

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра екології та природозахисних технологій

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 101 «Екологія»

Тема роботи: Екологічні аспекти використання біологічних методів очищення ґрунтів від важких металів

Виконав:  
студент Мороко Станіслав  
Олексійович

Керівник:  
старший викладач Яхненко О.М.

Залікова книжка  
№ 19510018

Підпис: \_\_\_\_\_  
дата, підпис

Підпис: \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці:  
доцент Васькін Р.А.

Підпис: \_\_\_\_\_  
дата, підпис

Захищена з оцінкою  
\_\_\_\_\_  
оцінка, дата

Секретар ЕК  
старший викладач Батальцев Є.В.

Суми 2023

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра екології та природозахисних технологій  
**Спеціальність 101«Екологія»**

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НАКВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студентові Мороко Саніславу Олексійовичу

Група ОС-91/1

1. Тема кваліфікаційної роботи: Екологічні аспекти використання біологічних методів очищення ґрунтів від важких металів
2. Вихідні дані: наукові статті, літературні джерела, патентно-інформаційний фонд України.
3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:
  1. .Актуальність, об'єкт, предмет дослідження
  2. Шляхи потрапляння ВМ в ґрунт.
  3. Вплив вм на жиї організми
  4. Методи очищення ґрунту від ВМ
  5. Особливості методу фітоекстракції
  6. Висновки по роботі

4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
1	Літературний огляд	+	+				
2	Аналіз проблеми			+			
3	Оброблення результатів				+		
4	Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях					+	
5	Оформлення роботи						+

Дата видачі завдання 30.03.2023

Керівник \_\_\_\_\_ ст. викл.каф ЕПзТ, к.т.н. Яхненко О.М.

## РЕФЕРАТ

*Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра.*

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання, який містить 47 найменувань. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 52 сторінки, у тому числі, 1 рисунок, 8 таблиць, перелік джерел посилання 6 сторінок.

*Мета роботи* — дослідження можливості очищення ґрунтів від важких металів (ВМ) за допомогою біологічних методів, зокрема методом фітоекстракції.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та виконано такі *завдання*:

- розглянути сучасний стан забруднення ґрунтів ВМ
- визначити шляхи потрапляння ВМ до ґрунту
- розглянути існуючі методи очищення ґрунту від ВМ
- дослідити основні біологічні методи очищення ґрунту від ВМ
- дослідити особливості методу фітоекстракції
- визначити рослинні об'єкти, які можна використовувати для фітоекстракції з метою очищення ґрунтів від ВМ
- визначити можливість подальшого знешкодження рослинних залишків після використання з метою фітоекстракції

*Об'єкт дослідження* — біологічні методи очищення ґрунтів від важких металів.

*Предмет дослідження* — метод фітоекстракції для очищення ґрунтів від важких металів

У кваліфікаційній роботі проаналізовано проблеми забруднення ґрунтів важкими металами, хімічну природу та токсичність важких металів для живих організмів, шляхи забруднення ґрунту, характеристику найбільш токсичних важких металів та їх вплив на ґрунтові екосистеми. Також, дослідження включає аналіз методів очищення ґрунтів від важких металів, зокрема біологічних методів, з описом механізмів їх дії, переваг та недоліків використання.

*Ключові слова:* ВАЖКІ МЕТАЛИ, ОЧИЩЕННЯ, БІОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ, ФІТОЕКСТРАКЦІЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 Проблема забруднення ґрунтів важкими металами	7
1.1 Хімічна природа важких металів та їх токсичність для живих організмів.....	7
1.2 Шляхи забруднення ґрунту важкими металами .....	11
1.3 Характеристика найбільш токсичних ВМ та їх вплив на ґрунтові екосистеми.....	13
Розділ 2 Методи очищення ґрунтів від важких металів.....	16
2.1 Хімічні та фізико-хімічні методи очищення ґрунтів від важких металів.....	16
2.2 Характеристика біологічних методів очищення ґрунтів від важких металів та їх основні типи.....	18
РОЗДІЛ 3. Екологічні аспекти використання фітоекстракція як біологічного методу очищення ґрунтів від важкими металами.....	24
3.1 Особливості вибору способів фітомеліорації для вилучення ВМ.....	24
3.2 Рослини, що використовуються для фітоекстракції важких металів.....	26
3.3 Механізм дії фітоекстракції.....	28
3.4 Зворотна обробка відходів після фітоекстракції.....	30
Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	33
4. 1 Особливості технології отримання біогазу.....	33
4. 2 Безпека при виробництві біогазу та експлуатації біогазових установок .....	35
ВИСНОВКИ.....	45
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ/ПОСИЛАНЬ.....	47

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№поділ.	

### ОС 19510045

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		Літ.	Аркуш	Аркушів
		Мороко			Екологічні аспекти використання біологічних методів очищення ґрунтів від важких металів		4	52
		Яхненко				СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ОС-91/1		
		Батальцев						
		Пляцук						

## ВСТУП

У світі сучасних екологічних викликів одним з найбільш нагальних є проблема забруднення ґрунтів важкими металами. Це серйозна проблема, оскільки забруднені ґрунти можуть впливати на здоров'я людей та навколишнє середовище, а також на сільське господарство та економіку. Одним з можливих рішень проблеми є використання біологічних методів очищення ґрунтів від важких металів, зокрема фітоекстракції.

У дипломній роботі розглянуто проблему забруднення ґрунтів важкими металами, можливість і особливість використання біологічних методів очищення ґрунтів від важких металів та екологічні аспекти використання фітоекстракції як біологічного методу очищення ґрунтів від важких металів. У роботі найбільшу увагу приділено методу фітоекстракції для очищення ґрунтів від важких металів.

**Актуальність теми.** Тема дослідження очищення ґрунтів від важких металів є дуже актуальною в сучасному світі, оскільки забруднення ґрунтів є серйозною проблемою для біосфери та людського здоров'я. За останні десятиліття внаслідок промислової діяльності та інших людських діянь значно зросла кількість важких металів у ґрунті. Це призводить до токсичної дії на живі організми та забруднення ґрунтових вод.

Біологічні методи очищення ґрунту є однією з ефективних та екологічно безпечних технологій, які можуть бути застосовані для вирішення цієї проблеми. Одним з найбільш ефективних методів є фітоекстракція, яка базується на використанні рослин для вилучення важких металів з ґрунту. Таким чином, дослідження даної теми є важливим для забезпечення екологічно чистого середовища та здоров'я людей.

**Метою дипломної роботи** є дослідження можливості очищення ґрунтів від важких металів (ВМ) за допомогою біологічних методів, зокрема методом фітоекстракції.

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	ОС 19510045					Арк
										5
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

### Завдання дипломної роботи:

- розглянути сучасний стан забруднення ґрунтів ВМ
- визначити шляхи потрапляння ВМ до ґрунту
- розглянути існуючі методи очищення ґрунту від ВМ
- дослідити основні біологічні методи очищення ґрунту від ВМ
- дослідити особливості методу фітоекстракції
- визначити рослинні об'єкти, які можна використовувати для фітоекстракції з метою очищення ґрунтів від ВМ
- визначити можливість подальшого знешкодження рослинних залишків після використання з метою фітоекстракції.

*Об'єкт дослідження* — біологічні методи очищення ґрунтів від важких металів.

*Предмет дослідження* — метод фітоекстракції для очищення ґрунтів від важких металів

Дослідження включає аналіз проблеми забруднення ґрунтів важкими металами, хімічну природу та токсичність важких металів для живих організмів, шляхи забруднення ґрунту, характеристику найбільш токсичних важких металів та їх вплив на ґрунтові екосистеми. Також, дослідження включає аналіз методів очищення ґрунтів від важких металів, зокрема біологічних методів, з описом механізмів їх дії, переваг та недоліків використання. Особлива увага зосереджена на фітоекстракції як ефективному та екологічно безпечному методі очищення ґрунту від важких металів.

**Методи дослідження** літературний пошук, теоретичний аналіз літературних даних, патентний пошук, системний аналіз, статистичний збір і обробка матеріалу.

**Апробація** Результати роботи були представлені на ІХ Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві». Суми, 19–22 квітня 2023 р та надруковані в вигляді тез «Екологічні

а

с

п

с

к

Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.			ОС 19510045	Арк
Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.				6
Інв.№подл.	Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

к

# РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМА ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

## 1.1 Хімічна природа важких металів та їх токсичність для живих організмів

Важкі метали – це метали з високою густиною та атомним номером більше 20, які мають токсичні властивості. Найбільш токсичними є свинець, кадмій, ртуть, хром, нікель та мідь. Токсичність важких металів залежить від їхньої концентрації та хімічної форми. Важкі метали можуть накопичуватись в організмі тварин та людей та призводити до різних захворювань.

Важкі метали мають токсичні властивості, оскільки вони можуть взаємодіяти з біомолекулами в організмі та порушувати їх функції. Наприклад, свинець може замінювати кальцій в кістках та зубах, що може призвести до зниження їх міцності та здоров'я. Кадмій може взаємодіяти з протеїнами та ферментами в організмі, що може призвести до зниження функцій нирок, печінки та інших органів. Ртуть може викликати позбавлення пам'яті, порушення зору та координації рухів. Хром може викликати подразнення та запалення дихальних шляхів та шкіри [1].

Крім того, важкі метали можуть бути накопичені в різних органах організму, таких як нирки, печінка, легені та мозок, і викликати захворювання. Так, накопичення свинцю може призвести до анемії, підвищення артеріального тиску, порушень в розвитку дитини та інших проблем зі здоров'ям. Накопичення кадмію може викликати хворобу Ітай-Ітай, яка характеризується зниженням міцності кісток та здоров'я легенів. Накопичення ртуті може викликати нервові розлади, параліч та інші проблеми зі здоров'ям.

Також важкі метали можуть бути небезпечними для навколишнього середовища. Наприклад, ртуть може накопичуватись у воді та ґрунті та викликати загрозу для водних тварин та птахів, які живуть в таких середовищах. Хром може

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510045

Арк  
7

викидатись у повітря під час промислових процесів та викликати забруднення повітря та води.

Тому, контроль за вмістом важких металів в навколишньому середовищі є важливим завданням для збереження здоров'я людей та тварин, а також для підтримки екологічної стійкості. Для цього проводяться спеціальні дослідження та контрольні вимірювання вмісту важких металів в повітрі, воді, ґрунті та продуктах харчування. З метою зменшення ризику впливу важких металів на здоров'я, природу та навколишнє середовище, розробляються та впроваджуються стратегії зменшення викидів та забруднення важкими металами в промисловості та сільському господарстві, та забезпечується контроль якості продуктів харчування та води [2] .

Опис деяких важких металів та їх токсичності наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Опис важких металів та їх токсичності

Важкий метал	Джерела забруднення	Найбільші наслідки забруднення
Свинець Pb	Випуск автомобілів, промислове виробництво, акумулятори	Анемія, порушення розвитку, підвищений артеріальний тиск
Кадмій Cd	Промислове виробництво, добування металів, виробництво батарей	Хвороба Ітай-Ітію, зниження міцності кісток та здоров'я легенів
Ртуть Hg	Теплові електростанції, промислове виробництво, стоматологічні матеріали	Нервові розлади, позбавлення пам'яті, порушення зору та координації рухів
Хром Cr	Промислове виробництво, виробництво сплавів, добування металів	Подразнення та запалення дихальних шляхів та шкіри

Підп. і дата	Інв.№дубл.	Взаєм.інв.№	Підп. і дата	Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510045	Арк
						8



В таблиці 1.2 наведено інформацію про ефект впливу важких металів на різні органи та системи організму.

Таблиця 1.2 – Вплив важких металів на різні органи та системи організму

Важкий метал	Токсичні властивості	Ефекти на органи та системи організму
Свинець	Заміщення кальцію в кістках та зубах	Зниження міцності кісток та здоров'я, порушення розвитку дитини, анемія, підвищення артеріального тиску
Кадмій	Взаємодія з протеїнами та ферментами, вплив на нирки, печінку та інші органи	Хвороба Ітай-Ітію, зниження міцності кісток та здоров'я легенів, позбавлення репродуктивних функцій
Ртуть	Вплив на нервову систему та репродуктивні функції	Нервові розлади, позбавлення пам'яті, порушення зору та координації рухів
Хром	Подразнення та запалення дихальних шляхів та шкіри	Порушення функцій дихальних шляхів, підвищення ризику раку

Джерела забруднення важкими металами та їх вплив на довкілля наведений в таблиці 1.3.

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510045	Арк
						9

Таблиця 1.3 – Джерела забруднення важкими металами та їх вплив на довкілля

Важкий метал	Джерела забруднення	Вплив на довкілля
Свинець	Виробництва акумуляторів, свинцевих труб, фарб та покриттів	Забруднення ґрунту, водойми та повітря, отруєння водних тварин та птахів, вплив на рослинність
Меркурій	Виробництва ламп, акумуляторів, термометрів, та інших електронних приладів, промислового сміття, сільськогосподарських відходів	Забруднення водойм, накопичення в рибах та інших водних тваринах, вплив на здоров'я людей та тварин, забруднення ґрунту
Кадмій	Виробництва батарей, під час обробки металів та виробництва пластмас	Забруднення повітря, водойм, накопичення в ґрунті, вплив на здоров'я людей та тварин
Хром	Виробництва сталі, лиття металів, фармацевтичної промисловості, промислового сміття	Забруднення водойм, повітря та ґрунту, вплив на здоров'я людей та тварин, вплив на рослинність та ґрунтові мікроорганізми

Аналіз матеріалу показує, що важкі метали є серйозною загрозою для здоров'я людей та навколишнього середовища, і їх вплив на організм може бути дуже шкідливим. Водночас, існують різні джерела забруднення важкими металами, включаючи промислові викиди, сміттєзвалища та відходи від

Підп. і дата	Інв. № докл.	Взаєм. інв. №	Підп. і дата	Інв. № докл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510045

Арк

10

автомобілів. Ці таблиці можуть бути корисними для розуміння масштабів проблеми забруднення важкими металами та для визначення потенційно небезпечних джерел забруднення, що дозволить розробляти та впроваджувати ефективні заходи для зменшення впливу важких металів на здоров'я та довкілля

## 1.2 Шляхи забруднення ґрунту ВМ

Важкі метали можуть бути внесені в ґрунт різними шляхами, включаючи промислові викиди, забруднену воду та забруднений повітря. Ці метали можуть зберігатись в ґрунті протягом десятиліть та сотень років, і підвищені рівні важких металів можуть мати серйозні наслідки для рослин, тварин та людей [3].

Одним з найпоширеніших джерел забруднення ґрунту важкими металами є промислові відходи, які містять великі кількості металів, таких як свинець, кадмій та ртуть. Ці відходи можуть бути викинуті безпосередньо на землю або у воду, що може призвести до значного забруднення ґрунту. Крім того, використання мінеральних добрив та пестицидів також може призвести до забруднення ґрунту важкими металами.

Іншим джерелом забруднення ґрунту є випадкові забруднення, такі як аварії та витіки, що можуть статись на промислових об'єктах або під час транспортування важких металів.

Деякі забруднювачі можуть викликати забруднення ґрунту важкими металами з причини використання ґрунту як місця звалища для відходів. Такі відходи можуть містити великі кількості важких металів, які поступово просочуються в ґрунт і можуть негативно вплинути на екосистеми, які залежать від цього ґрунту.

Забруднення ґрунту важкими металами може мати серйозні наслідки для рослинності та тварин, які залежать від ґрунту для свого життя та розвитку. Важкі метали можуть зменшувати фертильність ґрунту, знижувати врожайність та

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510045

Арк  
11

якість продуктів харчування. Крім того, важкі метали можуть забруднювати ґрунтові води та забруднювати повітря через випаровування з ґрунту.

Також важко уникнути впливу забруднення ґрунту важкими металами на людське здоров'я. Люди можуть отримувати ці метали через забруднені продукти харчування та воду, а також через дихання забрудненого повітря. Важкі метали можуть накопичуватись в організмі та призводити до серйозних проблем зі здоров'ям, таких як надмірне навантаження на нирки, печінку та нервову систему [4].

Найбільш вразливі до забруднення ґрунту важкими металами є діти, вагітні жінки та люди з певними хронічними захворюваннями. Наприклад, надмірний прийом свинцю може призвести до зниження IQ у дітей, погіршення пам'яті та концентрації. Крім того, важкі метали можуть бути канцерогенними та призводити до розвитку ракових захворювань.

Забруднення ґрунту важкими металами – серйозна проблема, яка може мати далекосяжні наслідки для екосистем та здоров'я людей. Необхідно приділяти увагу цій проблемі та вживати необхідні заходи для її запобігання та боротьби [2].

Важкі метали можуть потрапляти до ґрунту з різних джерел і призводити до його забруднення. Основні шляхи забруднення ґрунту важкими металами включають:

- 1) Промислові викиди: важкі метали можуть потрапляти до атмосфери під час промислових процесів і згодом осісти на землю. Найбільш поширеними викидами є викиди з металургійних підприємств.
- 2) Відходи медичних установ: використані медичні прилади та інструменти, які містять важкі метали, можуть бути неправильно викинуті та стати джерелом забруднення ґрунту.
- 3) Використання пестицидів та добрив: деякі пестициди та добрива містять важкі метали, які можуть потрапити до ґрунту та забруднити його.

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510045

Арк

12

4) Звалища відходів: відходи, що містять важкі метали, можуть бути неправильно викинуті та наділені на звалища, що призводить до їх потрапляння в ґрунт.

Одним з найбільш поширених джерел забруднення ґрунту важкими металами є промислові відходи. Промислові підприємства, такі як металургійні, хімічні та нафтопереробні заводи, генерують великі обсяги відходів, які часто містять значні концентрації важких металів. Ці відходи можуть потрапляти в ґрунт через несанкціоновану звалищну діяльність, проливи та розливи, а також через відсутність належного контролю за викидами в атмосферу та стоками у водойми [5].

Іншим джерелом забруднення ґрунту важкими металами є використання пестицидів та мінеральних добрив. Багато з цих речовин містять важкі метали, які можуть накопичуватися в ґрунті та впливати на ріст та розвиток рослин. Крім того, забруднення ґрунту важкими металами може бути результатом недбалої утилізації електронних пристроїв, батарей та інших відходів, які містять важкі метали.

У результаті забруднення ґрунту важкими металами можуть виникати різні проблеми, такі як втрата родючості ґрунту, зниження продуктивності ґрунту, загроза здоров'ю людей та тварин, що використовують ґрунт для життєдіяльності.

Отже, важкі метали можуть бути серйозною проблемою для ґрунту, яка впливає на якість ґрунту та рослин, що на ньому ростуть.

### 1.3 Характеристика найбільш токсичних ВМ та їх вплив на ґрунтові екосистеми

Важкі метали, такі як кадмій (Cd), свинець (Pb), ртуть (Hg), хром (Cr) та нікель (Ni), є найбільш токсичними речовинами для ґрунту та навколишнього середовища. Вони можуть входити до складу відходів промислових підприємств,

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510045

Арк

13

які забруднюють навколишнє середовище, а також до мінеральних добрив та пестицидів, що використовуються в сільському господарстві [8].

Найбільш токсичним серед важких металів є кадмій, який має високу розчинність у воді та легко накопичується в організмах живих організмів, включаючи людину. Кадмій може спричиняти рак, захворювання на серцево-судинні та нервові системи, а також зменшувати плодючість.

Свинець також є дуже токсичним для людей та тварин, оскільки він накопичується в організмах і може спричиняти захворювання на нирки, нервову систему та серцево-судинну систему. Ртуть також є дуже токсичною та може спричиняти серйозні захворювання на нервову систему та нирки.

Хром та нікель також мають високу токсичність та можуть спричиняти захворювання на легені, шкіру та нирки. Ці важкі метали можуть входити до складу відходів від металургійних підприємств, таких як сталеві заводи, автомобільні заводи та заводи з виробництва лакофарбової продукції. Вони також можуть потрапляти в ґрунт через використання мінеральних добрив, які містять важкі метали [9].

Кадмій – це один з найтоксичніших важких металів, який може дуже швидко накопичуватись в ґрунті та мати негативний вплив на рослини та тварин. Він може спричиняти канцерогенні ефекти та інші серйозні проблеми зі здоров'ям.

Ртуть – інший небезпечний важкий метал, який може бути віднайдений в ґрунті. Цей метал може викликати проблеми зі здоров'ям, такі як нервові розлади, а також шкодити рослинам та тваринам.

Свинець – це ще один важкий метал, який може бути шкідливим для ґрунтових екосистем. Він може забруднювати ґрунт та воду, що може мати негативний вплив на рослини та тварин.

Хром може бути віднайдений в ґрунті та може бути токсичним для рослин та тварин.

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подел.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510045

Арк

14

Вплив цих токсичних важких металів на ґрунтові екосистеми може бути дуже серйозним. Наприклад, вони можуть зменшувати фертильність ґрунту та впливати на зростання рослин, що може вплинути на врожайність та якість продуктів харчування. Крім того, ці токсичні метали можуть впливати на здоров'я тварин, які пасуться на забруднених ґрунтах, та можуть накопичуватись в м'ясі та молоці тварин, що може мати негативний вплив на здоров'я людей, які споживають ці продукти[10].

Для характеристики цих токсичних важких металів проводять аналізи ґрунту та визначають рівні їх вмісту. Наприклад, для кадмію це може бути атомно-абсорбційна спектрофотометрія, для ртуті – флуоресцентна атомна емісійна спектрометрія, для свинцю – індуктивна зв'язана плазма-масова спектрометрія, а для хрому – колориметричні методи.

Дослідження впливу найбільш токсичних важких металів на ґрунтові екосистеми показало, що вони можуть мати серйозний вплив на здоров'я рослин, тварин та людей. Важкі метали можуть накопичуватися в ґрунті, звідки їх можуть поглинути рослини, що може призвести до зменшення їх зростання та урожайності. Крім того, важкі метали можуть переходити з ґрунту в воду, що може призвести до забруднення водних екосистем та шкодити риbam та іншим водним організмам [10].

Дослідження також показують, що важкі метали можуть мати негативний вплив на здоров'я людей, які живуть у забруднених районах або споживають продукти, що вирощуються на забруднених ґрунтах. Наприклад, накопичення кадмію в організмі може призвести до погіршення функціонування нирок та збільшення ризику розвитку раку.

Інв.№поذل.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510045

Арк  
15

## РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ГРУНТІВ ВІД ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Методи очищення ґрунтів від важких металів є комплексом технологій та процедур, які використовуються для зменшення токсичності ґрунтів, забруднених важкими металами.

Очищення ґрунтів від важких металів є складним процесом, і успішність застосування методів залежить від різноманітних факторів, таких як тип забруднення, вміст важких металів, глибина забруднення та хімічні властивості ґрунту. Комбінація різних методів може бути більш ефективною для досягнення максимального очищення ґрунту від важких металів.

### 2.1 Хімічні та фізико - хімічні методи очищення ґрунтів від важких металів

Один з найбільш поширених хімічних методів очищення ґрунтів від ВМ – хімічна екстракція, яка використовує розчинники для видалення важких металів з ґрунту. Інші методи включають електрофорез, іонний обмін та флотацію, характеристика яких наведена в таблиці 2.1 [11].

Доволі ефективними методами очищення є фізико-хімічні методи.

Фізико-хімічні методи використовують різні фізичні процеси для видалення важких металів з ґрунту. Фізико-хімічні методи є доволі ефективними. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, і їх використання залежить від специфіки забруднення та потреби в очищенні ґрунту.

Фізико-хімічні методи зазвичай є швидкими та ефективними, але можуть вимагати значних витрат на матеріали та обладнання, що зменшує їх придатність для використання в більш масштабних проектах. Тому їх альтернативою можуть виступати біологічні методи, що є менш дорогими та природнішими, але можуть займати більше часу для досягнення бажаного рівня очищення.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510045

Арк  
16



Таблиця 2.1 — Основні особливості хімічних методів очищення ґрунту від важких металів

Метод очищення	Опис	Переваги	Недоліки
Хімічна екстракція	Використання розчинників для видалення металів з ґрунту	Швидкий та ефективний метод; може бути використаний для забруднення різних типів ґрунту.	Вимагає значної кількості розчинників; може бути дорогим; може бути токсичним для довкілля.
Електрофорез	Використання електричного заряду для видалення металів	Ефективний та економічний метод; може бути використаний для видалення різних типів металів з ґрунту.	Вимагає значної кількості електроенергії; може бути небезпечним для здоров'я людей та тварин.
Іонний обмін	Використання іонообмінних матеріалів для видалення металів	Може бути використаний для видалення різних типів металів з ґрунту.	Потребує заміни іонообмінних матеріалів; може бути дорогим.

Використання рослин т може бути менш дорогим та ефективним методом, особливо для місцевих ділянок, але вимагає значних зусиль для вирощування та видалення рослин [12].

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510045

Арк

17



вирощувати на забрудненій ділянці ґрунту, щоб збільшити його фертильність та здатність до рослинного росту.

Рослини, які використовуються для фітомеліорації, мають здатність знижувати концентрацію важких металів в ґрунті і покращувати його структуру та якість. Такі рослини зазвичай здатні до росту на забруднених ділянках і мають більшу термінову життєздатність порівняно з іншими рослинами [13].

Для очищення ґрунту від важких металів використовують гіперакумуляючі рослини. Ці рослини здатні до активного накопичення важких металів з ґрунту в своїх тканинах.

Метод включає в себе вирощування рослин на забруднених ділянках, які володіють здатністю накопичувати важкі метали, а потім видалення рослин з ділянки, щоб видалити важкі метали з ґрунту. Після збирання рослини, важкі метали можуть бути вилучені з їх тканин і перероблені для використання у промисловості.

Механізми дії біологічних методів очищення ґрунту від важких металів можуть бути різними, в залежності від використовуваного методу.

Однак, взагалі, механізми дії біологічних методів можна розділити на дві групи: фітоекстракція та фітостабілізація [14].

Фітоекстракція — це процес екстракції важких металів з ґрунту за допомогою рослин. У цьому процесі рослини здатні накопичувати важкі метали з ґрунту у своїх тканинах, після чого їх можна зібрати і вилучити з ґрунту. Цей процес зазвичай використовують для очищення забруднених ділянок з високим рівнем концентрації важких металів. У процесі фітоекстракції, рослини використовуються як "екстрактори" важких металів, які використовуються в наступних процесах очищення.

Фітостабілізація — це процес стабілізації важких металів в ґрунті за допомогою рослин. У цьому процесі, рослини виконують функцію "стабілізаторів" важких металів у ґрунті, знижуючи їх рухомість та шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	ОС 19510045				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Рослини можуть використовуватися для стабілізації важких металів у ґрунті за допомогою таких механізмів, як поглинання важких металів у кореневу систему, фіксація їх у тканинах рослин, або взаємодія з мікроорганізмами ґрунту, які здатні до біохімічного перетворення важких металів у менш токсичні форми [15].

Одним з перспективних напрямків розвитку біологічних методів очищення ґрунту є використання генно-інженерних технологій. За допомогою таких технологій можна створювати спеціальні рослини, які будуть більш ефективними у видаленні важких металів з ґрунту.

Також можливо створювати мікроорганізми, які здатні знищувати забруднюючі речовини в ґрунті [16].

Важливо зазначити, що біологічні методи очищення ґрунту від важких металів не є швидкими та суперективними. Вони можуть займати від кількох місяців до декількох років, щоб повністю очистити ґрунт. Тому, ці методи часто використовують в комбінації з іншими методами очищення, такими як фізико-хімічні методи, щоб забезпечити максимально ефективно та швидко очищення забрудненого ґрунту.

Переваги та недоліки методів біоочищення наведені в таблиці 2.2 [16].

Використання біологічних методів очищення ґрунту від важких металів має великий потенціал у подальшому розвитку екологічної технології.

Вони є природними та екологічно безпечними, що дає їм вагому перевагу перед іншими методами. Однак, необхідно пам'ятати про їхні обмеження та недоліки, які потрібно враховувати при виборі методу очищення ґрунту.

Основними перевагами біологічних методів очищення ґрунту є:

1. Відносна екологічна безпека: ці методи є природними та не використовують хімічні речовини, які можуть створювати додаткове забруднення навколишнього середовища.

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

						ОС 19510045	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			20

Таблиця 2.2 – Переваги та недоліки використання біологічних методів очищення ґрунту від важких металів

Переваги	Недоліки
Екологічна безпека	Невисока ефективність
Економічна вигідність	Потребують багато часу
Відновлення родючості ґрунту	Потребують відповідних знань та досвіду у вирощуванні відповідних рослин
Здатність до використання в поєднанні з іншими методами очищення	Не можуть використовуватися у всіх випадках забруднення ґрунту
Не мають шкідливих впливів на довкілля	

2. Економічна вигідність: в порівнянні з іншими методами очищення ґрунту, біологічні методи можуть бути більш економічно вигідними, оскільки вони вимагають менше капітальних вкладень та менше витрат на енергію.

3. Збереження родючості ґрунту: біологічні методи можуть не тільки очищати ґрунт від важких металів, але й підвищувати його фертильність та здатність до рослинного росту, що дозволяє відновлювати забруднені ділянки та зберігати родючість ґрунту.

4. Низький ризик для здоров'я: біологічні методи очищення ґрунту не створюють додаткового ризику для здоров'я людей та тварин [17].

Незважаючи на переваги, біологічні методи очищення ґрунту від важких металів мають також обмеження та недоліки:

1. Тривалий час очищення: біологічні методи можуть займати від кількох місяців до кількох років для досягнення повного очищення ґрунту від важких металів. Це може бути не ефективним варіантом для використання в ситуаціях, коли необхідне швидке очищення забрудненого ґрунту.

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510045	Арк
						21

2. Не ефективність для деяких видів важких металів: деякі біологічні методи очищення ґрунту можуть бути неефективними для деяких видів важких металів, що може стати проблемою для деяких типів забруднення ґрунту.

3. Залежність від умов: ефективність біологічних методів очищення ґрунту може бути сильно залежною від умов навколишнього середовища, таких як температура, вологість, кислотність ґрунту та наявність інших мікроорганізмів.

4. Високі витрати на обладнання: деякі біологічні методи очищення ґрунту можуть вимагати високої технічної оснащеності та обладнання, що може збільшувати витрати на проведення процедури очищення.

5. Потенційний ризик розповсюдження забруднення: іноді біологічні методи очищення ґрунту можуть сприяти розповсюдженню забруднення на інші ділянки ґрунту або поверхні водойм, якщо не будуть вжиті заходи для запобігання цьому [17].

6. У зв'язку з цим, вибір методу очищення ґрунту від важких металів повинен здійснюватися з урахуванням специфічних умов конкретної ситуації та належним аналізом переваг і недоліків різних методів.

7. В деяких випадках може бути доцільним застосування комплексного підходу, включаючи комбінацію різних методів очищення ґрунту. Наприклад, можна застосовувати фізико-хімічні методи очищення для зменшення кількості важких металів у ґрунті, а потім використовувати біологічні методи для додаткового очищення та реставрації ґрунтової мікрофлори.

8. Також варто зазначити, що професійна оцінка забруднення ґрунту та складання плану очищення є важливим етапом у вирішенні проблем забруднення ґрунту від важких металів. Необхідно враховувати специфічні умови конкретної місцевості та належним чином планувати та виконувати процедури очищення з урахуванням максимальної ефективності та безпеки для навколишнього середовища та людей [18].

Біологічні методи очищення ґрунту від важких металів є ефективними та перспективними рішеннями для боротьби з забрудненням ґрунту і можуть бути

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510045

Арк  
22

використані як окремо, так і в комбінації з іншими методами очищення для досягнення кращих результатів. Однак, вони потребують додаткових досліджень та розвитку для досягнення максимальної ефективності та оптимальної реалізації.

Усі ці підходи та технології дозволяють зменшити негативний вплив важких металів на навколишнє середовище та людське здоров'я [19].

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ОС 19510045	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		23

# РОЗДІЛ 3 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ФІТОЕКСТРАКЦІЇ ЯК БІОЛОГІЧНОГО МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ ВІД ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

## 3.1 Особливості вибору способів фітомеліорації для вилучення важких металів

Використання рослин для вилучення важких металів з ґрунту є одним з напрямків екологічної технології, яка може бути важливим кроком у боротьбі з забрудненням довкілля та збереженні природних ресурсів. Однак, важливо здійснювати детальну оцінку ризиків та вибирати ефективні та безпечні методи для знешкодження важких металів [22] .

У таблиці 3.1 порівняно методи фітоекстракції, фітостабілізації, фітофільтрації та фіторемедіації за їх перевагами та обмеженнями.

Для запобігання потенційних проблем з використанням рослин для вилучення важких металів з ґрунту, необхідно враховувати наступні фактори:

1. Вибір рослин: різні види рослин мають різну ефективність у вилученні важких металів з ґрунту.

Необхідно вибирати рослини, які накопичують високу концентрацію металів, але при цьому не є отруйними чи токсичними для людей та тварин. Наприклад, соняшник, кукурудза та горох можуть бути ефективними у вилученні важких металів з ґрунту.

2. Вибір місця вирощування рослин: не всі зони ґрунту мають однаковий рівень забруднення важкими металами, тому, перед вирощуванням рослин, необхідно провести дослідження ґрунту та вибрати місце, де рослини можуть ефективно вилучати метали з ґрунту.

3. Контроль якості: після вирощування рослин та вилучення важких

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510045

Арк

24



металів з ґрунту, необхідно провести аналіз зразків рослин та ґрунту на наявність металів та переконатись в їх ефективності.

Таблиця 3.1 – Методи фітоекстракції, фітостабілізації, фітофільтрації та фіторемедіації за їх перевагами та обмеженнями

Метод	Переваги	Обмеження
Фітоекстракція	Не потребує видалення забрудненого ґрунту, ефективна у вилученні важких металів з ґрунту; можливість використання різних видів рослин, може бути використаний на будь-якій площі.	Час, необхідний для виконання процесу; не завжди ефективний в усіх випадках
Фітостабілізація	Не потребує видалення забрудненого ґрунту; може запобігти дальшому поширенню забруднення	Не ефективний у вилученні важких металів з ґрунту; не підходить для важко забруднених ділянок
Фітофільтрація	Ефективний у вилученні різноманітних забруднень; може бути використаний для обробки великих кількостей води	Не ефективний у вилученні важких металів з ґрунту; потребує регулярного очищення та обслуговування
Фіторемедіація	Ефективний у вилученні різноманітних забруднень; може бути використаний для важко забруднених ділянок	Може зайняти значний час для досягнення позитивних результатів; вимагає ретельної підготовки та планування, певних умов для розвитку мікроорганізмів.

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510045

Арк

25

3. Безпечне використання: необхідно враховувати те, що рослини, що вилучають важкі метали з ґрунту, можуть стати токсичними для тварин та людей, які вживають їх. Тому, необхідно забезпечити безпечне використання рослин та продуктів, отриманих з них, і проводити детальну оцінку ризиків, забезпечити ефективну екологічно-безпечну утилізацію рослин – фітоекстракторів [22].

Отже, саме фітоекстракція з використанням рослин для вилучення важких металів з ґрунту може бути ефективним способом очищення забруднених ділянок. Для цього необхідно враховувати різні фактори, такі як вибір рослин, вибір місця вирощування, контроль якості та безпечне використання [23].

### 3.2 Рослини, що використовуються для фітоекстракції важких металів

Фітоекстракція є поширеним ефективним економічнооцілним біологічним методом вилучення важких металів з ґрунту.

Одним із головних переваг фітоекстракції є те, що вона не потребує великих капіталовкладень та високих технологій. Більш того, фітоекстракція дозволяє використовувати рослини, які зазвичай зростають у нашому регіоні, що робить цей метод ще більш доцільним.

Процес фітоекстракції передбачає використання рослин, які можуть активно вилучати важкі метали з ґрунту. Рослини мають низку механізмів, що дозволяють їм активно вилучати важкі метали з ґрунту. Ці механізми включають такі процеси, як розчинення металів у воді, комплексоутворення з органічними кислотами та підвищення рівня рН навколишнього середовища [20]

Різні види рослин мають різну ефективність у вилученні важких металів з ґрунту. Наприклад, деякі рослини мають високу концентрацію важких металів у своїх тканинах, тоді як інші мають механізми зменшення токсичності металів, що дозволяє їм бути більш ефективними у вилученні важких металів з ґрунту.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						ОС 19510045	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			26

Вибір рослин для фітоекстракції важких металів залежить від багатьох факторів, таких як тип місцевості, тип ґрунту, концентрація важких металів, кліматичні умови та інші.

Загалом, рослини, що використовують для фітоекстракції важких металів, можна поділити на дві групи.

Перша група рослин вилучає важкі метали без утворення специфічних сполук, тоді як друга група рослин використовує важкі метали для виробництва специфічних сполук. До першої групи рослин, які можна використовувати для фітоекстракції важких металів, входять кукурудза (*Zea mays*), гірчиця біла (*Sinapis alba*), ріпак оливковий (*Brassica napus*), жито (*Secale cereale*), а також деякі види вересу (*Calluna vulgaris*, *Erica cinerea*). Ці рослини відомі своєю високою ефективністю у вилученні важких металів з ґрунту та використовуються в різних екологічних проектах по всьому світу.

До другої групи рослин, які використовують для фітоекстракції важких металів, входять гіперакумулятори – рослини, які мають високу концентрацію важких металів у своїх тканинах та використовують їх для виробництва специфічних сполук. До таких рослин відносяться алісум (*Alyssum bertolonii*), птерис стрічковий (*Pteris vittata*), барвінок болотний (*Vinca major*), суданська трава (*Sorghum sudanense*) та інші.

Найбільш ефективні рослини для фітоекстракції важких металів визначають шляхом дослідження їх ефективності у різних умовах та вибір найбільш ефективних видів для кожного конкретного випадку.

Доволі ефективним видом для фітоекстракції важких металів з ґрунту на території України вважається ріпак оливковий (*Brassica napus*), що підтверджується результатами багатьох досліджень, які показали високу ефективність цього виду в вилученні важких металів з ґрунту [21].

Ріпак оливковий (*Brassica napus*) є геліофітною рослиною, що здатна рости на сухих, відкритих місцевостях з високою інтенсивністю сонячного опромінення. Основна мета використання цієї рослини полягає в тому, щоб вона

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

						ОС 19510045	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			27

вилучала важкі метали з ґрунту через свою кореневу систему та транспортувала їх до своїх листків. Після того, як рослина збере важкі метали у своїй біомасі, вона може бути зібрана та перероблена.

Одним із переваг використання ріпаку оливкового для фітоекстракції важких металів є те, що ця рослина є культурною рослиною, що вирощується в багатьох країнах для отримання олії та біоенергії. Це означає, що використання ріпаку оливкового для фітоекстракції важких металів може бути вигідним як економічно, так і екологічно.

### 3.3 Механізм дії фітоекстракції

Механізм дії фітоекстракції полягає в тому, що рослини використовують свої корені для забезпечення себе необхідними поживними речовинами. Корені рослин мають особливості взаємодії з ґрунтом, включаючи взаємодію з важкими металами. В процесі фітоекстракції, рослини поглинають важкі метали з ґрунту через свої корені та накопичують їх у своїх вищих частинах, таких як листя та стебла [24].

Основою механізму фітоекстракції є процес фітомобілізації. Фітомобілізація полягає в тому, що рослини випускають різноманітні органічні кислоти, які можуть розчиняти метали та допомагають їх транспортуванню через корені та інші частини рослини. Органічні кислоти можуть також змінювати рН ґрунту, що також може впливати на розчинення важких металів.

Одним з основних факторів, що впливає на ефективність фітоекстракції, є вміст важких металів у ґрунті та їх розподіл.

Важкодоступні метали, які знаходяться у формі нерозчинних сполук або забруднюють глибинні шари ґрунту, можуть бути менш доступними для рослин. Натомість, метали, які знаходяться в поверхневих шарах ґрунту та мають форму розчинних сполук, можуть бути більш доступними для рослин та ефективно вилучені через фітоекстракцію [25].

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						ОС 19510045	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			28

Важливим фактором є також вибір виду рослин, який використовується для фітоекстракції. Різні види рослин мають різні рівні ефективності вилучення важких металів через фітоекстракцію, оскільки вони можуть мати різні механізми взаємодії з ґрунтом та металами. Деякі рослини, такі як гірчиця та соняшник, мають високу ефективність вилучення важких металів, тоді як інші рослини, такі як жито та ріпак, можуть бути менш ефективними. Вибір виду рослин для фітоекстракції повинен бути здійснений з урахуванням типу ґрунту та вмісту важких металів у ньому.

Фітоекстракція може бути ефективним методом очищення забруднених ґрунтів, особливо в тих випадках, коли інші методи очищення можуть бути недоцільними або дуже дорогими. Однак, фітоекстракція також має свої обмеження, такі як низька ефективність вилучення деяких важких металів та можливість виникнення побічних ефектів, таких як забруднення ґрунту замість його очищення. [26]

Для кращого розуміння ефективності фітоекстракції вилучення важких металів з ґрунту, можна скласти таблицю, що відобразить вміст різних важких металів у ґрунті та ефективність їх вилучення деякими рослинами.

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

						ОС 19510045	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			29

Таблиця 3.1 - Ефективність фітоекстракції вилучення важких металів з ґрунту

Назва важкого металу	Вміст у ґрунті	Рослина	Ефективність вилучення
Кадмій	Високий	Гірчиця	Висока
		Соняшник	Висока
		Ріпак	Низька
Ртуть	Високий	Горох	Висока
		Кукурудза	Висока
		Жито	Низька
Свинець	Високий	Гірчиця	Висока
		Картопля	Висока
		Ріпак	Низька

Деякі рослини мають високу ефективність вилучення певних важких металів, тоді як інші можуть бути менш ефективними. Отже, вибір виду рослин для фітоекстракції має бути здійснений з урахуванням типу ґрунту та вмісту важких металів у ньому.

Крім того, фітоекстракція може бути впроваджена в різних масштабах, від малих експериментальних дослідів до великих пілотних проектів. Метод може бути використаний для вилучення важких металів з місць забруднення, таких як промислові майданчики та відходи, а також забруднених відкладів та рудних відвалів [27].

Іншими перевагами фітоекстракції є її екологічна безпечність та низькі витрати на утримання. Проте, метод може бути повільним, і вимагає тривалого часу для вилучення важких металів з ґрунту.

Деякі фактори, такі як температура, вологість та рН-рівень, можуть впливати на ефективність фітоекстракції та повинні бути враховані під час проектування та впровадження методу.

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510045	Арк
						30

У підсумку, фітоекстракція є ефективним та екологічно безпечним методом очищення забруднених ґрунтів від важких металів, який може бути використаний у різних масштабах та залежить від виду рослини та вмісту важких металів у ґрунті.

### 3.4 Зворотна обробка відходів після фітоекстракції

Зворотна обробка відходів після фітоекстракції має на меті вилучення важких металів з рослин, які використовуються для фітоекстракції.

Після проведення процесу екстракції, відходи можуть містити велику кількість важких металів та інших забруднюючих речовин.

Завдання зворотної обробки полягає у зменшенні впливу цих відходів на навколишнє середовище та екосистему [33].

Після збору рослин, що були використані для фітоекстракції, їх піддають спеціальній обробці для вилучення важких металів з їх тканин. Це можна зробити шляхом спалювання або екстрагування. Після цього важкі метали можуть бути виділені з розчину та використані в інших промислових процесах.

Забруднена після фітоекстракції біомаса, що поглинула важкі метали з ґрунту, може бути використана в процесі виробництва біогазу. При зброджуванні в цьому процесі, окрім біогазу, утворюється сірководень, що взаємодіє з важкими металами в розчині і зв'язує їх у хімічно стабільні сполуки, що переходять до складу рідкої фракції дигестату. В залежності від вмісту даних сполук цей дигестат можуть використовувати як добриво, але не при вирощуванні аграрних культур, або захоронити на спеціальних полях.

Даний варіант обробки дає можливість забезпечити зворотну обробку відходів з фітоекстракції та одночасно виробляти енергію та добриво.

Відомий спосіб зворотної обробки відходів – це використання методу біоремедіації. Цей метод використовує мікроорганізми, які можуть вилучати важкі метали та інші забруднюючі речовини.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510045

Арк

31

Ці мікроорганізми можуть бути додані до відходів після фітоекстракції, де вони будуть виконувати процес біоремедіації та розкладати забруднюючі речовини на безшкідні складові. Після того, як процес біоремедіації буде завершено, залишки можуть бути безпечно відновлені у природне середовище. [34].

Відомий і спосіб зворотної обробки відходів після фітоекстракції – використання методу фітоаккумуляції. Цей метод використовує рослини, які можуть збирати важкі метали з відходів та зберігати їх у своїх тканинах. Після того, як ці рослини були зібрані, їх можна відправити на переробку, де важкі метали будуть вилучені та використані для виробництва.

Інший спосіб зворотної обробки відходів – використання методу фітостабілізації. Цей метод використовує рослини для стабілізації ґрунту та зменшення ризику забруднення важкими металами. Рослини, що мають високу толерантність до важких металів, можуть бути висаджені на місці відходів після фітоекстракції. Ці рослини будуть збирати важкі метали з ґрунту та зберігати їх у своїх тканинах, що зменшить ризик розповсюдження забруднення на інші території.

Останній спосіб зворотної обробки відходів – це використання методу фітоекстракції з повторним використанням рослин. У цьому методі використовуються рослини, що мають високу толерантність до важких металів та можуть бути використані для кількох процесів екстракції. Після кожного процесу екстракції, рослини можуть бути відновлені та використані знову, що зменшить кількість відходів та витрат на нові рослини [35] .

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510045	Арк
						32



## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Будівництво та експлуатація біогазової установки можливе за дотримання суворих правил техніки безпеки та встановлених норм при роботі з біогазом.

### 4.1 Особливості технології отримання біогаза

Біогаз одержують шляхом розкладання органічних речовин (біомаси) під впливом мікроорганізмів.

Потенційною сировиною для отримання біогазу є:

- фітомаса (загальна маса рослинних угруповань – деревина, листя, трава, водорості і т.д.);
- відходи сільського господарства (тваринництво – гній, птахівництво – послід, рослинництво – бадилля, стебла, солома тощо);
- відходи промисловості (стічні води підприємств харчової промисловості, скотобоєн, відходи від переробки овочів тощо);
- комунально – побутові стоки;
- Тверді побутові відходи (ТПВ).

Процес розкладання проводять у реакторах (метантенк, ферментатор, дайджестер) у контрольовано анаеробних умовах при 30...36°C (мезофільний режим) або 55...60°C (термофільний режим).

Біомаса, що містить 2...12% органічних речовин, у вигляді рідкого субстрату подається до реактора. Процес протікає при значеннях рН середовища, рівних 6,2...8,2. При нижчому чи високому значенні рН процес зазвичай гальмується чи припиняється зовсім. Порушення процесу усувається завантаженням реактора новими порціями сировини.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510045

Арк

33

На початковій стадії перемішування біомаси гостро необхідне. Під час перемішування здійснюється найкращий контакт мікроорганізмів з живильним середовищем та стабілізується температурний режим усередині реактора. Відсутність перемішування на початку процесу сприяє утворенню застійних зон та розшарування субстрату, оскільки легка частина біомаси (солома) спливає та виводиться із зони дії мікроорганізмів. Плаваюча кірка порушує процес розкладання, і це суттєво позначається на виході біогазу. На останній стадії вважається за можливе виключення перемішування. Насправді перемішування проводять періодично.

Тривалість процесу залежить від складу субстрату (білки, жири, вуглеводи). Речовини, що містять більше білка, мають високу швидкість розкладання і дають високий вихід біогазу (наприклад, трава). Солома (високий вміст лігніну) розкладається повільно і виділяє менше біогазу. Вуглеводи дають більше вуглекислого газу, жири – більше (до 85%) метану. Час переробки обчислюється від 7...10 до 14...16 днів і більше.

Швидкість процесу визначається ступенем перемішування, температурою (в термофільному режимі вона у 2...3 рази вище, ніж у мезофільному), хімічним складом сировини (білки, жири, вуглеводи) та щільністю бактеріальної асоціації.

Стабільне зростання нових бактерій залежить від кількості вуглецю та азоту у відходах. Ці елементи бактерії використовують як будівельний матеріал та джерело енергії. Оптимальне значення відношення C/N знаходиться в межах 20...30.

Технологічна схема біогазової установки включає реактор, газгольдер, теплообмінник, опалювальний агрегат, вузли завантаження, вивантаження та перемішування субстрату. Для зменшення втрат тепла біоустановка обладнана системою теплоізоляції (ефект термоса). Газгольдер поєднаний із реактором. Тиск газу може досягати 100...300 мм вод. ст. Реактор має сталеву конструкцію, в якій покладено поточний принцип. Усередині реактора встановлено

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						ОС 19510045	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			34



Біогаз виділяється при бродінні органічних речовин без доступу повітря і являється легкозаймистою та вибухонебезпечною речовиною.

Біогаз є сумішшю метану (55...70%), діоксиду вуглецю або вуглекислого газу (27...45%) і невеликих кількостей азоту (0...3%), водню (0...1%) і сірководню (0...3%), перелічені компоненти якої мають різну щільність. При тривалому зберіганні біогазу через різну щільність його складових відбувається розшарування, причому важкий вуглекислий газ опускається в нижню частину, а у верхній частині накопичуються горючі компоненти – метан і водень.

Горючі гази характеризуються верхньою та нижньою межами вибуховості та температурою самозаймання, які для аналізованих газів наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика пожежебезпечних газів

Газ	Межа вибуху суміші з повітрям, %		Температура самозаймання, °С
	нижня	верхня	
Водень	4,0	75,2	510
Метан	5,0	15,0	537
Сірководень	4,3	45,5	246

Суміш газу з повітрям, що має вибуховість у зазначених межах (таблиця 4.1), вибухає при зовнішньому джерелі енергії (вогнь, електрична іскра) певної потужності. Вище температури самозаймання газ починає окислюватися, і цей процес набуде вибухового характеру, якщо концентрація знаходиться всередині межі вибуховості.

Азот (N<sub>2</sub>) – безбарвний негорючий газ, що входить до складу повітря (75,5 ваг. %). щільність 1,251 г/л при 0°З тиску 760 мм рт. ст.

Водень (H<sub>2</sub>) – безбарвний, горючий газ, легший за повітря, легко запалюється від іскор і полум'я, щільність 0,090 г/л при 0°С і тиску 760 мм рт. ст. Може вибухати від нагрівання, іскор, полум'я. Пари утворюють із повітрям

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510045	Арк
						36

вибухонебезпечні суміші. Небезпека вибуху газу на повітрі та у приміщенні. Ємності можуть вибухати під час нагрівання. У порожніх ємностях утворюються вибухонебезпечні суміші. Ступінь токсичності – 4. Для людини не становить небезпеки на відкритому повітрі. При більших концентраціях викликає кисневе голодування.

Діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>) – безбарвний, інертний, негорючий газ, важчий за повітря, щільність 1,977 г/л при 0°С і тиску 760 мм рт. ст. Накопичується в нижніх ділянках поверхні, підвалах, тунелях. Ступінь токсичності – 4. Для людини не становить небезпеки на відкритому повітрі, при великих концентраціях викликає кисневе голодування. У приміщеннях викликає ядуху. При отруєнні спричиняє сонливість, розлад координації руху, втрату свідомості.

Метан (CH<sub>4</sub>) – безбарвний, горючий газ; щільність 0,717 г/л при 0°С тиску 760 мм рт. ст. З повітрям утворює вибухонебезпечну суміш. Присутність метану у повітрі негативно позначається на самопочутті людини. Знижується працездатність, виникає швидка втома.

Сірководень (H<sub>2</sub>S) – безбарвний, горючий газ із неприємним запахом; щільність 1,539 г/л при 0°С тиску 760 мм рт. ст. Отруйний газ нервової дії. Викликає параліч дихання вже за концентрації 1 г/м<sup>3</sup>.

Сірководень, якщо і представляє небезпеку для здоров'я людей, то зустрічається в невеликих кількостях і легко виявляється по неприємному запаху. Оскільки сірководень важчий за повітря, необхідно звертати увагу на те, щоб при вибоках цей газ не зміг нагромаджуватися в поглибленнях. При високих концентраціях він притупляє сприйняття запаху, що утрудняє його виявлення і може привести до смертельних отруєнь, але ще раз можна відзначити, що частка сірководню в біогазі дуже мала і складає не більше 1 %.

Біогаз (суміш газів) – безбарвний горючий газ; щільність 1,2 г/л при 0°С тиском 760 мм рт. ст. Є серйозною небезпекою при ремонтних роботах у підвальних приміщеннях, шахтах, колодязях.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						ОС 19510045	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			37

Вибухонебезпечність та токсичність біогазу – це два фактори, які повинні враховуватися при його експлуатації.

Разом із біогазом також утворюються різноманітні хімічні речовини, що являються відходами в процесі виробництва. Більшість установок працюють під тиском. Тому для забезпечення безпеки потрібно строго виконувати заданий режим, неперервно слідкувати за роботою апаратури, забороняється залишати її без нагляду.

При проектуванні розробляються заходи, що забезпечують безпеку персоналу виробництва в процесі експлуатації приладів, засобів автоматизації, щитових пристроїв системи автоматики у відповідності до Державних актів, що забезпечують виконання Закону України «Про охорону праці».

При автоматизація процесу виробництва біогазу оператор знаходиться в приміщенні, де присутні такі шкідливі фактори: повітря робочої зони; шум та вібрації; електробезпека; пожежна небезпека.

При експлуатації обладнання для отримання біогазу і його використання необхідно враховувати вибухонебезпечність метану.

Небезпека вибуху виникає при змішуванні метану з повітрям у співвідношенні від 5 до 15% за об'ємом.

У разі витоку, за наявності вентиляції, газ випаровується без яких або наслідків. У зв'язку з цим на установці для отримання метану і в оточуваній її зоні необхідно суворо дотримуватись заходів безпеки, необхідних для попередження пожежі і вибуху.

#### 4.2.1 Умови експлуатації біогазової установки.

При використанні біогазу необхідно дотримуватись усіх діючих норм і правил роботи з установками для спалювання природного газу.

Підп. і дата	
Інв. № доubl.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510045

Арк

38

У приміщенні, де розташований реактор, слід передбачити вентиляцію. У приміщенні об'ємом до 300 м<sup>3</sup> вентиляція має забезпечувати восьмиразовий об'єм повітря на годину.

Перед початком роботи реактор, газгольдер та газопроводи підлягають заземленню для захисту від вторинних проявів блискавки та зарядів статичної електрики. Заземлення виконується із сталеві труби діаметром 25 мм або сталевий стрижня діаметром 19 –25 мм, що забиваються в землю на глибину не менше 0,5 м.

Біоустановку не слід розміщувати поблизу джерела полум'я, іскор та високонагрітих тіл. Мінімальна відстань від стінки газгольдера до джерела полум'я встановлена на –5 м.

Поблизу установки має бути встановлений протипожежний щит із засобами пожежогасіння (вогнегасник, бочка з водою, цебра, багри, лопати тощо), а також розміщений попереджувальний напис «Небезпечно – газ».

Робітники, зайняті експлуатацією біоустановки, повинні бути проінструктовані з техніки безпеки та кожні три місяці під розписку ознайомитися зі змістом інструкції, якою вони зобов'язані керуватися у своїй роботі.

Проходження газу контролювати рідинним гідрозатвором. Під час експлуатації шукати місця витоку газу лише за допомогою піноутворюючих розчинів.

Експлуатувати установку дозволяється за температури навколишнього середовища не нижче +5°C.

Категорично забороняється:

- вести ремонтні роботи під час знаходження біогазу в реакторі та газгольдері;
- користуватися сталевим слюсарним інструментом (при веденні газонебезпечних робіт і у вибухонебезпечних приміщеннях

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510045

Арк

39

використовувати вибухонебезпечний слюсарний інструмент, виготовлений з кольорових металів, що не дають іскор при роботі);

– обслуговувати біогазову установку в одязі із синтетичних тканин;

Для біогазової установки вологість маси, що завантажується, повинна бути в межах 88 – 95%; тривалість зброджування 20 – 22 дні; щодобово камери завантажуються сирим гноєм у кількості 5% їх обсягу.

При запуску установки в роботу спочатку завантажується одна бродильна камера. Для прискорення процесу зброджування завантаження робити невеликими порціями.

Щоб уникнути забивання трубопроводу, яким маса випускається з камери зброджування, потрібно не рідше одного разу на рік очищати дно камер від осаду за допомогою спеціальних механізмів.

Перелік заходів безпеки включає:

1. Ємності для газу необхідно розміщувати на достатній відстані від житлових будинків, складів і громадських доріг. Мінімально допустимі такі відстані: від будинків з м'якою покрівлею – 10 м; від будинків з твердою покрівлею – 5 м.

2. Забороняється паління і розпалювання вогню поблизу газових резервуарів (в радіусі 10 м). Встановлюються спеціальні таблички з відповідними надписами.

3. Регулярно перевіряють рівень води в резервуарі газгольдера циліндричного типу. Зимому необхідно попереджувати утворення крижаної кірки. Ремонт резервуарів і трубопроводів повинні проводити тільки спеціалісти (організація виготовлювач обладнання), що особливо важливо для усіх робіт, які виконуються з відкритим полум'ям і зварюванням на газгольдері і трубопроводах.

4. Попередження виходу метану і змішування його з повітрям в обмеженому просторі включає в себе забезпеченість герметичності газопровідних ліній і вентиляцію редуційних клапанів з відводом повітря назовні,

Підп. і дата
Інв. № докл.
Взаєм. інв. №
Інв. № доубл.
Підп. і дата
Інв. № докл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510045

Арк

40



5. Видалення повітря із газопровідних ліній шляхом пропускання по них газу до його використання.

6. Установка вогнегасників на газопровідних лініях, які проходять поблизу газоспалювальних установок.

7. Забезпечення відповідних вентиляцій в зоні газопровідних ліній.

8. Обладнання вентиляційного отвору під стелею приміщення для виходу назовні газу, щільність якого менша щільності повітря.

9. Укладання газопровідних ліній з позитивним або зворотним нахилом, з обладнанням на нижньому кінці лінії водовідокремлювача (біогаз містить водяну пару).

10. Захист газопровідних ліній і особливо водовідокремлювачів і вогнегасників від замерзання, оскільки це може перервати подачу газу, пошкодити газопровідну лінію і привести до значного збільшення тиску в метантенку або газгольдері, розрахованому на низький тиск.

11.Видалення всіх потенційних джерел іскроутворення із зони біогазової установки і газопровідних ліній.

12.Установка вогнегасника у місці збереження газу.

13.Резервуари для зберігання газу, що призначаються для зарядки балонів, повинні бути розраховані натиск 170 кг/см<sup>2</sup> .

#### 4.2.2 Заходи безпеки під час експлуатації біогазової установки (БГУ)

Правила складені для робітників, які виконують виробничі завдання з обслуговування БГУ під час роботи, а також встановлюють основні вимоги щодо технічного обслуговування БГУ.

Загальні вимоги безпеки:

До обслуговування БГУ допускаються особи не молодші 18 років, лише після проходження інструктажу з охорони праці на робочих місцях. Запис про

Підп. і дага	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дага	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510045

Арк  
41

проведення інструктажу провадиться в журнал з обов'язковим підписом проінструктованих робітників та особи, яка проводила інструктаж.

Інструктаж з охорони праці з обслуговуючим персоналом повинен проводитись щодня перед заступленням зміни на роботу. Особи, які виконують роботи з обслуговування БГУ, проходять медичний огляд не рідше ніж 1 раз на 6 місяців. Вагітні та годуючі жінки до роботи з обслуговування БГУ не допускаються.

При роботі з БГУ необхідно пам'ятати про вибухонебезпечність метану та суворо стежити за герметичністю газгольдера та його комунікації. При виявленні витoku газу роботу потрібно припинити, усувати дефект повинні тільки фахівці, які добре знають правила поводження з вибухонебезпечними речовинами.

Огляд порожніх цистерн та резервуарів БГУ проводиться не менш ніж двома фахівцями, які знають заходи безпеки та забезпечені шланговими протигазами, гумовими рукавичками та страхуючими мотузками. Після роботи необхідно провітрити спецодяг у спеціально відведеному для цього приміщення.

Під час роботи з обслуговування БГУ можливе виникнення наступних небезпечних та шкідливих виробничих факторів: висока напруга живлення електроустановок, виділення токсичних газів, підвищений рівень шуму, вібрації, підвищений тиск газу, відкрите полум'я.

Для усунення та доведення небезпечних та шкідливих виробничих факторів до безпечних величин під час експлуатації БГУ мають бути передбачені такі засоби захисту: занулення та автоматичне відключення електроустановок, застосування засобів індивідуального захисту, застосування шумоподавних навушників, засоби пожежного захисту.

При експлуатації біогазової установки необхідно звертати увагу на наступне:

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	ОС 19510045				Арк
									42
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

Вдих біогазу у великих кількостях на протязі тривалого часу може викликати отруєння, так як сірководень, який міститься в біогазі, дуже отруйний. Неочищений біогаз пахне тухлими яйцями, але після очистки не має ніякого запаху. Тому всі приміщення, де стоять побутові прилади, які використовують біогаз, треба регулярно провітрювати.

Газові труби повинні регулярно перевірятися на герметичність і захищатися від пошкоджень.

Біогаз у суміші з повітрям в пропорції від 5% до 15% при наявності джерела спалаху з температурою 600°C або вище може призвести до вибуху. Відкритий вогонь небезпечний при концентраціях біогазу у повітрі понад 12%. Таким чином, забороняється куріння та розведення вогню біля установки.

Під час проведення зварювальних робіт відстань до газового обладнання повинна бути не менше 10 метрів.

Після зливу сировини з біогазових установок для проведення ремонту реактор повинен провітрюватися, так як існує небезпека вибуху суміші біогазу і повітря.

Тиск газу, який подається по газопроводу до місця споживання, не повинен перевищувати 0,15 МПа (1,5 кг+см<sup>2</sup>), а перед газовими приладами має бути не більше 0,13 кг/см<sup>2</sup>.

Реактор повинен бути обладнаний засувками, гідрозатворами, які у випадку необхідності могли б відключити його від магістрального скиду надлишкового тиску у газовій систему у випадку перевищення ним норми/

Електрообладнання, яке використовується, повинно бути заземлене. Опір проводу для заземлення має бути не більше 4,0 Ом.

У разі пожежі необхідно терміново припинити роботу та повідомити пожежну охорону. У разі нещасного випадку робітники повинні вміти надати потерпілому першу медичну допомогу. Обслуговуючий персонал відповідає за порушення правил охорони праці.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

					ОС 19510045	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		43

Вимоги безпеки перед початком роботи:

- Перевірити наявність та справність усіх передбачених засобів захисту та пожежогасіння.
- Перевірити, чи вільний доступ до загального рубильника електроживлення установки та вимикача електроустановок на робочих місцях.
- Необхідно переконатися у герметичності робочих ємностей БГУ та комунікацій, у відсутності іскріння в електропроводці.
- Обслуговуючому персоналу необхідно дотримуватись особистої гігієни: носити чистий спецодяг, частіше мити руки з милом. Після роботи потрібно прийняти теплий душ.
- При мінусових та підвищених температурах необхідно використовувати відповідний спецодяг.

Вимоги безпеки під час роботи.

- При обслуговуванні БГУ необхідно виконати ті роботи, які безпосередньо пов'язані з виконанням виробничого завдання.
- При подачі вихідного матеріалу (сирого гною) необхідно стежити за рівнем маси в метантенці.
- Працюючи БГУ суворо стежити тиском газу газгольдері. При різкому підвищенні тиску в метантенці, газгольдер необхідно газ стравити до робочого тиску.
- Курити необхідно у спеціально відведених місцях.

Вимоги безпеки у аварійних ситуаціях.

- При попаданні напруги на корпус електроустановки – негайно її вимкнути! Повідомити про це старшому зміні.
- При нещасному випадку (електрична травма, забій, поріз, опік тощо) надати потерпілому першу медичну допомогу.
- Повідомити старшого зміні про всі порушення та неполадки, виявлені в процесі обслуговування БГУ.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510045

## ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день біологічні методи очищення ґрунту від важких металів є досить перспективними, оскільки вони є екологічно безпечними та економічно вигідними. Вони також дозволяють відновлювати забруднені ділянки та зберігати родючість ґрунту, що є особливо важливим для збереження навколишнього середовища та забезпечення сталого розвитку людства.

Додатковою перевагою біологічних методів очищення ґрунту є те, що вони не створюють нових проблем з відходами, як це може бути у випадку інших методів очищення, таких як термічна обробка. Крім того, біологічні методи можуть бути успішно використані в різних масштабах, від відновлення забрудненої зони у дворі приватного будинку до очищення великих забруднених ділянок, наприклад, територій промислових підприємств.

У цілому, біологічні методи очищення ґрунту є дуже важливим елементом в боротьбі з екологічними проблемами та забезпеченні сталого розвитку. Вони дозволяють ефективно вирішувати проблему забруднення ґрунту в екологічно безпечний та економічно вигідний спосіб.

Переваги використання біологічних методів очищення ґрунту від важких металів полягають у їх екологічній безпеці, економічній вигідності та здатності відновлювати родючість ґрунту. Крім того, біологічні методи очищення можуть бути використані в поєднанні з іншими методами очищення для максимально ефективного та швидкого очищення забрудненого ґрунту.

Однак, недоліки використання біологічних методів полягають у невисокій ефективності, що може займати багато часу та потребувати відповідних знань та досвіду у вирощуванні відповідних рослин. Також, біологічні методи очищення не можуть бути використані у всіх випадках забруднення ґрунту.

Фітоекстракція є ефективним методом очищення ґрунтів від важких металів. Рослини, які використовуються для фітоекстракції, можуть витягати важкі метали з ґрунту та знижувати їх концентрацію. Крім того, фітоекстракція є

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510045

Арк

45

екологічно безпечним методом, оскільки не використовує шкідливих хімічних речовин. Однак, досягнення оптимальних результатів використання фітоекстракції вимагає уважного вибору рослин, які відповідають вимогам щодо витягання важких металів, а також вивчення оптимальних умов збору та обробки фітоекстракту.

Окрім того, бажано проводити додаткові дослідження з використанням комбінації різних методів очищення ґрунтів від важких металів, таких як фітостабілізація, фітоекстракція, ризосферна ремедіація та інших. Це може підвищити ефективність очищення та покращити якість ґрунту в більш широкому аспекті.

У підсумку дослідження можна зробити висновок, що фітоекстракція може бути ефективним та екологічно безпечним методом очищення ґрунтів від важких металів. Як рослини – фітоекстрактори доцільно використовувати гірчицю, алісум, рапс.

Після збору таких рослин, їх піддають спеціальній обробці для вилучення важких металів з їх тканин. Це можна зробити шляхом спалювання або екстрагування. Також забруднена біомаса, що поглинула важкі метали з ґрунту, може бути використана в процесі виробництва біогазу в біореакторах. Використання біологічних методів видалення ВМ, зокрема фітоекстракції може допомогти покращити якість ґрунту та зберегти природні ресурси для майбутніх поколінь.

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510045	Арк
						46



10. Кожухівська О.В., Петриченко О.С. Методи визначення забруднення ґрунтів важкими металами // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". - 2022. - Т. 1, № 2. - С. 34-38.

11. Кривенко Л.О. Використання мікроорганізмів у технологіях очищення ґрунтів від забруднювачів: Монографія. - Київ: Видавничий дім "КМ Академія", 2019. - 226 с.

12. Мельник О.В. Технології очищення ґрунтів від важких металів за допомогою фітореMediaції: Монографія. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. - 276 с.

13. Оніщук В.Ф., Голуб В.В., Шкапенко О.О. та ін. Оцінка ступеня забруднення ґрунтів важкими металами // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". - 2019. - Т. 3, № 6. - С. 38-43.

14. Петриченко О.С. Оцінка впливу забруднення ґрунтів важкими металами на рослини та рослинність: Монографія. - Київ: Видавничий дім "КМ Академія", 2020. - 198 с.

15. Стефанов О.В., Бойко І.Ю. Використання бактеріальних коагулянтів у процесі очищення стічних вод // Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Серія: Техніка та енергетика. - 2016. - Вип. 28. - С. 138-144.

16. Тарасенко І.М., Коротких О.Г., Гудінова Ю.В. Оцінка впливу забруднення поверхневих вод на біоту ґрунтів у зоні рибогосподарських водойм // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. - 2018. - Т. 1 (71). - С. 37-42.

17. Ушкаленко М.І., Іванов С.В., Кривенко Л.О. та ін. Використання мікробіологічних препаратів у процесах рекультивації забруднених ґрунтів // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Серія: Технічні науки. - 2017. - Вип. 183. - С. 32-39.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510045

Арк  
48



18. Федоренко В.О., Гришук В.О., Павлик Ю.О. та ін. Екологічні проблеми морського середовища в умовах інтенсивного розвитку прибережних територій України // Науковий вісник Чернігівського національного технологічного університету. Серія: Економічні науки. - 2019. - Вип. 2 (92). - С. 81-87.

19. Харченко Л.М., Шкараба З.О. Методика визначення екотоксичності водних середовищ // Вода і водоочищення. - 2018. - Т. 8, № 2. - С. 173-181.

20. Черниш В.М., Гриценко І.В., Шевчук І.В. та ін. Екологічний стан ґрунтів на території промислового підприємства // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Серія: Технічні науки. - 2019. - Вип. 200. - С. 51-61.

21. Шевченко О.І., Кравець В.С. Ідентифікація та класифікація забруднюючих речовин у промислових стічних водах // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. - 2018. - Вип. 36. - С. 103-109.

22. Яцишина А.В., Ящук-Лядська Т.В., Мережко Г.О. та ін. Аналіз змін рибного господарства регіону в умовах забруднення водойм // Науковий вісник Чернівецького університету. Серія: Біологія. - 2017. - Вип. 3 (322). - С. 71-75.

23. Зварич Н.В. Методи та засоби оцінки екологічної безпеки територій // Науковий вісник Львівського національного університету безпеки життєдіяльності. - 2016. - Т. 14, № 2. - С. 255-261.

24. Колодяжна Л.І., Колодяжна О.Л. Оцінка екологічної стійкості екосистем з урахуванням антропогенного навантаження // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. - 2018. - Вип. 3. - С. 60-65.

25. Коваль В.В., Довгальова М.М., Скиба О.М. та ін. Фізико-хімічні та бактеріальні методи очищення промислових стічних вод // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Серія: Технічні науки. - 2018. - Вип. 193. - С. 18-28.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						ОС 19510045	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			49





46. Офіційний сайт Конвенції ООН про біологічне різноманіття. – Електронний ресурс, дата звернення (02.05.2023) – <https://www.cbd.int/>

47. Патентно-інформаційний фонд України. Екологія та охорона навколишнього середовища. – Електронний ресурс, дата звернення (01.05.2023) [https://www.uipv.org/index.php?option=com\\_content&view=category&id=132&Itemid=191&lang=uk](https://www.uipv.org/index.php?option=com_content&view=category&id=132&Itemid=191&lang=uk).

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ОС 19510045					Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						52