

**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра загальної та прикладної екології і зоології**

**Кваліфікаційна робота  
магістра**

на тему ЕФЕКТИВНІСТЬ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ НА ЗАБРУДНЕНИХ  
ГРУНТАХ  
EFFICIENCY OF PHYTOREMEDIATION ON CONTAMINATED SOILS

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1012

спеціальності 101 Екологія  
освітньо-професійної програми Екологія та охорона навколишнього  
середовища

\_\_\_\_\_ Кайнара О.В.

Керівник \_\_\_\_\_ доцент, доцент, к.с.-г.н. Притула Н.М

Рецензент \_\_\_\_\_ зав. каф., професор, д.б.н. Рильський О.Ф.

# ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Біологічний факультет

Кафедра загальної та прикладної екології і зоології

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 101 Екологія

Освітньо-професійна програма Екологія та охорона навколишнього середовища

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри загальної та прикладної  
екології і зоології,  
д.б.н., проф.

О.Ф. Рильський

«31» січня 2023 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Кайнарі Олегу Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Ефективність фітореMediaції на забруднених ґрунтах  
керівник роботи Притула Н.М., доцент кафедри загальної та прикладної  
екології і зоології, к.с.-г.н.

затверджена наказом ЗНУ від «01» травня 2023 р. № 644-с

2. Строк подання студентом роботи «30» жовтня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Визначити теоретичні аспекти та практичну  
значущість фітореMediaції.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити): Огляд наукової літератури з теми кваліфікаційної роботи,

Визначення методів досліджень, проведення експериментальних  
досліджень

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових  
креслень): 6 таблиць, 1 рисунок.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ім'я, по батькові та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Домніч А.В., доцент, к.б.н.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 31 січня 2023 року \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Огляд літературних джерел. Написання відповідного розділу роботи.	Травень-Червень 2023 р.	Виконано
2.	Вивчення, засвоєння методик дослідження. Написання відповідного розділу роботи.	Червень-Серпень 2023 р.	Виконано
3.	Засвоєння правил техніки безпеки під час виконання експериментальної частини. Написання відповідного розділу роботи.	Серпень-Вересень 2023 р.	Виконано
4.	Проведення експериментальних досліджень. Оформлення результатів експерименту	Жовтень 2023р.	Виконано
5.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Передзахист роботи.	Листопад 2023р.	Виконано
6.	Рецензування кваліфікаційної роботи	Грудень 2023р.	Виконано
7.	Захист кваліфікаційної роботи	Грудень 2023р.	Виконано

Студент \_\_\_\_\_

О.В. Кайнара

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Н.М. Притула

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер

Н.М. Притула

## РЕФЕРАТ

В роботі 58 сторінок, 6 таблиць, 1 рисунок, було використано 50 літературних джерел, із них 6 іноземною мовою.

Об'єктом дослідження є фіторе mediaції ґрунту.

Предметом дослідження є теоретичні та практичні засади відновленні ґрунту.

Методи досліджень: науковий експеримент, структурний та системний аналіз, моделювання, прогнозування, спостереження, порівняння.

Метою кваліфікаційної роботи є визначення ефективності фіторе mediaції на забруднених ґрунтах

Теоретично та експериментально визначено: Ефективність фіторе mediaції залежить від виду рослин, використовуваних для очищення забрудненого ґрунту. В даному випадку, овес та вика здебільшого проявили високий рівень ефективності у відновленні якості ґрунту, забрудненого авіаційним паливом. Гірчиця, навпаки, не дала значущого зниження рівня фітотоксичності ґрунту.

Результати вимірювання ростових характеристик та маси сирої речовини вказують на те, що овес та вика мають потенціал для швидкого росту та накопичення більшої кількості сирої речовини, що сприяє відновленню ґрунту.

Аналіз індексу фітотоксичності підтверджує, що використання овса та вики може сприяти зниженню рівня фітотоксичності у штучно забрудненому ґрунті, тоді як гірчиця не є ефективним засобом фіторе mediaції у даному контексті.

**ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ, ФІТОТОКСИЧНІСТЬ, ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ, НАФТОПРОДУКТИ, БІОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ.**

## ABSTRACT

In the work 58 pages 6 tables, 1 pictures were used 50 literary sources, including 6 in a foreign language.

The object of the research is soil phytoremediation.

The subject of the study is theoretical and practical principles of soil restoration

Research methods scientific experiment, structural and system analysis, modeling, forecasting, observation, comparison.

The purpose of the qualification work is determining the effectiveness of phytoremediation on contaminated soils.

Theoretically and experimentally determined the effectiveness of phytoremediation depends on the type of plants used to clean up contaminated soil. In this case, oats and vetch have shown a high level of efficiency in restoring the quality of soil contaminated with aviation fuel. On the contrary, mustard did not significantly reduce the soil's phytotoxicity.

The measurement results of growth characteristics and biomass indicate that oats and vetch have the potential for rapid growth and accumulation of a greater amount of biomass, contributing to soil restoration.

The analysis of the phytotoxicity index confirms that the use of oats and vetch can contribute to reducing the level of phytotoxicity in artificially contaminated soil, while mustard is not an effective phytoremediation agent in this context.

PHYTOREMEDIATION, PHYTOTOXICITY, SOIL POLLUTION, PETROLEUM PRODUCTS, BIOLOGICAL SOIL RECOVERY METHODS.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.1 Джерела забруднення ґрунту .....	10
1.2 Аналіз рівня забруднення ґрунтів України.....	16
1.3 Основні методи відновлення ґрунтів .....	23
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	27
2.1 Механічні методи .....	27
2.2 Біологічні методи .....	31
2.3 Фізико-хімічні методи .....	35
2.4 Фіторе mediaції на забруднених ґрунтах .....	37
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	43
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	49
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	54

## ВСТУП

*Актуальність дослідження* ефективності фітореMediaції на забруднених ґрунтах пояснюється комплексом факторів, що впливають на сучасний світ. Перш за все, наявність екологічних проблем стала нагальною. Забруднені ґрунти, населені токсичними речовинами, важкими металами та іншими забруднювачами, викликають серйозні загрози для довкілля та здоров'я людей.

Традиційні методи очищення ґрунтів, такі як видалення та знезараження, часто виявляються недоцільними і недостатньо ефективними. ФітореMediaція, що використовує природні рослини для очищення ґрунтів, стає привабливим рішенням, оскільки вона може бути більш сталою та екологічно прийнятною стратегією.

Дослідження ефективності фітореMediaції вимагає глибокого наукового аналізу, щоб визначити найкращі види рослин, умови та технології для успішного впровадження. Інформація, отримана внаслідок таких досліджень, може бути важливою для розробки практичних рішень та рекомендацій для господарств та організацій, що працюють з забрудненими ґрунтами.

Крім того, фітореMediaція сприяє більш сталому та екологічно прийнятному використанню природних ресурсів. Це важливо в контексті пошуку сталіших та більш ефективних методів очищення ґрунтів.

Забруднення ґрунтів також може впливати на якість та безпеку сільськогосподарських культур та продуктів харчування. Дослідження ефективності фітореMediaції важливо для забезпечення продовольства та безпеки харчових продуктів.

Отже, дослідження ефективності фітореMediaції на забруднених ґрунтах є актуальною проблемою, яка стосується екологічних, економічних та суспільних аспектів та має важливе значення для сучасного світу.

Актуальність дослідження ефективності фітореMediaції на забруднених ґрунтах знаходить віддзеркалення в низці інших важливих факторів та проблем:

1. Підвищення індустріальної діяльності: Зі зростанням промислового виробництва і розширенням міських територій, кількість забруднених ґрунтів зростає. Це може призвести до подальшого погіршення стану довкілля, що підкреслює актуальність фіторемедіації як ефективного засобу боротьби з забрудненням.

2. Забруднення питної води: Забруднення ґрунтів може спричинити просачування токсичних речовин у ґрунтові води. Це створює загрозу для якості питної води та грозить здоров'ю людей. Фіторемедіація може допомогти видалити забруднювачі з ґрунту та зменшити ризик забруднення води.

3. Збільшення обсягу відходів: Видалення забруднених ґрунтів і їх подальше сортування та знезараження призводять до збільшення кількості відходів, що потребують відповідного управління та утилізації. Фіторемедіація може сприяти зменшенню потреби у видаленні та обробці ґрунту, зменшуючи екологічний вплив.

4. Кліматичні зміни: Зміни клімату впливають на розповсюдження забруднень у ґрунтах. Фіторемедіація може виявитися важливим інструментом для адаптації до зміни клімату та відновлення природних екосистем.

5. Публічна свідомість та регулювання: Зросла увага до екологічних питань та насильницькі природні катастрофи спонукають уряди та організації до змін у політиці та законодавстві щодо забруднення ґрунтів та його відновлення. Фіторемедіація може займати центральне місце в стратегіях сталого розвитку та екологічного відновлення.

Загалом, актуальність дослідження ефективності фіторемедіації на забруднених ґрунтах відзначається через комплекс сучасних екологічних, економічних та соціальних викликів, що виникають у сучасному світі і потребують раціональних та сталих рішень.

*Метою кваліфікаційної роботи є визначення ефективності фіторемедіації на забруднених ґрунтах.*

Для досягнення поставленої мети було сформовано та виконано такі завдання:



- 1) провести аналіз літератури проблеми забруднення ґрунтів;
- 2) провести аналіз методів відновлення ґрунтів;
- 3) провести експериментальне дослідження ефективності фітореMediaції ґрунту.

*Об'єктом* роботи є фітореMediaції ґрунту.

*Предметом* дослідження – теоретичні та практичні засади відновлення ґрунту.

*Методи* дослідження: науковий експеримент, структурний та системний аналіз, моделювання, прогнозування, спостереження, порівняння.

*Наукова новизна* полягає у розробці та підготовці проекту з дослідження ефективності фітореMediaції ґрунту та отримання методу для відновлення ґрунтів.

*Результати* експериментальних досліджень кваліфікаційної роботи магістра можуть бути використані у змісті навчальної дисципліни «Моніторинг агроландшафтів».

## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1 Джерела забруднення ґрунту

Умови зростаючої антропогенної деградації природи роблять знання про загальні та специфічні закономірності розповсюдження та накопичення різних забруднюючих речовин в природних середовищах різних регіонів, а також способів вирішення цих проблем, надзвичайно важливими для фахівців у галузі охорони біосфери. Концентрація людських ресурсів на обмежених площах призводить до зростання виробництва, включаючи виробництво продуктів харчування, і збільшення кількості відходів різних галузей виробництва, що в свою чергу призводить до посилення всіх видів деградації екосистеми, особливо її забруднення. Людське суспільство в умовах соціально-економічного розвитку стає все активнішим фактором формування структури та функціонування біосфери.

Зростає інтенсивність використання природного середовища в інтересах людини, активно використовуються природні ресурси – атмосфера, водні простори, нові землі. Ці дії, забезпечуючи виконання суспільством численних господарських завдань, на певному етапі невідворотно супроводжуються негативними побічними екологічними явищами. До них відносяться [1]:

1. вичерпання природних ресурсів;
2. зміна природних ландшафтів;
3. забруднення природного середовища через розсіювання речовини під час різних видів виробництва та використання різних виробів;
4. зміна клімату та порушення теплового балансу планети через збільшення споживання енергії.

Зв'язок утворюється і підтримується постійно діючими потоками речовини та енергії. Стійкість протилежно направлених потоків речовини та енергії в екосистемі є основою існування живих організмів. Зокрема, ґрунт, який є центральним ланцюгом в екосистемі, особливо піддається техногенному впливу.

Характер та ступінь впливу хімічних забруднюючих речовин на загальну екологічну обстановку, окремі біогеоценози та компоненти біосфери відрізняються в різних природних зонах, а навіть відносно до окремих видів тварин і рослин.

Внаслідок цього, разом з загальними та закономірно обумовленими проявами небезпечних токсикоекологічних ситуацій часто виникають окремі та локальні порушення природного середовища. Протягом останніх двох десятиліть різко збільшилася загроза хімічного забруднення ґрунтів [2].

Забруднення в широкому розумінні вважається введенням в будь-яке середовище нових фізичних, хімічних і біологічних агентів, які є непохідними для цього середовища, або перевищенням природного рівня вмісту цих агентів в середовищі.

Екологічно загрозою є не просто введення чужорідних компонентів. У будь-якому випадку об'єктом забруднення є елементарна структурна одиниця біосфери – біогеоценоз. Наявність іноземних речовин призводить до зміни еволюційно сталих режимів екологічних факторів, що призводить до порушення обмінних процесів, а, отже, до зниження продуктивності біогеоценозів в цілому. Забруднення представляє собою комплекс «помилки» в екологічних системах, що призводить до їх деградації.

Згідно з цим визначенням забруднення класифікують за видами впливу, способами введення діючих агентів в навколишнє середовище та характером їх впливу на нього. Виділяють такі види забруднення навколишнього середовища:

Забруднення навколишнього середовища може мати різні форми та види. Основні види забруднення включають [8]:

1. Механічне забруднення: це забруднення, коли агенти викликають механічний вплив на навколишнє середовище, наприклад, захламлення різними видами сміття.

2. Хімічне забруднення: це забруднення, коли хімічні речовини, які мають токсичну дію на живі організми або погіршують хімічні властивості об'єктів навколишнього середовища, потрапляють в нього.

3. Фізичне забруднення: це антропогенний вплив, що викликає негативні зміни у фізичних властивостях навколишнього середовища, такі як теплові, світлові, шумові, електромагнітні та інші.

4. Радіаційне забруднення: це антропогенний вплив іонізуючого випромінювання від радіоактивних речовин, який перевищує природний рівень радіоактивності.

5. Біологічне забруднення: це різноманітна форма забруднення, яка включає в себе внесення в екосистему чужорідних живих організмів, біогенних речовин, порушення балансу популяцій та інші процеси, що впливають на живу природу.

Серед цих видів забруднення хімічне забруднення вважається найбільш небезпечним, оскільки його негативний вплив на живі організми зафіксований на генетичному рівні, і забруднюючі речовини можуть мати глобальний вплив. Хімічні забруднюючі речовини поділяються на мінеральні та органічні сполуки.

Всі ці речовини потрапляють в навколишнє середовище через різноманітні джерела відходів, включаючи побутові і виробничі відходи, викиди внаслідок згоряння кам'яного вугілля і інших видів копалинного пального, викиди від транспортних засобів, відходи металургійних підприємств, хімічних заводів, продовольчої промисловості та сільського господарства, сміття та інші джерела.

Серед забруднюючих речовин виділяються ті, які природно присутні в середовищі і чужі йому. Вони вважаються небезпечними для живих організмів або забруднюючими їх тільки в разі перевищення регіональних фонових рівнів. Всі забруднюючі речовини можна класифікувати за такими основними ознаками [14]:

Хімічна природа речовини (органічні, мінеральні, природного або штучного походження).

1. Токсичність для живих організмів.
2. Технофільність.
3. Характер впливу на ґрунт.
4. Джерела викидів в навколишнє середовище.

5. Режим викиду в навколишнє середовище.
6. Фазовий стан.
7. Відстань поширення.

Кількість хімічних речовин, які надходять в екосистему з антропогенних джерел, залежить від ступеня їх використання людиною в виробничому процесі. Інформативним показником споживання хімічних елементів людиною є їх технофільність. Коефіцієнт технофільності визначається як відношення середньорічної світової видобутку елемента (у тонах) до його вмісту в літосфері (в масових одиницях).

Чим активніше елемент використовується людиною, тим вищий рівень цього показника. (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти технофільності для різних хімічних елементів [15]

Елемент	Коефіцієнт технофільності
C (вугілля, нафта)	$10^{11}$
S (сірка)	$10^{10}$
Bi, Hg, Sb, Cu, Cl	$10^{10}$
I, W, U, Ni, F, Ba, Mn, Fe, P	$10^8$
Pt, Na, K, B, Co, Zr	$10^7$
Ca, Se, Ag, As, Mo, Sn, Cr, Zn, S	$10^9$
Al, Mg, Ge, Be, Li, V, Sr	$10^6$

При рівних обсягах споживання хімічних елементів коефіцієнт технофільності є вищим, чим менше вмісту цього елемента в літосфері. Коефіцієнт технофільності є динамічним і може змінюватися з часом.

Найвищий рівень технофільності встановлено для вуглецю, основного компонента органічних сполук. Природні органічні речовини, які містять вуглець, становлять основу різних видів палива. Вугілля, нафта та газ, які є накопичувачами сонячної енергії, завжди широко використовувалися як паливо. Багато хімічних елементів мають високий показник технофільності, вони містяться в гірських породах у невеликих кількостях, але широко

використовуються у різних виробництвах (наприклад, Bi, Sb, Pb, Mo, W, Sn, N, Cr, Cu, S, Zn, P, Ca).

Особливу увагу з екологічної точки зору привертають ксенобіотики - речовини, які не є характерними для живої природи. За своєю структурою вони відмінні від природних речовин і були отримані шляхом хімічного синтезу. Серед них можуть бути речовини, близькі до природних, наприклад, ароматичні речовини, які використовуються в парфумерії, або перетроїди, схожі на природні інсектициди, а також речовини, які не мають аналогів в природі [17].

Особливу групу становлять радіоактивні речовини. Небезпека для живих організмів пов'язана не з хімічною дією, а з дією іонізуючого випромінювання, яке виникає при їх розпаді. З великої кількості різноманітних хімічних речовин, які потрапляють в навколишнє середовище з антропогенних джерел (на сьогоднішній день у світі виробляється близько 80 тисяч видів хімічних продуктів), особливе місце займають важкі метали.

Відповідно до матеріалів Міжнародної конвенції з оцінки впливу на навколишнє середовище в транскордонному контексті, до екологічно небезпечних видів виробництва та об'єктів відносяться наступні [20]:

1. Атомна промисловість (установки для виробництва ядерного палива, регенерації відпрацьованого ядерного палива або збирання, видалення і переробки радіоактивних відходів).
2. Енергетика (атомні, гідроелектростанції та теплові електростанції, великі установки для спалювання палива).
3. Чорна та кольорова металургія (установки для доменного та мартенівського виробництва, підприємства чорної та кольорової металургії, машинобудівні та металообробні підприємства).
4. Нефтехімія, нафто- та газопереробка.
5. Хімічна промисловість (хімічні комбінати, виробництво азбесту, скла, мінеральних добрив, пестицидів тощо).
6. Видобуток корисних копалин.
7. Транспортування нафти та газу, продуктів їх переробки.

8. Виробництво целюлози, паперу, картону.
9. Транспортування, зберігання, утилізація та захоронення токсичних і отруйних відходів.
10. Виробництво, зберігання, транспортування та утилізація боєприпасів, вибухових речовин і ракетного пального.
11. Великі склади для зберігання нафтових, нафтохімічних, хімічних продуктів, пестицидів.
12. Будівництво доріг, автострад, трас для залізниць дальнього сполучення, аеропортів з довжиною злітно-посадкової смуги понад 2 км.
13. Сільськогосподарські об'єкти (скотарські комплекси та птахоферми, меліоративні системи).
14. Великі водозабори поверхневих та підземних вод.
15. Великі греблі та водосховища, вирубка лісів на великих площах.
16. Легка промисловість (фабрики з очищення, відбілювання вовни, шкіряні заводи, фабрики з фарбування тощо).

Крім вказаних стаціонарних джерел потенційного негативного впливу на природне середовище, очевидно, що особливу екологічну небезпеку, особливо великими містами, представляє автотранспорт. Викиди газів від автотранспорту, які зростають щороку, становлять значну частину забруднень, які надходять [16].

Для оцінки рівня екологічної небезпеки різних хімічних впливів (індивідуальних або комплексних) на основі експертних оцінок їх класифікують за стрес-індексами.

Таблиця 1.2 – Стрес-індекси для деяких забруднюючих речовин [13]

Забруднюючі речовини	Стрес-індекс
Пестициди	140
Важкі метали	135
Відходи АЕС	120
Тверді токсичні відходи	120
Аерозолі	90

Речовини стічних вод	85
Діоксид сірки	72
Нафта (розливи)	72
Супутні речовини добрив	63
Органічні побутові відходи	48
Оксиди азоту	42
Радіоактивні відходи (у сховищах)	40
Міське сміття	40
Фотохімічні оксиданти	18
Летючі вуглеводні	18
Оксид вуглецю	12

Отже, знання про розміри забруднення ґрунту та оцінка впливу забруднюючих речовин на людину та біосферу загалом є необхідними для розвитку навичок раціонального використання природних ресурсів в суспільстві.

## 1.2 Аналіз рівня забруднення ґрунтів України

Аналіз рівня забруднення ґрунтів України є важливою задачею для оцінки екологічного стану країни та визначення можливих наслідків для здоров'я людей і природи. Основні джерела забруднення ґрунтів в Україні включають [14]:

1. Промислові викиди і сміття: Промислові підприємства можуть викидати шкідливі речовини в атмосферу та зливати їх у водні ресурси, що потім може забруднити ґрунти.

2. Сільське господарство: Використання пестицидів, гербіцидів та добрив може призвести до забруднення ґрунтів хімічними речовинами.

3. Побутові відходи: Неправильна утилізація побутових відходів, включаючи сміття та стічні води, може спричинити забруднення ґрунтів.

4. Автотранспорт: Викиди від автотранспорту, такі як оксиди вуглецю і азоту, можуть осідати на поверхні ґрунту та спричинити забруднення.



5. Радіаційна активність: Деякі райони України зазнали радіаційного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС.

Для аналізу рівня забруднення ґрунтів проводять дослідження та моніторинг, визначаючи вміст шкідливих речовин у ґрунтах та оцінюючи їх вплив на біосферу і здоров'я людей. Такі дослідження сприяють прийняттю заходів для зменшення забруднення та відновлення якості ґрунтів.

Аналіз рівня забруднення ґрунтів в Україні важливий з багатьох причин:

1. Здоров'я населення: Забруднені ґрунти можуть містити токсичні речовини, які потрапляють в харчові ланцюги через рослини, що ростуть в цих ґрунтах. Це може призвести до загрози здоров'ю людей, які споживають продукти, вирощені на забруднених ґрунтах.

2. Збереження біорізноманіття: Ґрунти є життєво-важливими для багатьох видів рослин та тварин. Забруднення ґрунтів може призвести до знищення природних середовищ та загрози для біорізноманіття.

3. Якість життя: Забруднені ґрунти можуть впливати на якість життя населення, зокрема шляхом зменшення родючості ґрунту та обмеження можливостей для сільського господарства та розвитку міст.

4. Економіка: Забруднені ґрунти можуть призвести до збитків в сільському господарстві та інших галузях економіки. Реставрація забруднених ґрунтів може бути дорогою та часом складною процедурою.

Для розв'язання проблем забруднення ґрунтів в Україні необхідні комплексні заходи, які включають в себе зменшення викидів забруднюючих речовин, вдосконалення системи утилізації відходів, регулювання використання хімічних речовин в сільському господарстві та інші заходи для захисту ґрунтів та здоров'я населення. Державні органи та наукові установи в Україні займаються моніторингом рівня забруднення ґрунтів та розробкою стратегій для покращення ситуації в цій області.

Виділяють наступні проблеми забруднення ґрунтів України.

Проблема №1 – надмірна розораність ґрунтів.

На території України понад 92% земельного фонду піддається господарському використанню, що суттєво перевищує аналогічні показники розвинених європейських країн, де ця цифра не перевищує 35%. Рівень розораності нашої країни перевищує 54%, тоді як у країнах Європи з більш розвинутою аграрною інфраструктурою цей показник залишається на рівні не більше 35%.

Що стосується фактичного відсотку лісистості нашої території, то він складає всього 16%, що суттєво нижче середнього показника європейських країн, який коливається в межах 25-30%. Особливо критична ситуація спостерігається в регіонах півдня і центральних областей України, де понад 90% земельної площі піддається господарському використанню.

Проте корінна проблема полягає не лише у високій розораності, а в нераціональному використанні та відновленні родючості ґрунтів з метою запобігання зниженню вмісту органічного речовини (гумусу). Наприклад, цілинний чорнозем в верхньому горизонті містить близько 10% гумусу, у той час як середній вміст гумусу в чорноземних ґрунтах України становить лише 3,7-4%.

З нагальної екологічної точки зору, нераціональне використання ґрунтів також призводить до значних викидів діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) в атмосферу, які за масштабами можуть перевищувати навіть викиди від промислових джерел. Більше того, наслідки цього процесу часто невидимі для ока, проте екологи вже попереджають про зміщення природних ґрунтових зон, що відзначається швидким розширенням степових територій.

Проблема №2 – деградація чорнозему колосальними темпами.

В Україні спостерігається практика надмірної експлуатації ґрунтів, де земельні ресурси використовуються до максимуму без дотримання принципів сівозміни. Фермери надають перевагу вирощуванню врожаїв, які обіцяють найвищий прибуток, такі як соняшник, кукурудза і соя, і не дотримують правил сівозміни. Це призводить до виснаження ґрунтів та збільшення ерозії, яка легко відносить родючий шар вітром. За оцінками екологів, протягом останніх 100

років Україна втратила третину гумусу, при цьому темпи його відновлення надзвичайно повільні, оцінюються в 10 см за 2 тисячоліття.

Проблема №3 – хімічне забруднення ґрунтів.

В гонитві за високими врожайями, землі сильно навантажуються пестицидами. Цей підхід особливо стосується українських ґрунтів, оскільки вони володіють високою буферною здатністю і можуть вбирати значну кількість цих речовин, затримуючи їх на довгий період. Ці отруйні речовини в подальшому потрапляють в продукти харчування, і, на жаль, в Україні досі відсутній належний облік та контроль за вмістом пестицидів у рослинах та продуктах харчування. Більше того, іноді в Україні використовуються пестициди, які заборонені в Європі, що створює серйозні загрози для здоров'я та екології.

З 24 лютого 2022 року (на Сході України - протягом кількох років) в Україні ведуться щоденні обстріли як дозволеними, так і забороненими снарядами, що призводить до утворення вирв внаслідок авіабомб і артилерійських обстрілів, створення нових мінних полях, руйнування важкої військової техніки та витоків нафтопродуктів. Всі ці наслідки воєнних дій призводять до забруднення ґрунту, що має негативний вплив на економіку країни та здоров'я населення.

Науково доведено нищівні наслідки воєнно-техногенного забруднення для здоров'я населення. Зосереджений вміст важких металів може порушувати функціонування нервової системи, системи кровотворення та внутрішньої секреції. Хімічні забруднення сприяють виникненню ракових захворювань, атеросклерозу та порушень спадковості.

Механічний, хімічний та фізичний вплив на ґрунт.

Пошкодження ґрунту внаслідок воєнних дій можуть бути механічними, фізичними та хімічними. Кожен з цих видів впливу має свої наслідки та призводить до руйнування структури та функцій ґрунту.

Механічний вплив допускає деформацію ґрунтового покриву внаслідок руху військової техніки, переміщення військ, будівництва об'єктів оборони, облаштування кратерів від вибухів і розмінування територій. Внаслідок цього

відбувається ущільнення ґрунту, заболочування та засмічення території продуктами військової діяльності.

Основним механічним наслідком впливу є ущільнення та руйнування гумусового шару, що призводить до різких порушень водного балансу ґрунту та сприяє розвитку вітрової та водної ерозії. Руйнування структури ґрунту відбувається через переміщення частинок одного шару відносно іншого під впливом воєнно-техногенного навантаження.

Важливим аспектом воєнно-техногенного забруднення ґрунту в Україні є розмінування територій, яке також призводить до негативного впливу на ґрунт. Під час розмінування зазвичай руйнується гумусовий горизонт, що призводить до втрати фізико-хімічних властивостей ґрунту та зміни гранулометричного та агрегатного стану. Це, в свою чергу, може вплинути на родючість та водоутримувальну здатність ґрунту. Руїни структури ґрунту можуть призвести до ущільнення, заболочування та засмічення територій продуктами військової діяльності. Зазначені наслідки можуть розглядатися як абсолютна втрата ґрунтових ресурсів в країнах, що розвиваються.

Додатково, хімічний вплив грає важливу роль в процесі воєнно-техногенного забруднення. Зокрема, змінюються фізико-хімічні параметри ґрунтового покриву, такі як рівень рН, катіонний обмін та вміст гумусу. В результаті збільшується концентрація токсичних хімічних речовин, і можуть виникати різноманітні локальні ландшафтно-геохімічні аномалії. Отже, ці забруднені землі не можна використовувати в довгостроковій перспективі.

До агентів хімічного забруднення належать паливо транспортних засобів, мастильні матеріали, сольвенти, відходи гальванічного виробництва, залишки вибухових речовин, дезактиваційні речовини, важкі метали та їхні сполуки, радіоактивні речовини. Найбільш поширені серед хімічних мікрокомпонентів забруднення є важкі метали, такі як кадмій, свинець, цинк та інші, які служать індикаторами для визначення ступеня екологічної деградації ґрунтів та прилеглих територій.

Фізичний вплив, зазвичай обумовлений використанням військової техніки та зброї, може мати три складові: вібраційний, радіоактивний та тепловий. Спільний вплив цих факторів може призвести до кумулятивного негативного ефекту, включаючи втрату буферної здатності ґрунтів до відновлення, зменшення рівня гумусу та загрозу природній родючості.

Важливо відзначити, що кожен із раніше згаданих впливів війни призводить до руйнування рослинності, порушення інтегритету ґрунтового покриву, дефіциту природного зволоження та опустелювання, що значно скорочує рівень біорізноманітності.

Поширення забруднюючих речовин може відбуватися двома шляхами:

1. Горизонтальний поширення відбувається найчастіше відразу після бомбардувань завдяки повітряному переносу. Під впливом вибухів та артилерійських обстрілів токсичні речовини можуть розсіюватися в повітрі та осідати на прилеглих територіях.

2. Вертикальний поширення пов'язаний з факторами, такими як дифузія іонів, перенесення речовини з потоком вологи чи кореневими системами рослин, а також діяльність ґрунтової мезофауни та господарська діяльність людини.

Підземні води грають важливу роль у міграції забруднюючих речовин, оскільки мають здатність затримувати важкі метали завдяки адсорбції. Багато факторів впливають на те, яка частина важких металів мігрує. Серед них слід відзначити склад ґрунту, вміст органічних речовин в ньому, вологість, мікробіологічну активність та інші параметри.

Присутність рослин також впливає на рух токсичних речовин та важких металів. Зазвичай ці елементи затримуються в коренях та репродуктивних органах рослин, таких як насіння та плоди. Велика кількість факторів, включаючи видові особливості, тип ґрунту, концентрацію, форму перебування забруднювачів, рН ґрунту та гранулометричний склад, впливають на те, як і де вони накопичуються у рослинах.

Усі ці процеси і взаємозв'язки між ними грають суттєву роль у формуванні наслідків воєнно-техногенного забруднення ґрунту в Україні, а також впливають на екосистеми та здоров'я населення.

Забруднення ґрунту – це складний процес, який починається з поглинання часточок через розчин, що присутній в пористій матриці ґрунту. Ґрунтовий розчин, який містить сполуки вибухових речовин, проникає в коріння рослин. Внутрішньокореневі простори коренів надають можливість сполукам вибухових речовин вільно переміщуватися між мембранами та, в результаті, повністю осідати у рослині.

Щодо накопичення важких металів, спостерігаються загальні закономірності серед сільськогосподарських культур. Зокрема, силосні культури активно накопичують важкі метали, в той час як бобові, злакові та технічні культури менше схильні до цього.

Забруднюючі речовини можуть також впливати на стан біоти. Наприклад, високі концентрації вуглеводнів можуть викликати симптоми отруєння у дощових черв'яків. Це свідчить про те, що забруднення ґрунту може мати негативний вплив на різноманітні складові екосистеми, включаючи мікроорганізми та вищі рослини.

Загальна розуміння механізмів забруднення ґрунту та їх впливу на біоту є важливою складовою для розробки стратегій та заходів з охорони навколишнього середовища та збереження біорізноманітності.

### 1.3 Основні методи відновлення ґрунтів

Відновлення ґрунтів є важливою складовою збереження природного середовища і збалансованого використання ґрунтових ресурсів. Основні методи відновлення ґрунтів включають такі підходи [18]:

1. Природні процеси відновлення: Природні процеси, такі як природна реколонізація рослинами, дія мікроорганізмів та макроорганізмів, можуть природним чином відновлювати ґрунти. Цей процес може бути сповільнений або сприяти природі шляхом відновлення природних екосистем.

2. Агротехнічні заходи: Застосування агротехнічних заходів, таких як сівозмінна, органічне внесення добрив, зрошення або мульчування, може сприяти відновленню ґрунтів та покращенню їх структури і родючості.

3. Агроекологічні підходи: Використання агроекологічних методів, які розглядаються з урахуванням екологічних аспектів, може сприяти відновленню ґрунтів та зменшенню негативного впливу сільськогосподарської діяльності на них.

4. Агрофорестація та агролісокультури: Вирощування дерев та кущів поруч з сільськогосподарськими культурами може сприяти відновленню ґрунтів, зменшенню ерозії та підвищенню родючості.

5. Землеробські та інженерні роботи: Землеробські роботи, такі як легке вспушування ґрунту, плуги з невеликою глибиною обробки і обертання та впровадження дренажних систем, можуть допомогти відновити та покращити структуру ґрунту.

6. Запровадження обмежень та регулювання використання: Правові обмеження, які контролюють способи використання ґрунту та вміст певних речовин, можуть допомогти відновити та зберегти якість ґрунту.

7. Застосування відновлюваних матеріалів: Використання матеріалів, таких як перероблені органічні відходи, компост або зелене добриво, може покращити якість і родючість ґрунту.

8. Заходи з обережного ведення господарства: Мінімізація впливу сільськогосподарської діяльності на ґрунт, така як обмеження обробки в мокру пору року або використання технологій, які зменшують компактність ґрунту, може сприяти його відновленню.

9. Реабілітація деградованих ґрунтів: Спеціалізовані програми і проекти реабілітації деградованих ґрунтів можуть включати в себе виправлення родючості, очищення від забруднень і відновлення природних екосистем.

Використання комбінації цих методів, призначених для конкретних типів деградації ґрунтів та регіональних умов, може сприяти відновленню і покращенню стану ґрунтів та збереженню їх якості на користь природи та сільськогосподарського виробництва.

Відновлення ґрунту - це важливий процес, спрямований на відновлення його структури, родючості та екологічного значення. Існують різні методи та підходи до відновлення ґрунту, які враховують характер пошкоджень і види забруднень.

Одним із основних методів є запровадження органічних добрив та компосту в ґрунт. Це підвищує вміст органічної речовини та покращує структуру ґрунту, забезпечуючи його родючість.

Захист від ерозії також важливий для відновлення ґрунту. Будівництво терас, ерозійних захисних споруд та інших заходів допомагає зберегти ґрунт і відновити його структуру, запобігаючи подальшій ерозії.

Садіння дерев та рослинного покриву на відкритих або деградованих ділянках може покращити стан ґрунту, зменшити ерозію та зберегти вологість.

Відновлення вологозабезпечення включає зміцнення гідрологічного режиму водойм та запровадження дренажних систем. Це сприяє підвищенню рівня води в ґрунті та покращенню його стану.

Моніторинг і оцінка ґрунтів допомагають виявляти деградацію та забруднення вчасно і розробляти ефективні заходи їх запобігання та відновлення.



Важливим аспектом є збереження біорізноманітності та відновлення природних екосистем, таких як ліси та болота. Це сприяє відновленню ґрунту та його стабілізації.

Використання нових технологій у сільському господарстві, спрямованих на зменшення впливу на ґрунт, може покращити стан ґрунту та його відновлення.

Підвищення освіти та обізнаності населення щодо важливості догляду за ґрунтом та його відновлення може сприяти раціональному використанню ґрунту та його охороні.

Ці методи можуть застосовуватися окремо чи в поєднанні для досягнення кращих результатів відновлення ґрунту і забезпечення сталого використання цього важливого ресурсу.

На основі висновків аналізу можна обрати оптимальний варіант рекультивативації. Своєю чергою методи обробки забрудненого ґрунту включають фізичну, хімічну та біологічну ремедіацію (очищення).



Рисунок 1.1 – Методи обробки забрудненого ґрунту [16]

Для найбільш забруднених територій кращим варіантом є консервація землі, яка зазнала катастрофічних пошкоджень.

Отже, аналізуючи стан ґрунтів та їх забруднення, можна підкреслити кілька ключових висновків:

1. Забруднення та деградація ґрунтів є серйозною екологічною проблемою в багатьох регіонах світу, включаючи Україну. Велика частина ґрунтів втратила свою родючість та екологічну цінність.

2. Головними факторами забруднення ґрунтів є промислові викиди, використання пестицидів і агрохімікатів, військові дії, а також нераціональне використання ґрунту в сільському господарстві та будівництві.

3. Забруднення важкими металами та іншими токсичними речовинами впливає на якість ґрунту та може мати негативний вплив на здоров'я людей, оскільки ці речовини можуть накопичуватися в рослинах і продуктах харчування.

4. Відновлення ґрунту є важливою задачею для збереження природних ресурсів та біорізноманітності. Використання органічних добрив, збереження біотичного покриву, захист від ерозії та раціональне використання ґрунту можуть сприяти його відновленню.

5. Важливою є освіта і обізнаність населення щодо важливості догляду за ґрунтом та відновлення його структури. Лише колективні зусилля та свідоме відношення до ґрунту можуть забезпечити стале використання цього важливого природного ресурсу.

6. Важливість моніторингу та оцінки стану ґрунту не може бути недооціненою. Це допомагає виявляти проблеми та розробляти ефективні заходи для відновлення та охорони ґрунту.

## РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Механічні методи

Механічні методи відновлення ґрунтів використовуються для очищення та відновлення забруднених ґрунтів, де забруднення може бути видалено шляхом фізичних процесів та механічної обробки. Деякі з популярних механічних методів відновлення ґрунтів включають [21]:

1. Екскавація і видалення забрудненого ґрунту: Цей метод полягає в ручному або машинному видаленні забрудненого ґрунту з місця забруднення. Після видалення забрудненого ґрунту його можуть перевозити на спеціальні майданчики для зберігання або подальшої обробки. Цей метод ефективний для видалення важких забруднень, але може призвести до порушення морфологічної структури та забруднення водних ресурсів.

2. Обвалування та розробка ґрунту: Цей метод використовується для зміни структури ґрунту та полегшення доступу до забруднень. Шляхом розробки ґрунту, можна підвищити доступність для інших методів очищення, таких як фітоподібні системи.

3. Відцентрові циклони та центрифуги: Ці пристрої використовуються для видалення забруднень з рідкого ґрунту шляхом розділення забруднень від ґрунту на основі різниці в густині. Цей метод допомагає відокремити забруднення від ґрунту і видалити їх.

4. Аерація ґрунту: Цей метод включає в себе введення повітря в ґрунт з метою стимулювання процесів природного самоочищення. Аерація сприяє розкладанню забруднень шляхом біологічних процесів.

5. Екранування та фільтрування: Цей метод використовується для видалення забруднень з ґрунту, фільтруючи його через спеціальні бар'єри або фільтри. Забруднення залишаються на поверхні бар'єру, а чистий ґрунт проходить через нього.

Кожен з цих механічних методів має свої переваги і недоліки, і вибір методу залежить від конкретних умов забруднення, вартості та доступності обладнання та вимог щодо відновлення ґрунту. У багатьох випадках, комбінування різних методів може бути найефективнішим підходом до відновлення забруднених ґрунтів.

Всі роботи з відновлення ґрунтів зазвичай класифікуються на дві основні категорії: *ex situ* і *in situ*. При підході *ex situ* передбачається видалення забрудненого ґрунту з місця забруднення і його подальша транспортування на спеціальний майданчик для зберігання і обробки. Цей підхід дозволяє використовувати більш складні, швидкі та ефективні методи очищення. Однак його застосування не завжди прийнятне на великих площах, в труднодоступних місцях або там, де є ризик негативного впливу на навколишнє середовище та людей. Переміщення ґрунту також може призвести до порушення морфологічної структури території і впливу на водні ресурси, а також створити небезпеку для працівників, що зайняті цими роботами через можливий контакт з нафтою та нафтопродуктами.

Технологія «*in situ*» використовується безпосередньо на місці забруднення і зазвичай призводить до значної економії коштів та зменшення ризику впливу забруднень на навколишнє середовище та людей під час переміщення ґрунту. Однак головним викликом при використанні цього методу є гетерогенність забрудненого ґрунту як з геологічної, так і з географічної точки зору [14].

Для відновлення забруднених нафтою ґрунтів рекомендується проводити два основні етапи: технічний та біологічний. Технічний етап передбачає вжиття заходів для стримування подальшого поширення забруднення та рекультивації порушених ґрунтів. Це може включати в себе будівництво бар'єрів, дамб, та інших інженерних споруд, щоб обмежити розповсюдження нафти. Також можуть використовуватися механічні методи очищення, такі як збір нафти з поверхні ґрунту.

Для боротьби з розливами часто використовуються хімічні речовини, такі як емульгатори для розподілу та розкладання нафти, отверди для зміцнення та

подальшого видалення забруднень, а також миючі засоби для очищення нафтових плям. Використання цих хімічних засобів може значно зменшити площу забруднення.

Надзвичайно важливо проводити рекультивацію нафтозабруднених ґрунтів для забезпечення охорони навколишнього середовища та здоров'я людей.

Після вжиття обмежувальних заходів часом проводять механічний збір забрудненого ґрунту і транспортування його на звалище для природного розкладання або засипку ґрунту торфом або піском, після чого переорюють або розпушують. При такому методі «очищення» здійснюється поховання та консервація нафти в нижніх шарах ґрунту, де умови для протікання процесів деструкції вуглеводнів і природного самоочищення ґрунтового середовища гірше. Це призводить до утворення потоків нафти в середині ґрунту і забруднення ґрунтових вод. Обидва ці методи створюють осередки вторинного забруднення довкілля.

Після впровадження обмежувальних заходів, зазвичай виконують механічний збір забрудненого ґрунту, а потім транспортують його на звалище з метою природного розкладання або засипки торфом або піском. Після цього проводять переорювання або розпушування. В рамках такого методу «очищення» нафти фактично поховується та зафіксується в нижніх шарах ґрунту, де умови для процесів розкладання вуглеводнів та природної самоочищення ґрунтового середовища менш сприятливі. Це може призвести до утворення потоків нафти всередині ґрунту та забруднення ґрунтових вод. Обидва ці підходи сприяють утворенню осередків вторинного забруднення природного середовища.

Ця стратегія реалізації «очищення» має свої переваги та недоліки. З одного боку, вона дозволяє відокремити забруднений ґрунт від навколишнього середовища, що може допомогти у запобіганні подальшого поширення забруднень. Також цей підхід дозволяє використовувати природні процеси розкладання нафти в нижніх шарах ґрунту.

З іншого боку, такий метод може мати негативний вплив на ґрунтові води, оскільки нафта може потрапити в глибокі шари ґрунту і забруднювати воду, що

знаходиться близько до поверхні. Також, природне самоочищення може бути ускладнене в таких глибоких шарах [15].

Важливо враховувати, що обидва методи, наведені в тексті, можуть призвести до створення осередків вторинного забруднення навколишнього середовища, і тому вибір конкретної стратегії повинен бути обґрунтованим та враховувати специфіку конкретної ситуації забруднення ґрунту.

Крім того, важливо враховувати, що якщо метод «очищення» використовується, то потрібно дотримуватися всіх необхідних екологічних норм і стандартів для забезпечення мінімізації негативного впливу на природу та здоров'я людей. Для досягнення успіху в рекультивації забруднених ґрунтів, може знадобитися комбінування різних методів та технологій.

Крім того, важливо звертати увагу на моніторинг та оцінку ефективності проведених заходів рекультивації. Це дозволить вчасно виявляти будь-які негативні наслідки та коригувати стратегію відновлення на випадок необхідності.

Загалом, вибір методу та стратегії рекультивації ґрунту після нафтового забруднення вимагає комплексного підходу, обґрунтованого на наукових дослідженнях та враховуючого конкретні умови забруднення та вплив на навколишнє середовище.

Механічні методи відновлення ґрунтів є важливою складовою процесу очищення та відновлення забруднених ґрунтів після нафтового забруднення. Вони можуть бути ефективними для видалення забруднень, але також мають свої обмеження та недоліки:

1. Ефективність: Механічні методи можуть бути ефективними для видалення важких забруднень та зміни структури ґрунту для полегшення інших методів очищення.

2. Вплив на навколишнє середовище: Деякі механічні методи, такі як екскавація, можуть призвести до негативного впливу на морфологічну структуру території та ґрунтові води.

3. Осередки вторинного забруднення: Обидва методи, екскавація та розробка ґрунту, можуть сприяти утворенню осередків вторинного забруднення, які вимагають подальшого врегулювання.

4. Комбінування методів: У багатьох випадках, комбінування механічних методів з іншими технологіями та стратегіями рекультивації може бути найефективнішим підходом.

5. Загальною метою застосування механічних методів відновлення ґрунтів є видалення або переробка забруднень з мінімальним впливом на навколишнє середовище та здоров'я людей. Вибір конкретного методу повинен ґрунтуватися на аналізі умов забруднення та зважати на екологічні та економічні фактори з метою досягнення найбільшого ступеня відновлення та охорони навколишнього середовища.

## 2.2 Біологічні методи

Біологічні методи відновлення ґрунтів використовують живі організми і біологічні процеси для очищення та відновлення забруднених ґрунтів після нафтового забруднення. Ці методи базуються на здатності живих мікроорганізмів і рослин до розкладання забруднень та їх засвоєння.

Деякі з популярних біологічних методів відновлення ґрунтів включають [19]:

1. Фітоочищення (фіторемедіація): Цей метод використовує рослини для видалення забруднень з ґрунту. Деякі рослини, які мають здатність накопичувати забруднення (фітоаккумулятори), можуть бути висаджені на забруднених ділянках. Під час фітоочищення, рослини збирають забруднення з ґрунту через корені, і після цього їх можна видалити та обробити відповідним чином.

2. Біоремедіація: Цей метод використовує живі мікроорганізми, такі як бактерії та гриби, для розкладання забруднень в ґрунті. Ці організми можуть бути внесені в забруднений ґрунт або знайти природнім чином. Вони розкладають забруднення на безшкідливі продукти, такі як вода та вуглекислий газ.

3. Вермікомпостування: Цей метод використовує комах, такі як джмелики та дрібні черв'яки (верми), для розкладання органічних речовин у забрудненому ґрунті. Ці організми споживають органічні рештки та відновлюють біологічну активність ґрунту.

4. Гідробіоремедіація: Цей метод використовує мікроорганізми та рослини у поєднанні з водою для очищення ґрунту та води в одній системі. Мікроорганізми водяного середовища розкладають забруднення в ґрунті та воді.

5. Біосоломлення: Цей метод використовує соломку та інші біологічно розкладаємі матеріали для покриття забрудненого ґрунту. Це сприяє збереженню вологості, створенню сприятливих умов для мікроорганізмів та підвищенню активності розкладання забруднень.

Біологічні методи відновлення ґрунтів мають перевагу в тому, що вони часто менш інвазивні та менш деструктивні для природи, порівняно з механічними методами. Однак їхній успіх залежить від багатьох факторів, включаючи види рослин чи мікроорганізмів, кліматичні умови та характер забруднення. Правильний вибір методу та комбінування різних підходів можуть бути вирішальними для успішної рекультивації забруднених ґрунтів після нафтового забруднення.

Біоремедіація – це метод відновлення забруднених ґрунтів, який використовує біологічні процеси та організми для очищення ґрунту від забруднень. Цей підхід включає два основних методи:

1. Біостимуляція: Цей метод полягає в активізації природної мікрофлори в забрудненому ґрунті шляхом додавання біогенних елементів, кисню, та різних субстратів. Метою біостимуляції є стимулювання росту мікроорганізмів, які можуть розкласти забруднення. Цей підхід особливо корисний, коли природні мікроорганізми в ґрунті не здатні ефективно розкласти забруднення через



відсутність необхідних біогенних елементів або несприятливі фізико-хімічні умови.

2. Біодоповнення: Цей метод включає в себе інтродукцію природних або генно-інженерних штамів мікроорганізмів, які є деструкторами чужорідних сполук. Ці мікроорганізми можуть бути внесені в забруднений ґрунт з метою розкладання забруднень.

Біостимуляція може бути проведена «in situ», тобто на місці забруднення, або «in vitro», спочатку в лабораторних умовах. Під час «in vitro» біостимуляції встановлюють оптимальні умови для росту мікроорганізмів, які здатні розкласти конкретні забруднення, і потім ці умови відтворюють на забруднених ділянках.

Важливо враховувати, що біостимуляція і біодоповнення можуть бути взаємодоповнюючими підходами до біоремедіації та використовуються з метою максимально ефективного видалення забруднень з ґрунту.

Біорекультивация нафтозабруднених ґрунтів - це складний процес, який використовує фізико-хімічні методи, органічні та мінеральні добавки, а також біопрепарати для очищення ґрунту від нафтових забруднень. Вплив на хід біорекультивации органічних забруднень залежить від їхньої хімічної природи, концентрації та взаємодії з іншими забруднювачами.

Фізичні та хімічні умови можуть також впливати на мікробну деградацію забруднень у навколишньому середовищі, включаючи вологість ґрунту, рівень кисню, температуру та рН. Наявність альтернативних субстратів також може впливати на успішність біорекультивации.

Деякі з цих проблем можуть бути вирішені за допомогою генно-інженерних штамів та їх консорціумів, а також за допомогою оптимізації умов для розвитку природних мікробних популяцій. Важливо враховувати фізіологічні особливості мікроорганізмів та їхні взаємодії для успішної біорекультивации ґрунту.

Мікроорганізми, які можуть деградувати нафту і нафтопродукти, є різноманітними, включаючи бактерії, мікроміцети і дріжджі. Найбільш активні

серед бактерій включають роди *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus*, і багато інших. Деякі види актиноміцетів, такі як рід *Streptomyces*, також відомі своєю здатністю розкладати нафту. З дріжджів види *Candida* і *Torulopsis* також мають цю здатність.

Природні біоценози нафтових забруднень часто включають родокока, які накопичують газоподібні нафтові вуглеводні і трансформують їх у біомасу. Ці мікроорганізми відіграють важливу роль у процесах біорекультивациі ґрунту після нафтового забруднення.

Бактерії роду *Rhodococcus* відзначаються високою життєздатністю при наявності негативних чинників, таких як низькі температури, сонячне ультрафіолетове випромінювання і відсутність поживних речовин протягом тривалого часу. У тундрових ґрунтах, забруднених нафтою, природна мікрофлора, яка може очищати нафту, включає в себе переважно бактерії *R. Erythropolis*. Ця родина бактерій дуже цікава для досліджень щодо їх потенціалу як деструкторів нафти.

Дослідники провели скринінг колекції бактерій (роди *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus*) на предмет визначення того, які штами можуть найефективніше руйнувати нафту при низьких температурах. Для цього було використано агарове середовище з парафіном при температурі 6 °С. Після виділення 17 штамів за їхньою здатністю руйнувати нафту, дослідники вирощували їх в рідкому середовищі з нафтою при 8 °С. В результаті 14-денних досліджень була визначена концентрація нафтових вуглеводнів методом ІЧ-спектроскопії. За результатами експерименту виявилось, що 12 з 17 штамів могли руйнувати від 13 до 36% внесеної нафти, два штами – від 5% до 6%, а три були менше ефективними.

Всі 12 штамів, які були здатні руйнувати нафту при низьких температурах, були бактеріями роду *Rhodococcus*, з яких 11 відносилися до виду *R. Erythropolis*, а один – до виду *R. Maris*. Відомо, що спороутворюючі бактерії найбільш стійкі до різних несприятливих умов навколишнього середовища, тому вони

представляють інтерес для дослідження їх потенціалу як деструкторів нафти, особливо при низьких температурах.

Для ліквідації нафтових забруднень ґрунту, також використовуються мікробіологічні препарати, такі як «Деворойл» і «Дестройл». Ці препарати містять в собі мікроорганізми, які можуть руйнувати нафту і нафтопродукти в ґрунті та водоймах. Мікроорганізми в цих препаратах мають здатність окислювати нафтові вуглеводні і ароматичні сполуки. Вони є безпечними і ефективними засобами для біорекультивації забруднених ділянок.

### 2.3 Фізико-хімічні методи

Крім механічних методів очищення, існують фізико-хімічні методи, які використовуються для боротьби з забрудненнями в ґрунті. До них належать:

1. Промивання землі з використанням поверхнево-активних речовин (ПАР), яке допомагає видалити забруднювачі з ґрунту.

Вентиляція ґрунту за допомогою дренажних систем, яка сприяє видаленню газів та інших забруднювачів.

Сорбція, термічна десорбція і деструкція, які включають в себе процеси випарювання вуглеводнів та електрохімічну обробку з використанням заглибних електродів.

Екстракція забруднювачів за допомогою летючих розчинників у промивних барабанах та відгон залишків розчинників паром.

Очистка за допомогою ультразвуку, що викликає кавітацію та допомагає відокремити тверді частинки від поверхні ґрунту.

Термічний метод, відомий також як метод спалювання, полягає в обробці нафтозабрудненого ґрунту шляхом спалювання його у спеціальних печах. Один із прийнятних методів полягає у спалюванні при високих температурах у

спеціальній обертовій печі, яка включає камеру допалювання, системи утилізації тепла і багатоступінчасту очистку викидів.

Під час цього процесу в ґрунті відбувається подрібнення та сушка забрудненого матеріалу, що призводить до утворення фракцій розміром 0-10 мм. Значна частина летючих речовин переходить в газову фазу. Після сушіння ґрунт обробляється при високих температурах (1000-1200 °С). В результаті цього процесу газова фаза розділяється від матеріалу за допомогою циклонного сепарування. Газова фаза повертається в цикл для повного розкладання шкідливих речовин. Найпоширеніший метод видалення ґрунту з виїмкою полягає у створенні дренажних свердловин, через які ґрунт прогрівається.

Термічний метод має свої переваги, такі як висока інтенсивність процесу та ефективно вигорання вуглеводнів, особливо при високому рівні забруднення. Проте він також має недоліки, такі як викид шкідливих продуктів сублімації та неповного окислення вуглеводнів.

Існують деякі недоліки в термічному методі обробки нафтозабрудненого ґрунту, такі як:

1. Вимога до спеціального обладнання та великої кількості енергії.
2. Високі капітальні витрати на будівництво печі та системи очищення викидів, оскільки спалювання супроводжується утворенням значної кількості мікрочастинок.
3. Утворення великої кількості відходів, які важко переробити через необоротність змін, що відбуваються під час спалювання.
4. Довгі терміни природного відновлення ґрунту після термічної обробки.
5. Освіту канцерогенних речовин під час пірометричних процесів.

Одним із хімічних методів зниження концентрації нафтопродуктів у ґрунті є перетворення токсичних вуглеводнів на менш токсичні або нетоксичні сполуки, або затвердіння токсичних речовин у вигляді гелеподібної або твердої речовини. Наприклад, препарат «Еконафт» розроблений фахівцями для хімічного знешкодження і нейтралізації токсичних нафтопродуктів. Він ґрунтується на

властивостях оксидів мінеральних сорбентів, які вміють збільшити свою питому поверхню в 15-30 разів, що дозволяє їм відмінно адсорбувати вуглеводні нафти. Результатом обробки «Еконафтом» є отримання стійкої при зберіганні порошкоподібної речовини з адсорбованими нафтопродуктами.

Інший метод - екстракція нафтопродуктів з ґрунту за допомогою вибіркового розчинників (екстрагентів). Екстрагентами можуть бути легкі фракції нафтопродуктів, гаряча вода, перегріта водяна пара, миючі засоби тощо. Ці процеси зазвичай виконуються на спеціальних очисних установках, які збираються модульно.

Таким чином, для очищення ґрунту від нафтопродуктів і нафтозабруднень існують різні методи, включаючи механічні, фізико-хімічні та хімічні підходи. Термічний метод, такий як спалювання, є одним із способів, проте він має свої недоліки, такі як вимога до спеціального обладнання та великої кількості енергії, велика кількість відходів та можливість утворення канцерогенних речовин. Хімічні методи, такі як використання сорбентів і екстрагентів, можуть бути менш енергозатратними і дозволяють досягти глибокого очищення ґрунту від нафтозабруднень. Проте вони також мають свої обмеження і вимагають спеціалізованого обладнання.

Обираючи метод очищення ґрунту, необхідно враховувати конкретні умови і рівень забруднення. У будь-якому випадку, важливо бути обережними і враховувати потенційні негативні впливи на навколишнє середовище під час вибору та застосування методів очищення ґрунту від нафтопродуктів.

#### 2.4 Фіторемедіації на забруднених ґрунтах

Найбільш перспективним методом для очищення забруднення в промислово розвинених країнах є фіторемедіація.

Фіторемедіація – це метод очищення забруднених ґрунтів та водойм, який базується на використанні рослин (фітозаймись) для видалення, розкладання або стабілізації забруднюючих речовин у середовищі. Цей метод спрямований на зниження вмісту токсичних речовин, таких як важкі метали, нафтопродукти, хімічні сполуки тощо, у ґрунті і воді за допомогою фітозаймись. Суть фіторемедіації полягає в наступних аспектах:

1. Фітозаймись: Рослини, які вирощуються на забруднених ділянках, можуть мати особливі властивості, які дозволяють їм поглинати, нейтралізувати або акумулювати забруднюючі речовини. Ці рослини називають фітоаккумуляторами. Вони можуть виділяти речовини, які забруднюють ґрунт, через свої корені або листя, або активно концентрувати їх у своїх тканинах.

2. Бактерії та гриби: У ризосфері рослин, тобто навколо коренів, можуть розвиватися бактерії та гриби, які співпрацюють із рослинами у видаленні забруднень. Деякі бактерії можуть перетворювати токсичні речовини на менш токсичні форми, тоді як інші можуть сприяти фітозаймись у поглинанні забруднюючих речовин.

3. Фітодеградація: Деякі рослини можуть взаємодіяти з мікроорганізмами в ґрунті, що сприяють розкладанню забруднень. Цей процес відомий як фітодеградація, і він дозволяє розщеплювати токсичні речовини на менш токсичні компоненти.

4. Фітостабілізація: Деякі рослини можуть бути використані для фітостабілізації ґрунту, що має на меті запобігти поширенню забруднень і їх виносу в навколишнє середовище. Рослини в цьому випадку служать бар'єром, який утримує забруднення на місці.

5. Видалення рослин: Після того як рослини накопичили забруднення, їх можуть видалити із місця і обробити або знешкодити відповідним чином. Цей процес називається фітоекстракцією.

Фіторемедіація є екологічною та економічно обґрунтованою альтернативою для очищення забруднених ґрунтів і може бути використана для вирішення проблем забруднення в різних екологічних умовах. Вона спрямована

на використання природних процесів для покращення якості ґрунту та води, зменшення впливу забруднень на навколишнє середовище і забезпечення довгострокових екологічних переваг.

Переваги фітореMediaції порівняно з традиційними методами очищення включають:

1. Відсутність або мінімальна кількість вторинних відходів.
2. Мінімальні порушення природних екосистем.
3. Можливість застосування як на обмежених, так і на великих територіях.
4. Естетичний аспект та покращення властивостей ґрунту, включаючи запобігання ерозії.
5. Відносна простота впровадження.
6. Економічна ефективність.

Дослідження американських фахівців показали, що фітореMediaція однієї тони забрудненого ґрунту коштує 10-35 доларів.

Початково фітореMediaція була розроблена для ліквідації забруднення важкими металами. Деякі види рослин можуть поглинати і нагромаджувати важкі метали, такі як свинець, цинк, ртуть та інші.

Додатковим перспективним напрямком фітореMediaції є очищення від нафти та нафтопродуктів за допомогою рослин. У цьому випадку рослини можуть виконувати фітовипар і фітодеградацію, перетворюючи забруднення в безпечні продукти. Корені рослин також сприяють ризодеградації, де мікроорганізми в ризосфері розкладають забруднення.

Узагальнюючи, фітореMediaція є важливим та обґрунтованим методом для очищення забруднених ґрунтів та водойм. Вона має численні переваги, такі як екологічність, економічність і відсутність значної кількості вторинних відходів.

На сьогоднішній день, проблеми фітореMediaції нафтозабруднених територій підлягають обговоренню чималою кількістю дослідників. Багато із них пропонують використовувати трав'янисті рослини із роду злакових [32]. Повідомляється, що основною перевагою трав є їх значна волокниста коренева

система, що має досить велику площу поверхні кореня у порівнянні з іншими видами, а також може проникнути у ґрунт на глибину до 3 м [32].

Позитивний вплив багаторічних трав пояснюється їх розвиненою кореневою системою, яка сприяє покращенню газоповітряного режиму забрудненого ґрунту та насичує його біологічно активними сполуками, виділеними кореневою системою під час їх життєдіяльності. Все це сприяє росту мікроорганізмів та, відповідно, підсилює розкладання нафти та нафтопродуктів.

Види з довгим корінням відзначаються високою стійкістю до несприятливих умов нафтового забруднення [43]. Багато досліджень [43] вказують на стійкість бобових рослин до нафтового забруднення, завдяки їхній здатності фіксувати атмосферний азот та забезпечувати себе мінеральним живленням у нафтозабрудненому ґрунті [44]. Окрім цього, симбіотичні мікроорганізми бобових рослин виявляють здатність розкласти вуглеводні нафтопродуктів, сприяючи їхній конверсії в менш токсичну форму. Багато іноземних досліджень підтверджують позитивний вплив бобових рослин та злаків на фіторе mediaцію нафтозабруднених ґрунтів [42, 45].

Дослідники також пропонують посилювати ефективність фіторе mediaції шляхом внесення мінеральних добрив або інокуляції рослин бактеріями, а також розглядають можливість використання дорослих рослин, які виявляють більшу стійкість до нафтозабруднення, ніж проростки.

Загалом, фіторе mediaція повинна ґрунтуватися на місцевих рослинах, особливо тих, які зростають на забруднених ділянках, і враховувати їхню придатність до конкретних кліматичних та ґрунтових умов. Способи фіторе mediaції, що використовують деревні та чагарникові рослини, можуть бути ефективними для великих територій та нафтозабруднених об'єктів, зокрема для лісопосадок.

Отже, фіторе mediaція є ефективним та обґрунтованим методом очищення забруднених ґрунтів та водойм від нафтопродуктів та інших токсичних сполук. Вона має численні переваги, включаючи відсутність або мінімізацію вторинних відходів, мінімальні втручання в природні екосистеми, можливість застосування



на різних масштабах, естетичний вигляд, відносну простоту впровадження та економічність.

Важливим аспектом фітореMediaції є використання місцевих рослин, особливо тих, які вже ростуть на забруднених ділянках, оскільки вони виявляють більшу стійкість та адаптованість до конкретних умов забруднення. ФітореMediaція відкриває можливості для збереження та відновлення забруднених територій, а також сприяє поліпшенню якості ґрунту та запобігає ерозії.

Дослідження показують, що фітореMediaція може бути ефективним методом для очищення ґрунтів і водойм від нафтопродуктів, важких металів та інших забруднень. Однак важливо продовжувати наукові дослідження та вдосконалювати технології фітореMediaції для досягнення ще кращих результатів та збереження природних екосистем.

Узагальнюючи інформацію про очищення ґрунту від нафтопродуктів і нафтозабруднень, можна сказати, що існують різноманітні методи і технології для вирішення цього екологічного завдання. Вибір методу очищення повинен базуватися на конкретних умовах забруднення, рівні забруднення, доступності обладнання та фінансових можливостях.

Механічні методи включають в себе видалення забрудненого ґрунту або його обробку з використанням фізичних процесів, таких як промивання та подрібнення. Фізико-хімічні методи використовують різноманітні процеси, такі як вентиляція, сорбція, десорбція, деструкція та інші, для зниження концентрації нафтопродуктів у ґрунті. Хімічні методи включають в себе використання різних хімічних реагентів, сорбентів та екстрагентів для нейтралізації і видалення забруднень.

Кожен метод має свої переваги і недоліки, і їх вибір залежить від конкретної ситуації. При цьому важливо враховувати потенційні негативні впливи на навколишнє середовище та дотримуватися екологічних норм і стандартів.

Загалом, очищення ґрунту від нафтопродуктів - складне завдання, і ефективність вибраного методу залежить від багатьох факторів. Важливо

проводити дослідження і ретельно планувати процес очищення, щоб забезпечити максимальну ефективність та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

### РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

З метою визначення найбільш ефективних рослин для відновлення якості забруднених нафтопродуктами ґрунтів, ми провели експериментальне дослідження ефективності фітореMediaції. Наш дослід включав два етапи.

Перший етап полягав у висіванні та пророщуванні різних видів рослин на ґрунті, забрудненому авіаційним паливом (керосином марки ТС-1) у концентрації 10 ОДК. Ми вимірювали ростові параметри проростків, такі як схожість, середня довжина кореня та стебла, і збирали проби ґрунту з ростами на 10-й день після початку експерименту.

Другий етап включав тестування відібраних проб ґрунту за допомогою рослинного біоіндикатора – салату крес-салату, який чутливий до нафтового забруднення ґрунту. Ми також визначали фітотоксичний ефект в порівнянні з контрольною пробою ґрунту.

Головною метою нашого дослідження було встановити, які рослини, такі як вівсо посівне, вика звичайна (горошок посівний) та гірчиця, мають здатність знижувати концентрацію нафтопродуктів у ґрунті, тобто зменшувати фітотоксичність ґрунту методом фітореMediaції. Для нашого дослідження ми використовували такі матеріали і методи: авіаційний керосин марки ТС-1, проби ґрунту, насіння вівса, вика звичайна та гірчиця, термостат, дистильована вода та ростильні.

Отже, для проведення нашого дослідження ми обрали наступні види рослин:

Овес звичайний (*Avena sativa* L.) – це однорічна трав'яниста рослина роду овес, яка належить до родини злакових. У цієї рослини коренева система міцно розвинена. Стебло є порожнистими соломинками та може досягати висоти від 80 до 140 см. Листя вівса має ланцетну форму з зеленуватим або сірим забарвленням і часто волосками на краях. Крім того, листя не має вушок, але має розвинений язичок.

Вика звичайна (*Vicia sativa* L.) – це однорічна трав'яниста рослина з родини бобових (*Fabaceae*). Вона може бути виткою або сланкою та досягати висоти від 20 до 80 см. Листя від віки парноперисте, з великою кількістю листових фрагментів, розмір яких може варіюватися від 6 до 36 мм у довжину та від 1 до 12 мм у ширину. Квітки мають віночок, діаметр якого становить від 10 до 30 мм і може бути світло-червонуватим, фіолетовим або голубувато-ліловим. Плід – довгастий стручок з насінням.

Гірчиця морська звичайна (*Cakile maritima*) – це однорічна трав'яниста рослина з родини капустяних (*Brassicaceae*). Стовбур рослини розгалужений від основи та може досягати висоти від 7 до 40 см. Листя гірчиці має блискучий зовнішній вигляд, є товстими та зеленими, з виїмками або лопатевими формами. Квітки мають біле або бузкове забарвлення. Плоди рослини є стручками з насінням. Ми використали ці рослини для висівання 200 насінин кожного виду на поверхню ґрунту з метою їх пророщування після попереднього очищення та висушування.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання ростових характеристик та схожості 3-добових проростків досліджуваних рослин

Ознака	Овес	Вика	Гірчиця
Довжина кореня, см			
1	1.8	2.3	2.5
2	2.6	1.6	1.2
3	2.2	3	1.7
4	2.6	2.5	2.7
5	2.4	1	1.3
Довжина стебла, см			
1	0	2.4	2.3
2	0.4	2	1.8
3	0.5	2.5	2.1
4	0.4	2.1	3
5	0.3	1.9	2
Загальна довжина проростка, мм			
1	3	3	3.6
2	2.7	3.8	5.5
3	3	5.7	4.6

4	2.7	3.3	2.9
Схожість, %			
1	34	51.5	31
Маса сирої речовини, г			
1	0.389	0.542	0.254

Аналізуючи результати досліджень, представлені в таблиці 3.1, можемо прийти до висновку, що найкращою схожістю на ґрунті, який штучно забруднений нафтопродуктами, характеризується вика звичайна, що є представником бобових рослин. Крім того, ця рослина має найвищу масу сирої речовини. Щодо злакових рослин, овес має показники, що близькі до вики за ростовими характеристиками. За результатами наших експериментів, гірчиця виявилася з найнижчими ростовими показниками. На 10-й день експерименту ми провели повторні вимірювання ростових характеристик досліджуваних рослин.

Таблиця 3.2 – Результати експериментальних досліджень 10-добових проростків досліджуваних рослин

Ознака	Овес	Вика	Гірчиця
Довжина кореня, см			
1	7	6	4.3
2	12.8	3.9	1.6
3	10.6	4.5	1.7
4	9.1	6.1	2.7
5	8.2	7.8	4.7
Довжина стебла, см			
1	7.5	5.3	6.2
2	9.6	4.3	5
3	9.2	3.8	5.8
4	8.1	5.5	5.3
5	7.7	5.6	8
Загальна довжина проростка, см			
1	14.5	11.3	10.5
2	22.4	8.2	6.6
3	19.8	8.3	7.5
4	17.2	11.6	8
5	15.9	13.4	12.7
Маса сирої речовини, г			
1	1.342	0.853	0.493

Аналізуючи результати досліджень, представлені в таблиці 3.2, можна зробити висновок, що тенденція розвитку рослин зазнала змін, і найкращі ростові характеристики виявилися у овесу, який є представником злакових. Крім того, ця рослина показала найбільший приріст маси сирової речовини. Щодо вики, вона має близькі до злакових рослин показники за ростовими параметрами. Найнижчі ростові характеристики, згідно з результатами наших експериментів, виявлені у гірчиці.

Наступним етапом був відбір проб ґрунту з усіх ростилень через 10 днів після проведення фіторемедіації та визначення його фітотоксичності на основі методу біотестування з використанням насіння крес-салату.

Таблиця 3.3 – Вимірювання морфометричних характеристик салату

	Контроль (1)	Ґрунт з ПММ на початку експерименту (2)	Ґрунт з ПММ на 10 добу (без рослин) (2')	Проба №3 (Овес)	Проба №4 (Вика)	Проба №5 (Гірчиця)
Корінь, см	2,5	2,38	2,21	3,17	2,3	2,25
Стебло, см	2,55	1,69	1,86	2,34	2,18	2
Загальна середня довжина, см	5,08	4,08	4,08	5,51	4,42	4,25

Фітотоксичний ефект (ФЕ) розраховували за ростовими характеристиками, визначали за формулою:

$$\text{ФЕ} = \frac{L-Lx}{L} * 100\% \quad (3.1)$$

$L$  – морфометричні характеристики рослин у контрольних зразках;

$Lx$  – морфометричні характеристики рослин у досліджуваних зразках

Результати обчислення фітотоксичного ефекту проб ґрунту представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Індекс фітотоксичності ґрунту за ростовими характеристиками салату

Зразок ґрунту	1	2	3	4	5
Показник фітотоксичності	20	19	-8,49	13	16,35

Аналіз отриманих даних щодо розрахунку індексу фітотоксичності для досліджених проб ґрунту дає підставу для висновку, що найбільшу ефективність у відновленні якості ґрунту, який був штучно забруднений авіаційним паливом, проявив овес, що є представником злакових рослин. Також вика звичайна показала певний рівень ефективності у фіторемедіації. У той же час, використання гірчиці в технології фіторемедіації не призвело до зниження рівня фітотоксичності штучно забрудненого авіаційним паливом ґрунту.

Цей аналіз свідчить про те, що овес та вика можуть бути потенційно ефективними рослинами для відновлення якості ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, в той час як гірчиця не показала високої ефективності в цьому процесі.

На основі наданої інформації можна зробити наступні загальні висновки:

1. Ефективність фіторемедіації залежить від виду рослин, використовуваних для очищення забрудненого ґрунту. В даному випадку, овес та вика здебільшого проявили високий рівень ефективності у відновленні якості ґрунту, забрудненого авіаційним паливом. Гірчиця, навпаки, не дала значущого зниження рівня фітотоксичності ґрунту.

2. Результати вимірювання ростових характеристик та маси сирої речовини вказують на те, що овес та вика мають потенціал для швидкого росту та накопичення більшої кількості сирої речовини, що сприяє відновленню ґрунту.

3. Важливо враховувати ростові характеристики рослин при виборі виду для фіторемедіації, оскільки це впливає на ефективність процесу очищення ґрунту від забруднень.

4. Аналіз індексу фітотоксичності підтверджує, що використання овса та вики може сприяти зниженню рівня фітотоксичності у штучно забрудненому ґрунті, тоді як гірчиця не є ефективним засобом фіторемедіації у даному контексті.

Отже, вибір рослин для фіторемедіації ґрунту важливо розглядати з урахуванням їх ростових характеристик та потенціалу зниження фітотоксичності, залежно від типу забруднень ґрунту.



## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці є невід'ємною частиною будь-якого проекту, спрямованого на вирішення екологічних проблем, таких як фіторемедіація на забруднених ґрунтах. Дієві заходи з охорони праці є необхідними для забезпечення безпеки працівників та інших учасників процесу фіторемедіації, а також для запобігання можливим негативним впливам на навколишнє середовище та загальну громадську безпеку.

Першочерговим завданням є проведення детальної оцінки ризиків, пов'язаних із здійсненням процесу фіторемедіації. Ця оцінка повинна враховувати можливі небезпеки для здоров'я працівників, можливість викидів шкідливих речовин та інші чинники, що можуть вплинути на безпеку праці та довкілля.

Згідно із виявленими ризиками, будуть розроблені та впроваджені конкретні заходи захисту працівників. Це може включати в себе використання спеціального захисного одягу, респіраторів, засобів індивідуального захисту та інших засобів, що забезпечують безпеку під час роботи.

Одним із ключових елементів охорони праці буде розробка та впровадження технічних та організаційних заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків. Це може включати в себе правильний вибір технологій фіторемедіації, раціональне розташування робочих зон, контроль за утилізацією відходів та інші заходи для забезпечення безпеки та ефективності процесу.

Всі працівники, які беруть участь у фіторемедіації, повинні пройти відповідну підготовку та сертифікацію з охорони праці. Навчання повинно включати в себе інструкції щодо використання захисного обладнання, процедур у разі аварій, а також знання щодо безпеки праці на конкретному об'єкті фіторемедіації.

Постійний моніторинг стану охорони праці буде проводитися протягом всього періоду фіторемедіації. Регулярні аудити та оцінки ефективності вжитих заходів забезпечать постійну адаптацію та вдосконалення системи безпеки відповідно до змін у процесі фіторемедіації.

Охорона праці в контексті фіторемедіації є ключовим елементом для забезпечення успішності проекту та уникнення можливих негативних наслідків для здоров'я людей та природи. Всі заходи, спрямовані на безпеку та здоров'я працівників, повинні бути відповідно регламентовані та впроваджені відповідно до вимог законодавства та стандартів охорони праці.

У рамках експерименту з фіторемедіації ґрунту, що передбачає висівання та пророщування рослин на ґрунті, забрудненому авіаційним паливом (керосином марки ТС-1) у концентрації 10 ОДК, необхідно дотримуватися ряду важливих вимог з охорони праці:

Одяг та засоби захисту:

Усі учасники повинні бути взуті в захисний одяг, який включає в себе костюми з полімерних матеріалів, рукавички та взуття. Використання респіраторів є обов'язковим для уникнення вдихання шкідливих парів.

Вентиляція та робоче місце:

Робоче місце повинно бути добре провітрюваним. Забезпечте використання робочого обладнання та інструментів, які відповідають вимогам безпеки та перевірте їх перед використанням.

Організація робочого простору:

Визначте та відокремте зону проведення експерименту. Забезпечте, щоб у цю зону не мали доступу неповноважені особи. Підтримуйте порядок та чистоту в робочому просторі.

Безпека при зборі ґрунтових проб:

Здійснюйте збір ґрунтових проб з використанням засобів індивідуального захисту, уникайте прямого контакту з забрудненим матеріалом. Зберігайте проби в спеціальних контейнерах.

Утилізація відходів:

Забезпечте правильну утилізацію всіх відходів, що виникають під час експерименту, відповідно до встановлених норм та стандартів.

Навчання та інструктаж:

Всі учасники повинні пройти обов'язкове навчання з охорони праці та отримати інструкції щодо безпечного використання захисного обладнання та уникнення потенційних небезпек.

Перевірка та моніторинг:

Регулярно перевіряйте стан захисного обладнання та моніторте робочий простір на можливі ризики. Проводьте тестування ґрунту на нафтове забруднення.

Екстрені ситуації та перша допомога:

Забезпечте навчання з надання першої допомоги та інструкції щодо реагування на екстрені ситуації, такі як аварії чи негайне забруднення.

Дотримання цих вимог забезпечить безпеку учасників експерименту та виключить можливість негативного впливу на їхнє здоров'я та навколишнє середовище.

## ВИСНОВКИ

Загальна інформація про фіторемедіацію та її застосування для очищення забруднених ґрунтів та водойм від нафтопродуктів та інших токсичних речовин вказує на те, що цей метод виявляється важливим і обґрунтованим інструментом в галузі екологічного відновлення навколишнього середовища. Фіторемедіація володіє численними перевагами, включаючи екологічність, відсутність або мінімізацію вторинних відходів, мінімальні втручання в природні екосистеми, можливість застосування на різних масштабах, економічність та естетичний вигляд.

Важливою перевагою фіторемедіації є використання місцевих рослин, що вже ростуть на забруднених ділянках, оскільки вони виявляють більшу стійкість та адаптованість до конкретних умов забруднення. Дослідження показують, що цей метод може бути ефективним для очищення ґрунтів і водойм від нафтопродуктів, важких металів та інших забруднень, а також сприяє поліпшенню якості ґрунту та запобігає ерозії.

Після аналізу наукової літератури можна виокремити, що механічні, хімічні та фізичні методи очищення ґрунтів від забруднень виявляються праціомісткими, тривалими, вартісними та недостатньо ефективними. Вони часто призводять до утворення вторинних відходів та виникають лише при високих рівнях забруднення.

У порівнянні із цим фіторемедіація виділяється як відомий і перспективний метод очищення ґрунту в промислово розвинених країнах. Використання рослин для очищення ґрунту має низку переваг: відсутність або мінімізація вторинних відходів, незначні порушення екосистем, економічність, можливість застосування на різних масштабах та відносна простота впровадження. Крім того, цей метод сприяє покращенню стану ґрунту і запобігає ерозії.

Вивчення результатів експериментальних досліджень показує, що деякі види рослин, зокрема, представники злакових (овес) та бобових (вика звичайна),

можуть бути рекомендовані для відновлення якості ґрунтів на територіях аеропортів та прилеглих ділянок. Вказані рослини сприяють істотному покращенню параметрів ґрунту, навіть у порівнянні з умовно чистими ґрунтами (контрольними зразками).

Отже, фіторемедіація виявляється ефективним і перспективним методом очищення ґрунтів, надаючи можливість зменшення впливу забруднень і сприяючи відновленню природних екосистем на забруднених ділянках.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів / За ред. В.П. Патики. Київ: Основа, 2005.- 300 с.
2. Бессонова В.П. Методи фітоіндикації в оцінці екологічного стану довкілля. Запоріжжя: Запорізький університет, 2001. 196 с.
3. Використання апарату нечітких нейронних мереж для виявлення толерантних до пестицидного навантаження видів дикорослих рослин / Петришина В.А., Моклячук Л.І., Лисенко В.П. *Аграрна освіта і наука*. 2008. №1-2. С. 87-93.
4. Брощак І.С., Венглінський М.О., Гаврилук В.Б. Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України. Львів, 2015. 94 с.
5. Подан І.І., Джура Н.М. Вплив нафтового забруднення і гуматів на ріст рослин міскантусу. *Екологічні науки*. 2019. № 2 (25). С. 182–186.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Методичні рекомендації з фітотестування забруднених стійкими пестицидами ґрунтів / Під ред. О.І. Фурдичка. Київ: ДІА, 2009. 28 с.
10. Моклячук Л.І., Слободенюк О.А., Петришина В.А. Науково-методичні підходи до фіторемедіації забруднених пестицидами ґрунтів. *Агроекологічний журнал*. 2008. Спецвипуск. С. 188-190.

11. Петришина В.А., Моклячук Л.І. Рослинне угруповання території з полікомпонентним забрудненням пестицидами. *Агроекологічний журнал*. 2008. №3. С. 65-69.
12. Самохвалова В.Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. *Біологічні студії*. 2014. С. 217–236.
13. Джигерей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посіб. 4 - те вид., випр. 1 доп. Київ : Т -во «Знання», К(Х), 2006. 173 с.
14. Жидецький В.Ц., Джигерей В.С., Мельніков О.В. Основи охорони праці. 2-ге, вид. стереотипне. Львів : Афіша, 2000. 141 с.
15. Злобін Ю.А. Основи екології. Київ: Вид-во «Лібра», 1998. 223 с.
16. Клименко М.О. Моніторинг довкілля: Підручник. Київ: Видавничий центр «Академія», 2006. 141 с.
17. Кобилянська І.М., Кобилянський О.В., Яблочников С.Л. Безпека життєдіяльності: навчальний посібник. Вінниця: 2007. 128 с.
18. Moubasher H.A., Hegazy A.K., Mohamed N.H., Moustafa Y.M., Kabil H.F., Namad 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.
19. Корсак К.В. Основи екології. Київ: Вид-во МАУП, 2000. 252 с.
20. Кучерявий В.П. Екологія. Львів : Вид-во «Світ». 341 с.
21. Навчальні матеріали онлайн [Електронний ресурс] – режим доступу: [http://pidruchniki.com/80892/ekonomika/sanitarnogigiyenichni\\_umovi\\_pratsi\\_shlyah\\_i\\_polipshennyu](http://pidruchniki.com/80892/ekonomika/sanitarnogigiyenichni_umovi_pratsi_shlyah_i_polipshennyu)
22. Некос А.Н. Людина та довкілля. *Проблеми неоекології*. №1-2. Харків, 2012. С. 223-230.
23. Прежко В.В. Екологічний словник : навч. посібн. Харків : Вид-во ХДАМГ, 1999.
24. Фірсова А.А.. Вплив забруднення атмосфери на здоров'я людини.

25. Білявський Г.О. Основи екології : Навчальний посібник. Київ : Лібра, 2002. 352 с.
26. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навчальний посібник. Київ : Т-во «Знання», 2007. С. 166-182.
27. 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.
28. Михайлюк І.Б. Про стан навколишнього природного середовища у м. Києві та основні напрямки вирішення нагальних проблем довкілля місцевими органами самоврядування. *Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України* : М-ли Всеукр. студ. наук.-практ. конф., Полтава, 2004. Полтава, 2004. С. 8-11.
29. Огородник І.М. Агросвіт. Вплив автотранспорту на екосистему держави. 2011. №17-18. С.43-47.
30. Самохвалова В.Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. *Біологічні студії*. 2014. С. 217–236.
31. Русіло П.О. Науковий вісник НЛТУ України. Вплив на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу. 2008. Вип.18.3. С.85-89.
32. 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
33. Brusa T., Puppo E. Microbial degradation of the sulfonylurea herbicides. *Current knowledge*, 1995. V. 45. № 2. P. 321-330.
34. Struthers J. K., Jayachandran K., Moorman T. V. Biodegradation of atrazine of *Agrobacterium radiobacter* J14a and use of this strain in bioremediation of contaminated soil. *Appl. And Environ. Microbiol.* 1998. V. 64. № 9. P. 3368-3375.
35. Полевич, О. В. Визначення складу та товщини двошарових тонких плівок і метрологічних характеристик при їх рентгенофлуоресцентному аналізі *Український метрологічний журнал*. 2012. № 1. С. 44–46.



36. Полєвич, О. В. Розвиток рентгенофлуоресцентного методу аналізу (РФА) для визначення елементного складу різних матеріалів. *Будеущие исследования*. 2012. Софія 2012. Т. 34. С. 67–71.
37. Самохвалова, В. Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. *Studia Biologica*, 2014. Т. 8. №1. С. 217–236.
38. Самохвалова, В. Л. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів *Agroecological journal*, 2015. №1. С. 92–100
39. Сидоренко, С. В. Фіторемедіація ґрунтів, забруднених важкими металами. *Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма IV Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції*, м. Суми, 19-22 квітня 2016 р.: у 2-х ч. Суми: СумДУ, 2016. Ч. 2. С. 56
40. Simon, Franz-Georg. Sustainable Remediation Methods for Metals and Radionuclides. FranzGeorg Simon, Tamás Meggyes *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. 2012. P. 123–127.
41. Stevanović, V. Environmental risk assessment of radioactivity and heavy metals in soil of Toplica region, South Serbia. V. Stevanović, L. Gulan, B. Milenković, A. Valjarević *Environ Geochem Health*. 2018. 40(5). P. 143–147.
42. Dushenkov S. M. Phytoremediation: a novel approach to an old problem. *Global Enviromental Biotechnology Ed. Wise D. Y. Amsterdam : Elserier Science B. V. 1997 P. 563–572.*
43. Гудзь С. П. Практикум з мікробіології: підручник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2014. 436 с.
44. Джура Н. Використання рослин для рекультивації ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами. *Екологія та ноосферологія*. 2006. Т. 17, 1-2. С. 55-60.
45. Джура Н. М. Вплив нафтового забруднення на вміст макро- та мікроелементів у рослинах *Carex hirta* L. *Укр. ботан. журн.* 2007. Т. 64, 1. С. 122-131.
46. Джура Н. М. Можливості використання рослинних тест-систем для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів. *Біологічні Студії / Studia Biologica*. 2011. 5, 3. С. 183-196.

47. Єфремова О. О. Біотестування. Сучасний стан практичного використання. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2006. 6. С.27 – 30.

48. Клименко М. О. Моніторинг довкілля: Підручник. Київ : Видавничий центр “Академія”, 2006. 360 с.

49. Крайнюков О. М. Оцінка екологічної небезпеки нафтохімічного забруднення підземних вод. *Вісн. Харків. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Сер. Екологія*, 2008. 801. С. 52-57.

50. Мірошніченко М. М. Зміни родючості ґрунту при вуглеводневому забрудненні. *Вісник аграрної науки*. 2002. 10. С. 52-54.