках минулого століття. Проте, суттєвий розвиток цієї технології розпочався лише в 80-х роках ХХ століття.

Внаслідок появи ефективного та економічного методу був введений термін «фітореMediaція навколишнього середовища», який означає відновлення екосистем, порушених людською діяльністю, з участю рослин.

Основні із впроваджених методів фітореMediaції належать:

- Фітоекстракція;
- Ризофільтрація;
- Фітодеградація;
- Фітоволотація;
- Фітостабілізація;
- Фітостимуляція;
- Фітовипаровування;
- Ризодеградація.



Поглинання важких металів із ґрунтового розчину та їхня мобілізація рослинами

Варіанти фітореMediaції

ФітореMediaція – це один із найдієвіших способів очищення ґрунтів від забруднюючих речовин за допомогою рослин. Цей процес не потребує видалення ґрунту, що сприяє охороні та відновленню екосистеми. Вона також допомагає покращити якість ґрунтів, захищати їх від ерозії та може бути застосована на значних за площею територіях.

Основні труднощі, які виникають при провадженні фітореMediaції, пов'язані із низьким рівнем екологічної свідомості землекористувачів та землевласників та недосконалість екологічного законодавства.

підбір фітореMediaнтів – рослин, здатних ефективно поглинати забруднювачі з ґрунту. Доцільно використовувати місцеві дикорослі види рослин (родінію звичайну, клен американський, таладан польовий, дуркун ділий, види лободи, амброзію полинолисту), культивовані (сорти сорго, міскантусу, соняшнику, кукурудзи, гороху, світчграсу та ін.).

				601-мТЗ 111393649 ПЗ	
				БІОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЗЕМЕЛЬ	
	Лист	№ док.	Підпис	Дата	
Розробив	Заспа М.Р.	Феєжа А.В.			
Керівник	Степан Н.О.	Вандоль В.В.			
				Лист	Листів
				6	9
				ІНІ "Львівська політехніка" ім. Й. Федьківського Кафедра прикладної екології та ландшафтної біології	
Зав. кафедри				Ілляш О.Г.	

ВИСНОВКИ

1. *Окремим напрямом комплексної проблеми управління відходами є об'єкти накопичення та зберігання твердих побутових відходів – полігони та ТПВ та сміттєзвалища – як потенційно небезпечні для довкілля техногенні об'єкти. Вони виступають основними джерелами забруднення, що негативно впливає на всі складові природного середовища: атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунти, біорізноманіття. Найбільш шкідливий ефект від відходів та сміття в місцях їх накопичення й зберігання виявляється через 3–4 роки після початку функціонування полігону, і цей вплив продовжується ще 15–20 років після їх закриття.*
2. *Робота з паспортизацією та рекультивацією полігонів ТВП та сміттєзвалищ здійснюється неналежним чином. Встановлено, що в Полтавській області наразі знаходиться 261 сміттєзвалищ, які передубають у стані перевантаження, а 868 об'єктів (14%) взагалі не відповідають екологічним стандартам безпеки. Процес їх паспортизації та рекультивації здійснюється недостатньо ефективно. Зокрема, із 1542 сміттєзвалищ, що потребували паспортизації, у 2020 році офіційно паспортизували лише 93, тоді як із 424 сміттєзвалищ, які слід було рекультивувати, фактично завершили роботи лише на 24-х. Результати аналізу поточної статистичної інформації засвідчує те, що і в інших регіонах та областях України ситуація є не кращою.*
4. *Встановлено, що більшість нормативних матеріалів, рекомендацій і досліджень зосереджена на темі рекультивації порушених земель. Водночас питання, пов'язані з відновленням земель полігонів ТПВ і сміттєзвалищ, залишаються недостатньо висвітленими. Тому пошук науково-методичних підходів до рекультивації полігонів ТПВ і сміттєзвалищ є важливим та актуальним завданням, зважаючи на їх негативний вплив на навколишнє середовище та необхідність подальшого використання таких земель.*
5. *Полігони для захоронення твердих побутових відходів є спеціалізованими інженерно-екологічними об'єктами, призначеними для збирання, оброблення та знищення ТПВ, що сприяє запобіганню забрудненню довкілля та його компонентів. Оскільки вони мають обмежений період експлуатації, вже на етапі проєктування передбачається їх рекультивація.*
6. *Рекультивація полігонів ТПВ передбачає проведення ряду робіт із відновлення економічної цінності та продуктивності території, що підлягають відновленню та оздоровленню. Використовуються основні методи рекультивації, які співвіднесені в групі: видалення, вилучення та захоронення відходів, знищення на місці та фіксування забруднюючих речовин. Рекультивація земель є кінцевим етапом роботи полігону, що проводиться після завершення його експлуатації, коли досягнуто стабільного стану. Ці роботи здійснюються у два етапи: технічний і діологічний.*
7. *Встановлено, що дієвим і найбільш ефективним методом відновлення забруднених земель після ліквідації полігонів та сміттєзвалищ, є фітореMediaція як ефективна, оздоровча для ґрунтів природоохоронна біотехнологія, що включає такі технологічні рішення як: фітодеградація, ризофільтрація, фітоекстракція, фітоволаталізація та ін.*
8. *ФітореMediaція – це один із найдієвіших способів очищення ґрунтів від забруднюючих речовин за допомогою рослин. Цей процес не потребує видалення ґрунту, що сприяє охороні та відновленню екосистеми. Вона також допомагає покращити якість ґрунтів, захищати їх від ерозії та може бути застосована на значних за площею територіях. Це більш ефективний і економічно доцільний спосіб очищення ґрунтів у порівнянні з традиційними методами. Основні труднощі, які виникають при провадженні фітореMediaції, пов'язані із низьким рівнем екологічної свідомості землекористувачів та землевласників та недосконалість екологічного законодавства.*
9. *При виборі найбільш ефективного рішення для забруднення ґрунтів певного типу є підбір фітореMediaнтів – рослин, здатних ефективно поглинати забруднювачі з ґрунту. Доцільно використовувати місцеві дикорослі види рослин (родінію звичайну, клен американський, таладан польовий, дуркун ділий, види лободи, амброзію полинолистну), культивовані (сорти сорго, міскантусу, соняшнику, кукурудзи, гороху, світчаграсу та ін.) і навіть генетично модифіковані. При виборі фітореMediaнтів враховуються їх здатності відновлювати природний стан ґрунту (як його структуру, так і функції), ефективно розвивати кореневу систему та надземну вегетацію, а також демонструвати високу діоаккумулятивну здатність.*
10. *ФітореMediaція – технологія, що використовує рослини і їх супутні мікроорганізми-деструктори для очищення ґрунту від токсичних речовин або їх еретворення в нешкідливі метаболіти. Враховуючи це, вирощування енергетичних культур як фітореMediaнтів (видів і сортів родів Тополя, Верба, світчаграс та ін.) на забруднених і деградованих ґрунтах виглядає перспективним шляхом. Це дозволить не лише зменшити рівень деградації, а й покращити агрономічні характеристики ґрунтів. Висока продуктивність біомаси таких культур може перетворити фітореMediaцію на вигідний сектор діоенергетичної індустрії.*
11. *При визначенні типів та рівнів забруднення ґрунтів, а також ефективності їх очищення у процесі фітореMediaції доцільно використовувати біоіндикаційні методи, що надають можливість аналізу впливу техногенних забруднень на живі організми, включаючи рослин і тварин, а також на абіотичні компоненти природи. Вони є доцільними й при визначенні та моніторингу земель, які зайняті звалищами відходів і сміття, та тих, які межують із такими об'єктами.*
12. *Важливим на сьогодні є вдосконалення чинного природоохоронного законодавства щодо впровадження заходів із відновлення порушених і забруднених земель. Зокрема, такі з них, як біореMediaція, фітореMediaція, детоксикація земель повинні знайти закріплення у земельному законодавстві. У законодавстві необхідно встановити екологічні вимоги до проведення вказаних заходів і забезпечити їх повний нормативно-правовий супровід.*

				601-мТЗ 11139364 9 ПЗ	
				ВИСНОВКИ	
	Лист № док.	Підпис	Дата	Лист	Листів
Розробив	Фесенко А.В.			9	9
Керівник	Вандоль В.В.				
				ІНІ "Полтавська політехніка ім. Ю. Кондратюка" Кафедра прикладної екології та природокористування	
Зав. кафедри	Ілляш О.Є.				