

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ,  
ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ Т.В. Дудар  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 101 «ЕКОЛОГІЯ»,  
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ  
«ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»

**Тема: «Оцінка ефективності застосування фітореMediaції ґрунтів на території авіапідприємств»**

Виконавець: студентка групи ЕК-201М Яремчук Лілія Олександрівна  
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри екології Черняк Лариса Миколаївна  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: \_\_\_\_\_  
(підпис)

Кажан К.І.  
(П.І.Б.)

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_  
(підпис)

Явнюк А.А.  
(П.І.Б.)

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра екології

Спеціальність, освітньо-професійна програма: спеціальність 101 «Екологія»,  
ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Дудар Т.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Яремчук Лілії Олександрівни

1. Тема роботи «**Оцінка ефективності застосування фітореMediaції ґрунтів на території авіапідприємств**» затверджена наказом ректора від «26» серпня 2022р. №1132/ст.
2. Термін виконання роботи: з 26.09.2022 р. по 30.11.2022 р.
3. Вихідні дані роботи: характеристика джерел та видів забруднення ґрунтів на територіях аеропортів, методи відновлення нафтозабруднених ґрунтів, характеристика рослин-фітореMediaнтів, дані отримані в ході виконання експерименту.
4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз проблеми хімічного забруднення ґрунтів в аеропортах, аналіз методів відновлення ґрунтів, фітореMediaція (поняття, принципи, порівняння рослин, що використовуються), експериментальне дослідження ефективності фітореMediaції ґрунту, штучнозабрудненого нафтопродуктами.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки, діаграми.

## 6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Затвердження теми дипломної роботи наказом	26.08.2022	
2	Обґрунтування вибору теми	27.08.2022-10.09.2022	
3	Складання календарного плану-графіку	01.10.2022	
4	Опрацювання літературних джерел	05.10.2022-25.10.2022	
5	Збір, систематизація та вивчення матеріалів	10.09.2022-30.10.2022	
6	Обробка та оформлення вихідних даних (зведення таблиць, побудова графіків, оформлення рисунків)	05.11.2022-07.11.2022	
7	Формування висновків	08.11.2022	
8	Оформлення кваліфікаційної роботи згідно чинних вимог діючих стандартів	09.11.2022-16.11.2022	
9	Попередній захист дипломної роботи	15.11.2022	
10	Підготовка до захисту (доповідь, презентація, роздатковий матеріал)	21.11.2022	
11	Захист кваліфікаційної роботи	22.11.2022	

## 7. Консультація з окремого(мих) розділу(ів):

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Кажан Катерина Іванівна к.т.н., доцент кафедри цивільної та промислової безпеки ФЕБІТ НАУ	20 жовтня 2022	20 жовтня 2022

## 8. Дата видачі завдання: «26» вересня 2022 р.

Керівник дипломної роботи (проекту): \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Черняк Л.М  
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання: \_\_\_\_\_  
(підпис випускника)

Яремчук Л.О.  
(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Оцінка ефективності застосування фіторемедіації ґрунтів на території авіапідприємств»: 79 с., 17 рис., 5 табл. , 51 літературне джерело.

Об'єкт дослідження: – фіторемедіація ґрунтів, забруднених нафтопродуктами.

Предмет дослідження – ґрунти, забруднені нафтопродуктами.

Мета роботи: оцінити ефективність застосування фіторемедіації ґрунтів на території авіапідприємств та на прилеглих територіях.

Методи дослідження: аналітичний та експериментальний, аналіз.

ГРУНТИ, НАФТОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ, ВУГЛЕВОДНІ, РЕКУЛЬТИВАЦІЯ, ФІТОЕКСТРАКЦІЯ, ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ, БІОТЕСТУВАННЯ, ФІТОТОКСИЧНИЙ ЕФЕКТ

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....</b>	<b>7</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>8</b>
<b>РОЗДІЛ 1. Аналіз проблеми хімічного забруднення ґрунтів в аеропортах.....</b>	<b>11</b>
1.1. Проблема забруднення ґрунтів в зоні аеропорту нафтопродуктами.....	11
1.2. Наслідки для ґрунтів та ґрунтових вод.....	17
1.3. Висновки до розділу.....	23
<b>РОЗДІЛ 2. Аналіз методів відновлення ґрунтів.....</b>	<b>24</b>
2.1. Механічні методи.....	24
2.2. Фізико-хімічні методи.....	26
2.3. Біологічні методи.....	28
2.4. Методи рекультивації, засновані на інтенсифікації процесів самоочищення.....	33
2.5. Висновки до розділу.....	36
<b>РОЗДІЛ 3. ФітореMediaція.....</b>	<b>37</b>
3.1. Біодеградація ризосфери (ризодегарація).....	37
3.2. Фітостабілізація.....	39
3.3. Фітоекстракція (також фітонакопичення).....	39
3.4. Гідропонні системи для очищення водних потоків (ризофільтрація).....	40
3.5. Фітоволатилізація (Фіто-випаровування).....	41
3.6. Фітодеградація.....	41
3.7. Гідравлічний контроль.....	41
Висновки до розділу.....	46
<b>РОЗДІЛ 4. Експериментальне дослідження ефективності фітореMediaції ґрунту, забрудненого нафтопродуктами .....</b>	<b>48</b>

Висновки до розділу.....	60
<b>РОЗДІЛ 5. Охорона праці.....</b>	<b>62</b>
5.1. Аналіз шкідливих та небезпечних чинників працівника лабораторії.....	63
5.2. Забезпечення параметрів для мікрокліматичних умов робочого місця в лабораторії.....	65
5.3. Рекомендації щодо спец одягу на робочому місці в лабораторії.....	69
5.4. Пожежна безпека.....	70
Висновки до розділу.....	71
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>72</b>
<b>СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ....</b>	<b>74</b>

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

НП – нафтопродукт;

ПММ – паливно-мастильні матеріали;

НДІ – науково-дослідний інститут;

ПАУ – поліциклічні ароматичні вуглеводні;

НС – навколишнє середовище;

ПАР – поверхнево-активні речовини;

ФЕ- фітотоксичний ефект;

ОДК - орієнтовно-допустимі концентрації;

ЗІЗ -засоби індивідуального захисту;

ПЛАС - план ліквідації аварійних ситуацій.

## ВСТУП

*Актуальність теми.* На сьогодні нафта та нафтопродукти визнаються одним з найбільш небезпечних для навколишнього середовища видів забруднення. Їх згубний вплив на ґрунт і рослинність, повітря, поверхневі та підземні води, екосистеми та здоров'я людини відзначається на всіх етапах промислового видобутку та використання цих продуктів, включаючи буріння, обробку, зберігання, транспортування та утилізацію.

При нинішньому розвитку авіаційної галузі, великій кількості повітряних суден, величезних площах, зайнятих аеропортами та обслуговуючими їх службами, вона займає не останнє місце серед основних джерел забруднення навколишнього середовища (НС) та його компонентів нафтопродуктами.

Деградація ґрунтів і рослинного покриву в зонах розташування аеропортів та на прилеглих до них територіях є однією з важливих екологічних проблем сучасної авіаційної галузі.

При потраплянні до ґрунту, нафтопродукти змінюють його фізико-хімічні властивості, зменшують видове різноманіття мікроорганізмів та рослин, пригнічують розвиток бактеріальної мікрофлори та нітрифікуючу здатність, порушують загальний баланс речовин.

У зв'язку із високою хімічною природою, високою стійкістю до дії факторів навколишнього середовища нафтопродукти погано розкладаються у ґрунті, тому його природне самоочищення є довготривалим, залежним від кліматичних та фізичних факторів та проходить лише в тонкому поверхневому шарі, який повністю насичений киснем.

Відомі традиційні методи відновлення нафтозабруднених ґрунтів є затратними, технічно-складними, можуть несли шкоду для властивосте ґрунтового шару а також мають ризик вторинного забруднення НС. Тому існує потреба у розробці екологічно безпечних альтернативних методів очищення.

Одним із таких методів є фітореMediaція, заснована на використанні здатності



деяких видів рослин до видалення, перенесення, стабілізації та/або знищення забруднюючих речовин у ґрунті та ґрунтових водах.

***Мета і завдання виконання дипломної роботи.***

Мета роботи: оцінити ефективність застосування фітореMediaції ґрунтів на території авіапідприємств та на прилеглих територіях.

***Завдання роботи:***

1. Проаналізувати проблему хімічного забруднення ґрунтів в аеропортах,
2. Проаналізувати методи відновлення ґрунтів,
3. Дослідити рослини, які використовуються у методі фітореMediaції ґрунтів
4. Експериментальне дослідження ефективності фітореMediaції ґрунту, забрудненого нафтопродуктами

***Об'єкт дослідження*** – фітореMediaція ґрунтів, забруднених нафтопродуктами.

***Предмет дослідження*** – ґрунти територій авіапідприємств, забруднені нафтопродуктами.

***Методи дослідження*** – аналітичний, експериментальний, аналіз.

***Наукова новизна отриманих результатів.*** Встановлено ефективність використання вівса посівного, вики звичайної та гірчиці білої для фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів у зона аеропорту.

***Практичне значення отриманих результатів.*** Підібрані види рослин можуть використовуватися для фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів територій авіапідприємств та на прилеглих до них територіях.

***Особистий внесок випускника:*** проаналізовано науково-технічну літературу, за допомогою методу біотестування (з використанням салату) та фітореMediaції ґрунтів експериментально досліджено ефективність використання вівса посівного, вики звичайної та гірчиці білої для зниження рівня фіто токсичності ґрунту.

***Апробація отриманих результатів.***

- Черняк Л.М., Павлова М.С., Гречаний Д.О., Яремчук Л.О. Аналіз сучасного стану проблеми хімічного забруднення ґрунтів на території аеропорту. Екологічна безпека та технології захисту довкілля. 2021. №3. – С. 52-56.

- Черняк Л.М., Яремчук Л.О., Міхєєв О.М., Дмитруха Т.І., Лапань О.В.

Відновлення нафтозабруднених ґрунтів шляхом фіторемедіації. – Київ: Національний авіаційний університет, 2022. ВСЕСВІТНІЙ КОНГРЕС "АВІАЦІЯ У ХХІ СТОЛІТТІ – Безпека в авіації та космічні технології »

- Л.М. Черняк, О.М. Міхеев, Л.О. Яремчук Гіперкомпенсаторний ростовий процес проростків салату *Lactuca sativa*, спричинений термообробкою його насіння. Міжнародна наукова конференція «Стрес і адаптація рослин»: збірник матеріалів. – Харків : Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва, 2021. – 56 с. ВСЕСВІТНІЙ КОНГРЕС "АВІАЦІЯ У ХХІ СТОЛІТТІ"

- Л.М. Черняк, Л.О. Яремчук, Аналіз адаптивних реакцій рослин на абіотичні стресові чинники. XV Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 22 квітня 2021 р.) – 103 с.

### ***Публікації.***

Також результати роботи були представлені на Всеукраїнських наукових конкурсах, де були отримані наступні відзнаки:

- диплом I ступеня Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт в галузі «Нафтова та газова промисловість» 2019/2020 н.р. (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ);

- диплом III ступеня Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт в галузі «Нафтова та газова промисловість» 2020/2021 н.р. (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ);

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ В АЕРОПОРТАХ

### 1.1. Проблема забруднення ґрунтів в зоні аеропорту нафтопродуктами

Авіаційна галузь впливає на екологічний стан ґрунту в першу чергу в зонах розташування аеропортів. Комплекси великих аеропортів розташовуються на площах в десятки квадратних кілометрів. Окрім цього, через шумове та хімічне забруднення НС, територія прилегла до аеропорту в радіусі кілометра і більше є обмежено придатною для використання.

Головні джерела забруднення навколишнього середовища - це авіаційно-технічні бази, спецавтотранспорт, повітряні судна, , авіаремонтні майстерні, склади ПММ об'єкти управління повітряним рухом, авіаційно-хімічні роботи, а також забруднення внаслідок цих робіт. Аеропорт є основною виробничою одиницею галузі і зосереджує головний комплекс авіаційно-транспортних робіт, тому може розглядатися як цілісне джерело шкідливих факторів.

Ґрунтове середовище піддається найбільшому прямому забрудненню нафтопродуктами.

Під забрудненням ґрунту мають на увазі зміну його фізико-хімічного складу внаслідок внесення речовин, що є шкідливими для живих організмів (бактерій, мікроорганізмів, грибів, членистоногих та ін.), а також рослинного покриву і тваринного світу, здоров'я людини. Виснаження ґрунтового профілю - це зниження родючості, зменшення вмісту поживних речовин, зменшення шару гумусу, порушення структури ( грудкуватості, проникності тощо).

Рослини контактують із ґрунтом безпосередньо. Прямий вплив забруднень, яка потрапляють у ґрунт, на людину може бути лише в окремих випадках: при потраплянні землі на рану, роботі в умовах значної запиленості, сильного забруднення харчових продуктів. Як правило, небезпечні поллютанти потрапляють у живі організми

через ланцюги живлення "грунт-рослини-людина" і "грунт-рослини-тварини-людина".

Грунт, ґрунтові води, поверхневі водойми, забруднюються виробничими і поверхневими стоками дощових, поливальних і талих вод із забруднених територій аеропорту. Поверхневий стік із території аеропорту, насамперед зі злітно-посадкової смуги, руліжних доріжок і стоянок транспорту, забруднений нафтопродуктами та хімічними реагентами, застосовуваними для боротьби зі зледенінням, а також різними хімічними сполуками, які утворюються під час роботи двигунів.

Результати досліджень в аеропортах Даллас, Вашингтон, Чикаго і Канзас-Сіті, проведених американськими фахівцями, показали, що в цих аеропортах поблизу перонів, місць стоянки, а також у місцях розміщення майстерень та ангарів щорічно в ґрунт надходить до 36 т різноманітних речовин, зокрема вуглеводнів, хімічних сполук для миття літаків, протижелезних засобів, органічних та мінеральних олій, фенолів та ін. Особливо значне забруднення ґрунту відбувається внаслідок витоків і проливання палива. Так, наприклад, частка вуглеводнів у загальному обсязі забруднення ґрунту в аеропорту Чикаго становила 75-80 %. Велика кількість забруднюючих продуктів потрапляючи у ґрунт поширюється в ньому на великі відстані разом із ґрунтовими та поверхневими водами, порушуючи при цьому нормальну життєдіяльність ґрунтів, а також забруднюючи підземні води та поверхневі водойми. Дослідження, що були проведені НДІ охорони вод, показали, що поверхневий сток з території аеропорту характеризується дуже високим вмістом домішок, що є шкідливими для ґрунтів і водойм речовин: нафтопродуктів, етиленгліколю, органічних домішок, амонійного азоту тощо [1].

У результаті досліджень, виконаних Інститутом мінералогії, геохімії та рідкоземельних елементів, навколо аеропортів у ґрунтах виявлено підвищений вміст елементів, не властивих даним геохімічним регіонам.

Ці зони хімічного забруднення розповсюджуються на значні відстані від місць надходження в НС. Також встановлено, що хімічні елементи накопичуються у донних відкладеннях водойм та у рослинах, що ростуть на прилеглих до аеропорту територіях .

Досліджено також вплив викидів ПАУ авіаційними двигунами на ступінь забруднення ґрунту. Значний викид бензопірену двигунами літаків спостерігається під час зльоту та посадки. Найбільші концентрації у ґрунті виявлено в районі злітної смуги.

Значну роль у нафтовому забрудненні відкритих водойм і підземних вод відіграють склади ПММ. Ці забруднення формуються з витоків під час зберігання, зливу-наливних операцій з нафтопродуктами та транспортування, промивних вод від очищення та промивання трубопроводів і резервуарів, відстояної води з резервуарів.

ПММ, які проливаються на поверхні води, спочатку утворюють розводи, потім плівки. Ці плівки емульгуються і піддаються біологічному розкладанню та можуть осідати після окислення. ПММ, пролиті на воді, видаляють використовуючи бар'єри (планки, гнучкі трубки), сорбенти, реагенти, що зв'язують ПММ, скребкові пристрої тощо.

ПММ головним чином проникають у ґрунт під дією сили тяжіння і поверхнево-активних сил. Їх поширення залежить від властивостей речовини (в'язкості, густини, змочувальної здатності, вмісту і типів присадок та інших властивостей), виду та структури підґрунтового шару, гідрологічних умов. Капілярність і проникність – це фізичні параметри, які характеризують осадові гірські породи, залежать від гранулометричного складу та об'ємної густини. Непористі породи характеризуються ущелинами, тріщинами, карстовими явищами та відшарованими поверхнями. Проникність ґрунту чи породи, що характеризує швидкість просочування і бічне поширення ПММ, становить від 10,2 до 10,5 м/с для водонасичених осадових порід і знижується зі зростанням вмісту води в породі. Під час просочування ПММ у ґрунт утворюється певний "об'єм" забруднення, форма і розмір якого залежать від вище перелічених чинників.

В залежності від хімічної структури (ароматичні вуглеводні, парафіни, нафтени), вмісту гетероорганічних сполук та присадок, молекулярної маси кисень і мікроорганізми(бактерії, грибки) на ПММ впливають по-різному. В аеробних умовах швидкість розкладання залежить від вмісту мінеральних солей та мікроелементів, величини рН та температури. У випадку, коли вуглеводні розчинені у воді, швидкість

їхнього розкладання визначається хімічною структурою і вмістом кисню у воді. Олефіни й ароматичні сполуки окислюються до кисневмісних сполук (спиртів, фенолів, кетонів, карбонових кислот) у порівняно короткий термін. Під час біологічного розкладання вуглеводнів витрачається кисень з утворенням аміаку, сірководню і солі двовалентного заліза та марганцю в відновлювальних умовах, що склалися.

Природне самоочищення ґрунту залежить від природно-кліматичних умов і потребує щонайменше 5-10 років, а в умовах Крайньої Півночі та Сибіру - 15-20 років, оскільки низькі температури у цих районах сповільнюють біологічні процеси. Нафтопродукти розтікаються по лінзі вічної мерзлоти, в результаті чого порушується температурний баланс і газообмін, мерзлота тоне, структура ґрунту змінюється. У підсумку руйнуються і без того крихкі екологічні зв'язки ґрунтового життя, а слідом за ними і весь біоценоз району тундри.

Нафтопродукти, що потрапляють у ґрунт, змінюють його фізико-хімічні властивості (водно-повітряний, окислювально-відновний повітряний та окисно-відновний режим, мікроелементний склад), зменшують видове утворення мікроорганізмів, пригнічують розвиток бактеріальної мікрофлори та нітрифікуючу здатність, порушують баланс речовин тощо. Надлишок органічних вуглеводневих речовин, що надходять із нафтопродуктами в ґрунт, змінює нормальне співвідношення вуглецю й азоту, а також призводить до дефіциту кисню, фосфору.

У нафтозабруднених ґрунтах, виникають такі різноспрямовані процеси: мікробіологічна деструкція бітумінозних речовин та їх фізико-хімічне вивітрювання, внаслідок чого відбувається поступове розкладання нафтопродуктів і взаємодія бітумінозних речовин із ґрунтовими органічними сполуками, що призводить до перебудови ґрунтового складу гумусу та часткового закріплення в ґрунтах привнесеного органічного вуглецю. Інтенсивність тих чи інших процесів варіюється залежно від особливостей місцевих ландшафтно-геохімічних умов.

Встановлено, що у ґрунтах важкого механічного складу, окрім реальної загрози надлишкового накопичення забруднюючих речовин внаслідок високої сорбційної здатності ґрунтів, за умов пересіченого рельєфу та надлишкових опадів виникає

небезпека забруднення місцевих водойм та заплав річок. Ґрунти легкого механічного складу, що мають невисоку поглинальну здатність і високу водопроникність, меншою мірою схильні до забруднення нафтопродуктами, ніж суглинні. На піщаних ґрунтах зростає небезпека забруднення рухомими компонентами ґрунтово-ґрунтових вод.

Біологічні властивості ґрунту можуть змінюватися залежно від кількості нафтопродуктів, які потрапляють у ґрунт. При вмісті НП в ґрунті 100-200 т/га життєдіяльність усіх досліджуваних мікробних груп стимулювалася, а при підвищенні до 400-1000 т/га біологічна активність ґрунтів пригнічувалася, відбувалося зниження росту та розвитку мікроорганізмів, рівня ферментів та інтенсивності газообміну ґрунту.

Наслідки забруднення ґрунту різними хімічними сполуками різноманітні. По-перше, наявність у ґрунті цих речовин, багато з яких є біологічно активними та хімічно агресивними, може порушувати процеси нормальної життєдіяльності ґрунту, негативно впливати на організми, які в ньому мешкають, гальмувати, прискорювати або змінювати їх життєвий цикл.

По-друге, вони можуть накопичуватися у водоймах, водоростях і рослинах і потрапляти в організм тварин і людей по харчовому ланцюгу. Третє – надходити у відкриті водойми та підземні води, а разом з водою – потрапляти в організм тварин і людей. Нарешті, по-четверте, певна їх кількість потрапляє в атмосферу у вигляді парів і пилу, переноситься на значні відстані і рано чи пізно також потрапляє до живих організмів. У будь-якому випадку, забруднюючі речовини мігрують та включаються в життєвий цикл організмів у складних транспортних процесах, які в кінцевому підсумку ставлять під загрозу все життя на Землі.

Необхідно ретельно вивчити вплив промислово-господарської діяльності в аеропортах на стан ґрунту, ґрунтових вод і водойм і вжити заходів для запобігання забрудненню ґрунту. Перш за все, необхідне раціональне використання та запобігання витоку шкідливих хімічних речовин, таких як авіаційне паливо та мастило, правильний збір та транспортування відпрацьованих нафтопродуктів, збір, очищення та утилізація забруднених стічних вод. Поверхневий стік із великих територій аеропортів із значною кількістю повітряного руху містить відносно високі

концентрації шкідливих домішок. Джерела забруднення поверхневого стоку розподілені в межах аеропорту нерівномірно, тому в першу чергу необхідно забезпечити чистоту стоку в зонах технічного обслуговування літаків, спецавтотранспорту та інтенсивного руху аеропортового обладнання.

Стічні води зі складів ПММ перед скиданням у каналізацію повинні проходити очищення в нафтових пастках або флотаційних установках.

Важливе значення має боротьба авіапідприємств з ерозією ґрунту, зокрема дернування та озеленення територій, які схильні до загрозованої ерозії, обладнання місць випробування та гонки двигунів спеціальними щитами.

Мікробний розпад нафти і нафтопродуктів вивчався з метою розробки методів очищення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. Розкладання органічної речовини, що надходить у ґрунт, включає два основних етапи - мінералізацію і гуміфікацію. Результатом першої фази є поступове зникнення органічних сполук і утворення мінеральних сполук у біологічному кругообігу. Друга фаза завершується збереженням стійких до розкладання органічних речовин і новоутворених гумінових сполук. Біохімічний процес розкладання органічних речовин у ґрунті відбувається за безпосередньої участі біокаталізаторів – мікробних ферментів [1].

На швидкість розкладання НП у ґрунті впливають різні фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунту, кліматичні умови, а також хімічний склад самих нафтопродуктів.

За швидкістю розкладання в ґрунті органічні речовини можуть бути розділені на 3 групи:

- ті, що руйнуються порівняно легко і не утворюють у ґрунті стійких продуктів перетворення (а-нафтол, фенол, тимол, крезол та ін.);
- речовини стійкі в ґрунті (а-нафтиламін та ін.);
- речовини, які утворюють довгоживучі, стійкі в ґрунті продукти перетворення (індол, п- і о-толуїдин та ін.).

Для активізації мікробного процесу розкладання нафтопродуктів і прискорення самоочищення ґрунту ефективним засобом є внесення в ґрунт розчинних азотних і фосфорних добрив, при сильному забрудненні — поверхнево-активних речовин. Для



рекультивациі забруднених нафтопродуктами ґрунтів доцільними вважають такі методи: механічне очищення, захоронення та спалювання, агротехніка та біоремедіація, використання диспергаторів та підсилювачів мікробного розкладання нафтопродуктів.

Наслідком забруднення ґрунту нафтопродуктами є забруднення підземних вод. Особлива увага повинна бути приділена захисту водозаборів підземних вод.

## **1.2. Наслідки забруднення для ґрунтів та ґрунтових вод**

Нафта – є складною сумішшю органічних сполук: алканів (парафінів, ациклічних насичених вуглеводнів), деяких циклоалканів та ароматичних вуглеводнів різних за молекулярної масою, а також кисневих полук, сірки та азоту. Типовими забруднювачами для нафтовидобутку, є вуглеводні (48%), окис вуглецю (32%) та тверді речовини (20%).

Нафта та НП визнані у всьому світі як основні забруднювачі. Їх негативний вплив на ґрунт і рослинність, повітря, поверхневі та підземні води, екосистеми та здоров'я людини спостерігався на всіх етапах промислового використання цих продуктів, включаючи буріння, обробку, зберігання, транспортування та утилізацію [4].

Ґрунт є одним із реципієнтів нафтового забруднення. Забруднення ґрунтів тісно пов'язане зі зростанням негативного впливу шкідливих речовин на тварин і рослини. В процесі розробки нафтових і газових родовищ ґрунти забруднюються нафтою, НП, хімічними речовинами та високомінералізованими стічними водами.

Основними причинами погіршення екологічної ситуації у районах видобутку нафти та нафтопереробних заводів є випадкові розливи НП через технічне зношення обладнання та виникнення аварійних ситуацій, тому таку можливість виключати не можна. Отже, зменшення впливу людини на навколишнє середовище досягається комплексно – заходами профілактики НС та сучасними методами усунення їх наслідків.

Більшість аварійних розливів нафти (89-96%) завдають серйозної та

незворотної шкоди природним біоценозам. Поблизу нафтопроводу є ділянки, на яких рослинний покрив постійно порушений. У трубопроводі ширина зони пошкодження для однієї магістральної нитки коливається у межах від 40 до 400 м. Під час потрапляння у ґрунт нафта і НП розподіляються по-іншому, ніж, наприклад, у водному середовищі.

У водному середовищі НП утворюють тонку плівку і далі емульсії, а якщо попадають у ґрунт, то вони проникають глибоко від поверхні. За рахунок капілярних сил вони всмоктуються ґрунтом та утримуються в такому стані довгий час, що призводить до зниження родючості ґрунту.

Якщо концентрація нафтопродукту зростає до рівня, який спричиняє порушення екологічної рівноваги в ґрунтовій системі, змінює характеристик ґрунтових горизонтів, зміни водно-фізичних властивостей ґрунтів, знижує родючість, то такий ґрунт можна назвати забрудненим.

Через забруднення НП, концентрація кисню у ґрунтовому покриві зменшується, порушується баланс вмісту органічних речовин. Це призводить до зміни поживного, водного та повітряного режимів, порушується кореневе живлення рослин, відбувається некроз, що унеможлиблює здійснення фотосинтезу.

Підвищення концентрації вуглеводнів призводить до їх акумуляції. Вони повільно розкладаються, а в процесі руйнування виділяють шкідливі утворення, такі як ароматичні вуглеводні, смоли, що закупорюють капіляри ґрунту.

При достатньо значній кількості пролітої нафти вона може потрапляти у поверхневі та ґрунтові води. При цьому територія на тривалий час вилучається із господарського використання, створюється висока пожежна небезпека.

Характерною рисою для усіх ґрунтів, забруднених нафтою є зміна кількості та різноманітності мікрофлори та мікрофауни в них. [13,14]

Відповідні типи реакції ґрунтових організмів на забруднення неоднозначні:

- відбувається масова загибель ґрунтової мезофауни. Через три дні після аварії велика кількість ґрунтових тварин повністю зникає або становить не більше 1% контролю. Для них найбільш токсичним є легкі фракції нафти;
- ґрунтові мікроорганізми після короткочасового інгібування реагує на нафтове

забруднення підвищенням валової чисельності і підсиленням активності. Відбувається розвиток «спеціалізованих» груп, які на різних етапах приймають участь в утилізації вуглеводнів;

- в період розкладання нафти і НП у ґрунтах загальна кількість мікроорганізмів наближається до фонових значень, але кількість нафтоокислювальних бактерій ще тривалий час перевищує ті ж групи в незабруднених ґрунтах;

- зміна екологічного стану призводить до погіршення активності процесу фотосинтезу, яке здійснюється рослинними організмами. Це негативно впливає на розвиток ґрунтових водоростей, а саме: від їхнього часткового пригнічення та заміни одних груп іншими до випадання окремих груп або повної загибелі всіх водоростей;

- змінюється процес фотосинтезу у вищих рослин;

- на забруднених ґрунтах зменшується активність значної кількості ґрунтових ферментів.

Природний процес регенерації біогеоценозів в забруднених районах відбувається повільно, і швидкість формування екосистем на різних рівнях також різна. Формування тваринних сапрофітних комплексів відбувається набагато повільніше, ніж у мікроорганізмів та рослинності.

Самоочищення компонентів НС від нафти та НП – це біохімічний процес, який поступово трансформує забруднюючі речовини і пов'язаний із поступовим відновленням біогеоценозу. До найпоширеніших етапів трансформації нафти та НП належать [10-12]:

- розкладання аліфатичних вуглеводнів;

- розкладання різних типів низькомолекулярних структур;

- перетворення високомолекулярних сполук – смол, асфальтенів, поліциклічних вуглеводнів.

Відповідно до етапів біодеградації нафти здійснюється відновлення біоценозів.

Внаслідок природних процесів, таких як випаровування, розчинення, утворення емульсій, поглинання живими організмами та випадання в осад, склад нафти постійно змінюється внаслідок розкладання та транспортування різних компонентів нафти.

Протягом декількох днів через випаровування летких компонентів зникло 25% нафтової плями. При тій же температурі низькомолекулярні компоненти в основному видаляються з нафтової плями шляхом розчинення, і швидкість розчинення ароматичних речовин швидша, ніж у парафінів. Основним абіотичним фактором перетворення ароматичних вуглеводнів, який важко знищити, є ультрафіолетове випромінювання. Фотохімічний процес може навіть розкласти найбільш стабільні поліциклічні вуглеводні протягом декількох годин. У ґрунті цей процес може здійснюватися лише на його поверхні.

Завдяки біохімічному окисленню бактерій, що містяться в ґрунті, ґрунтових розчинах та природній воді, компоненти природного середовища можуть самоочищатися від нафти та НП. Порівняно з процесом випаровування та розчинення, біохімічний (мікробний) вплив бактерій, грибів та інших мікроорганізмів на компоненти нафти набагато ширший і охоплює різноманітні речовини. Однак жоден мікроорганізм не може знищити всі компоненти сирої нафти. Вплив бактерій характеризується високою селективністю, а повне розкладання всіх компонентів нафти вимагає впливу різних бактерій. Це утворює багато проміжних продуктів, для знищення яких потрібні власні організми. [15]

Парафінові вуглеводні найлегше розщеплюються бактеріями. Більш стабільні циклоалкани та ароматичні вуглеводні зникають із НС набагато повільніше [16-18].

Самоочищення відбувається головним чином за рахунок розкладання нафти та НП, що містяться у воді або ґрунтових розчинах у розчинній формі. Швидкість розкладання є функцією фізичних параметрів середовища. Ці параметри включають температуру. Процес біохімічного окислення протікає з поглинанням кисню, тому процес самоочищення від нафти та НП відбувається лише в тонкому поверхневому шарі, які повністю насичені киснем.

Здатність ґрунту очищуватися набагато зменшується. Тому, коли ґрунт сильно забруднений нафтою та НП, єдиним способом відновлення ресурсного потенціалу району є, як правило, механічне видалення – заміна забрудненого ґрунту імпортом чистим ґрунтом.

Оскільки ґрунт забруднений нафтою та НП, його самоочисна здатність

руйнується, а фізичні та фізико-хімічні властивості ґрунту зазнали значних змін. Зокрема, внаслідок руйнування структури ґрунту та розпорошення ґрунтових частинок зменшується водопроникність ґрунту та порушується спосіб фільтрації ґрунту. У забрудненому ґрунті відношення вуглецю до азоту різко зростає за рахунок вуглецю нафти. Це погіршує азотний режим ґрунту та руйнує кореневе живлення рослини [9].

Природні екосистеми можуть самоочищатися завдяки фізичним, хімічним та мікробіологічним процесам, що руйнують вуглеводні, а вони дуже руйнівні. Однак, якщо джерело забруднення не вдається усунути вчасно, нафта та НП в ґрунті накопичуватимуться та спричинять негативні зміни у водної екосистемі, ґрунті та рослинності.

Нафта може перетворюватися в більш токсичні сполуки, які акумулюються в ґрунті. Забруднений ґрунт може стати джерелом отруйних речовин в організмі людини через поживний ланцюг: ґрунт-рослина-їжа; ґрунт-підземні води-людина; ґрунт-атмосфера-люди, які збільшують ризик появи екологічно зумовлених захворювань.

Аварійні розливи нафти та НП на землю (більше 10 л /м<sup>2</sup>) є особливо небезпечними. У цьому випадку концентрація НС у ґрунті досягає значення, при якому починають відбуватися негативні зміни у НС, а саме: загибель рослин або зниження продуктивності, морфологія ґрунту, зміна гідрофізичних властивостей та родючість ґрунту, вимивання небезпечних НП із ґрунту та їх розчинення у воді призводять до забруднення підземних та поверхневих вод.

Зважаючи на відмінності у технології виробництва та складі вуглеводнів та компонентів, рівні токсичності НП також різні.

Його можна розташувати в порядку збільшення токсичності: бензин, авіаційний керосин, дизель, моторна олива.

Серед досліджуваних НП найбільш токсичним є моторне масло, яке має прямий контакт і є менш токсичним – дизель, авіаційний керосин та бензин.

Токсичність обумовлена природою речовини: бензин є найбільш летким і має найбільш швидкий ефект. Для токсичної дії концентрація дизельного палива повинна бути вища. Моторне масло є найбільш токсичним, але завдяки своїй високій в'язкості

та низькому випаровуванню воно може бути ефективним лише у разі безпосереднього контакту з живими організмами.

Вплив вуглеводнів нафти на ґрунт багато в чому залежить від його фізико-хімічних характеристик. У ґрунті, забрудненому нафтопродуктами, відбуваються геохімічні та структурні зміни: частинки ґрунту, просочуючись нафтою, стають гідрофобними і не пропускають у ґрунт воду та повітря, що позначається на нормальному функціонуванні ґрунтових мікроорганізмів, рослин і тварин.

У разі потрапляння в ґрунт нафти відбуваються зміни морфології ґрунтового профілю, які можуть супроводжуватися повною деградацією окремих генетичних горизонтів вихідних ґрунтів аж до зникнення їхніх первинних ознак.

У нафтозабрудненому ґрунті відзначається загальна тенденція збільшення потужності гумусового профілю. Загальна кількість вуглецю в ґрунті при цьому зростає, проте він не може бути використаний для росту й розвитку рослин, оскільки значна частина його міститься у формі фракцій нафти та гуміну, які важко гідролізуються. Крім того, нафта, потрапляючи в ґрунти і води, привносить із собою чужий їм набір хімічних сполук, що порушує сформований в екосистемах геохімічний баланс. Ці порушення виникають унаслідок зміни фізичного стану середовища, порушення його водно-повітряного режиму, привносу інгібіторів, діяльності компонентів біоценозу, зміни міграційної здатності мікроелементів у ґрунті, засолення ґрунтів супутніми солоними пластовими водами й утворення бітумінозносолончаккових ареалів.

Іншою важливою характеристикою ґрунту є нафтоємність. Найбільшу нафтоємність мають тундрові та болотисті ґрунти завдяки їхнім торф'янистим горизонтам.

Вплив НП на здоров'я людини. Токсичність нафти, НП та газу, що виділяються, головним чином визначаються поєднанням деяких вуглеводнів (ароматичних вуглеводнів, фенолу). Важкий бензин більш токсичний, ніж легкий бензин, а токсичність вуглеводневих сумішей вища, ніж токсичність окремих компонентів. Під час переробки сірчаної нафти токсичність НП значно зростає. Найбільш шкідливим для людського організму є суміш вуглеводнів та сірководню. У цьому випадку

виявлення токсичності відбувається швидше, ніж при ізольованому їх впливу.

### **1.3. Висновки до розділу**

Найбільше нафтове забруднення впливає водні та наземні екосистеми, особливо ґрунти.

Нафта та нафтопродукти є багатокомпонентними та мінливими, що визначає різноманітність їх негативного впливу на ґрунт. Основними механізмами деградації ґрунту під час забруднення нафтою: токсичні компоненти безпосередньо пригнічують біологічні процеси; важкі вуглеводні роблять поверхню гідрофобною, зменшуючи вміст вологи в ґрунті та перешкоджаючи поглинанню поживних речовин.

Через високу адсорбційну здатність ґрунту НП довго зберігаються в ґрунті, змінюючи тим самим свої фізичні, хімічні та біологічні властивості, а також властивості ґрунтів:

- спричиняють зміни у морфології ґрунтів, хімічних, фізичних та біологічних властивостях та зміни структури ґрунтового профілю;
- порушують екологічний баланс ґрунтової системи;
- руйнують природні взаємозв'язки між окремими групами та компонентами органічної речовини ґрунту;
- просочуються у підземні води та забруднюють їх;
- поширюються по харчових ланцюгах та шкодять здоров'ю людей та тварин.

## **РОЗДІЛ 2**

### **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ**

Існує декілька методів відновлення ґрунтів, що забруднені нафтопродуктами – механічні, фізико-хімічні, біологічні та комплексні. Застосування того чи іншого методу залежить від умов регіону, характеру і ступеня забруднення [47].

**Механічні методи.** Полягають у зборі нафти / нафтопродуктів з поверхні ґрунту. Відновлення ґрунтів відбувається шляхом локалізації розливу дамбами, збору нафти / нафтопродуктів за допомогою шнекових, всмоктуючих, переливних пристроїв, зрізання забрудненого шару ґрунту та заміни його привозним ґрунтом (шаром 25-30 см). Забруднений ґрунт очищують на спеціалізованих підприємствах.

**Фізико-хімічні методи.** Засновані на використанні сорбентів для збору нафти і нафтопродуктів із поверхні ґрунту. Цей метод ефективний при зборі невеликих кількостей забруднювача. При великих виливах він може використовуватися на етапі "дозбирання" після збору забруднювача механічним методом.

**Біологічні методи.** Засновані на інтенсифікації процесів самоочищення ґрунту шляхом внесення спеціальних біологічних препаратів (Біоактиватор HYDROBREAK 2000, Препарат BIOVERSAL FW, Біопрепарат "Мікроміцет", біопрепарати типу "Нафтокс", "Екобіос", "Сойлекс"), які являють собою певним чином підібрані групи мікроорганізмів (бактерій і грибів).

**Комплексні методи.** Являють собою сукупність засобів для поліпшення стану ґрунтів і усуненню забруднення, що полягають у застосуванні комплексу змеханічних, фізико-хімічних і біологічних методів відновлення разом з агротехнічними і фітомеліоративними роботами.

#### **2.1. Механічні методи**

Всі роботи по відновленню ґрунтів поділяють на категорії *ex situ* та *in situ*. До перших входять обов'язкове видалення забрудненого ґрунту та його подальше перевезення на майданчик складування і обробки.



Екскавація дозволяє використовувати складніші, швидші і ефективніші методи очищення, проте такі технології не прийнятні при великих площах важкодоступності та забруднення ділянки. До того ж, вилучення земель викликає спотворення морфологічної структури території що оброблюється і порушення течії поверхневих і ґрунтових вод, а під час вилучення і транспортування забруднених ґрунтів на працівників, що залучені в роботу, можливий негативний вплив нафти і нафтопродуктів.

Технологія «in situ» застосовується безпосередньо на місцях забруднень, і забезпечується істотна економія коштів і знижується ризик впливу поллютантів на навколишнє середовище і людей під час видалення і перевезення ґрунтів. Основною складністю при використанні таких прийомів є гетерогенна природа ґрунту ділянки, що очищується, з геологічної точки зору, і з точки зору розповсюдження забруднення [48].

Рекультивацію забруднених нафтою земель рекомендується проводити послідовно в два етапи: технічний і біологічний.

Технічний етап рекультивації ґрунту після розливу нафти означає комплекс робіт по максимальному стримуванню розповсюдження забруднення, а також організації ландшафту і рельєфу порушеної території (в т.ч. вирубка рослинності), що дозволяє максимально оперативно провести роботи по усуненню аварійної ситуації та рекультивації порушених ґрунтів. Стримування поширення нафти здійснюють за допомогою таких технологічних способів як обвалування; установка бар'єрів, дамб, гідрозатворів, що обгороджують канали, які можуть застосовуватися на заболочених територіях, а також на землях з розвиненою мережею поверхневих водойм; збір нафти з поверхні ґрунту за допомогою спеціальних засобів, механізмів і машин (ці способи часто називають механічними способами очищення забрудненого нафтою ґрунту). Також, для купірування розливів використовують хімічні препарати: емульгатори для створення емульсій з метою диспергування нафти і прискорення її розкладання; отверди для додання їй густої консистенції і подальшого механічного видалення; миючі засоби для змивання нафтових плівок і плям з забруднених ділянок. В результаті застосування хімічних засобів відбувається значне скорочення площі

розливу (Потовщення плівки), затвердіння нафти (гелеутворення), перетворення її в резиноподібного масу, легко видаляється механічними засобами. Таке загущення дозволяє надійно локалізувати на землі нафтова пляма.

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.

## **2.2. Фізико-хімічні методи**

Крім механічних методів очищення застосовують фізико-хімічні методи, до яких входять: промивання землі із застосуванням поверхнево-активних речовин (ПАР); вентиляцію ґрунту використовуючи дренажні системи; сорбцію термічні десорбції і деструкцію, в процесі яких відбувається випарювання вуглеводнів електрохімічну обробку з використанням заглибних електродів, на які осідають забруднюючі речовини; екстракцію забруднювачів летючими розчинниками у промивних барабанах із подальшим відгоном залишків розчинників паром; очистку ультразвуком, що викликає кавітацію, під впливом якої тверді частинки віддаляються з поверхні ґрунту.

*Термічний метод*, або метод спалювання, включає обробку ґрунту забрудненому нафтопродуктом шляхом випалу у спеціальних печах. Найбільш прийнятною технологією цього методу є спалювання при високій температурі у обертової печі, яка містить камеру допалювання, системи утилізації тепла і багатоступінчастої очищення топкових газів. На початку процесу в млині за допомогою проходу через нього горючих газів здійснюють подрібнення і сушку

забрудненого ґрунту, отримуючи фракції розміром 0-10 мм. При чому значна частина їдких речовин переходить в газову фазу. Після сушіння ґрунт спільно з газовою фазою обробляється при 1000- 1200 ° С. За допомогою циклонного сепарування матеріал відокремлюється від газової фази, яка повертається в цикл для повного розкладання отруйних речовин. Після знезараження ґрунт відводять на попереднє місце.

Розроблено методи очищення ґрунту від нафтопродуктів на місці (без перенесення до печі для спалювання) шляхом нагріву або шляхом «прямого» випалювання.

При використанні методу підігріву в ґрунті роблять витіснювальні свердловини, через які забруднений ґрунт прогривають або непрямим підігрівом, або прямою подачею газоподібних продуктів згоряння або їх суміші з повітрям. Утворюваний в результаті технологічний газ піддають додатковому спалюванню при дуже високих температурах.

«Пряма» випалювання ґрунту може здійснюватися як без її виїмки, так і з виїмкою. В теперішній час використання цього способу заборонене, через потрапляння в атмосферу шкідливих продуктів сублімації та неповного окислення вуглеводнів [26].

Основними перевагами термічного методу є висока інтенсивність процесу, ефективно вигорання вуглеводнів, можливість застосування при високих рівнях забруднення. До недоліків методу відносять:

- потреба в спеціальному обладнанні і великій кількості енергії;
- високі капітальні витрати на будівництво печі і багатоступінчастої системи очищення топкових газів, так як спалювання супроводжується інтенсивним утворенням мікрочастинок;
- велика кількість відходів, що утворилися після термічної обробки ґрунту в зв'язку з необоротністю змін при спалюванні;
- тривалі терміни природного відновлення ґрунту;
- освіту канцерогенних речовин при пірометричних процесах.

Основою *хімічного методу* зниження концентрації нафтопродуктів у ґрунті є перетворення токсичних вуглеводнів на менш токсичні ( або нетоксичні) сполуки чи

затвердіння токсичних речовин гелеподібної або твердої речовини.

Фахівцями розроблений препарат «Еконафт» [26] для хімічного знешкодження і нейтралізації токсичних нафтопродуктів, який заснований на властивостях оксидів мінеральних сорбентів при гасінні збільшувати питому поверхню в 15-30 разів і тим самим перетворюватися в об'ємний скорозшивач з високою сорбційною здатністю для високомолекулярних речовин - вуглеводнів нафти. Результатом обробки цим препаратом є рівномірне адсорбування нафтопродуктів з отриманням сухої, стійкої при зберіганні порошкоподібної речовини.

В основі *методу екстракції* нафтопродуктів лежить витягання нафтових вуглеводнів з ґрунту використовуючи виборчі розчинники (екстрагенти). Як екстрагентів застосовують легкі фракції нафтопродуктів, гарячу воду, перегріту водяну пару, миючі засоби та ін. Процеси проводять на спеціальних очисних установках, зібраних, зазвичай, за модульним принципом.

До недоліків механічних і фізико-хімічних методів можна віднести високі економічні, енергетичні витрати, складне апаратурне оформлення та негативний вплив на навколишнє середовище і його компоненти, що проявляється у пошкодженні або знищенні родючого шару ґрунту, трансформації одних речовин в інші, шкода від яких іноді може бути ще більша, ніж можливі збитки від забруднення нафтою.

### **2.3. Біологічні методи**

Відомі механічні, термічні та фізико-хімічні методи очищення ґрунтів від нафтових забруднень доволі вартісні та ефективні лиш при певному рівні забруднення (переважно, більше 1% нафти в ґрунті), часто пов'язані із додатковим надходженням забруднення, а також не забезпечують повноти очищення. В даний час найбільш перспективним способом для очищення нафтозабруднених ґрунтів, як в економічному та екологічному плані є біотехнологічний підхід, що заснований на використанні різних груп мікроорганізмів, яка різняться підвищеною здатністю до біодеградації компонентів нафт і нафтопродуктів. Здатність утилізувати речовини антропогенного походження (ксенобіотики) виявлено у багатьох організмів. Ця властивість можлива

через наявність у мікроорганізмів специфічних ферментних систем, що здійснюють катаболізм таких з'єднань. Мікроорганізмам надається велике значення при розробці шляхів біоремедіації забруднених об'єктів оскільки вони мають порівняно високий потенціал руйнування ксенобіотиків, виявляють здатність до швидкої метаболічної перебудови та обміну генетичним матеріалом.

Під терміном «Біоремедіація» розуміється застосування пристроїв і технологій, призначених для біологічного очищення ґрунтів, тобто для вилучення з ґрунту забруднювачів, що вже в ньому знаходяться.

Біоремедіація складається з двох основних підходів:

1 біостимуляція - активізація деградуючої здатності аборигенної мікрофлори внесенням біогенних елементів, кисню, різних субстратів;

2 біодоповнення - інтродукція природних і генноінженерних штамів-деструкторів чужорідних сполук.

Біостимуляція *in situ* (біостимуляція в місці забруднення). Це підхід в основі якого лежить стимулюванні зростання природних мікроорганізмів, що мешкають в забрудненому ґрунті і потенційно здатних до утилізації забруднювачів, проте не здатних робити це ефективно через недостатньо кількість основних біогенних елементів (сполук азоту, фосфору, калію та ін.) чи несприятливих фізико-хімічних умов. У даному випадку в ході лабораторних досліджень з використанням зразків забрудненого ґрунту встановлюють, які саме компоненти і в яких кількостях слід внести в забруднене об'єкт, щоб стимулювати зростання мікроорганізмів, здатних утилізувати забруднювач

Біостимуляція *in vitro*. Відмінність цього підходу полягає в тому, що біостимуляція зразків природної мікрофлори забрудненого ґрунту проводиться спочатку в лабораторних або промислових умовах (у біореакторах або ферментерах). При цьому забезпечується переважний і виборчий зростання тих мікроорганізмів, які здатні найбільш ефективно видалити даний забруднювач. Щоб «Активізувати» мікрофлору вносять у забруднений об'єкт одночасно з необхідними добавками, що підвищують ефективність утилізації забруднювача.

Існуючі два шляхи інтенсифікації біодеградації ксенобіотиків у навколишньому

середовищі – це стимуляція природної мікрофлори і інтродукція активних штамів, не тільки не суперечать, а й доповнюють один - одного .

Біорекультивация нафтозабруднених ґрунтів - це багатостадійний біотехнологічний процес, що включає фізико-хімічні методи детоксикації забруднювача, застосування органічних і мінеральних добавок, використання біопрепаратів .

Основними факторами, що впливають на хід біоруйнування органічних забруднювачів, є їх хімічна природа (яка обумовлює можливі шляхи біотрансформації), концентрація і взаємодія з іншими забруднювачами (на рівні їх безпосередньої взаємодії або взаємного впливу на трансформацію).

Несприятливі фізичні та хімічні умови, які обмежують мікробну деградацію ксенобіотиків у навколишньому середовищі, включають низьку або високу вологість ґрунту, недостатню кількість кисню, невідповідну температуру та рН, низьку концентрацію або доступність ксенобіотиків, наявність альтернативного, більш ідеального субстрату тощо. Серед біотичних факторів відзначають споживання найпростішими інтродукованих мікроорганізмів, обмін генетичною інформацією між популяціями, фізіологічний стан і щільність інтродукованих мікробних популяцій. Деякі з перерахованих проблем можна вирішити шляхом створення генно-інженерних деструктивних штамів та їх консорціумів, удосконалення методів інтродукції та оптимізації умов існування природних мікробних популяцій.

Таким чином, інтродукція мікроорганізмів приводить до позитивних результатів тільки при створенні відповідних умов для розвитку внесеної популяції, для чого необхідно знати фізіологічні особливості інтродуцента, а також враховувати складаються мікробні взаємодії.

Мікроорганізми-деструктори нафти і нафтопродуктів. Здатність засвоювати вуглеводні нафти притаманна мікроорганізмам, представленим різними систематичними групами. До них відносяться різні види мікроміцетів, бактерій і дріжджів. Найбільш активні деструктори нафти розповсюджені серед бактерій. Вони характеризуються здатністю до засвоєння широкого спектру вуглеводнів, включаючи і ароматичні, володіють високою швидкістю росту і, отже, становлять великий

практичний інтерес.

Група мікроорганізмів природного походження, здатних окислювати вуглеводні дуже різноманітна таксономічно. Найбільш активні бактеріальні штами відносяться до родів: *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Corynebacterium*, *Xanthomonas*, *Alcaligenes*, *Nocardia*, *Brevibacterium*, *Mycobacterium*, *Beijerinckia*, *Bacillus*, *Enterobacteriaceae*, *Klebsiella*, *Micrococcus*, *Sphaerotilus*. Серед актиноміцетів увагу привертає численний рід *Streptomyces*. З дріжджів виділяють рід *Candida* і *Torulopsis*.

Постійними і домінуючими компонентами природних біоценозів нафтових забруднень є родокока, їх основна екологічна функція - акумуляція газоподібних н-алканів, рідких вуглеводнів нафти і трансформація їх у біомасу. Бактерії цього роду відрізняються високою життєстійкістю при дії несприятливих факторів - низької температури, сонячного ультрафіолету, тривалої відсутності поживних речовин. Природна нафтоокислюючих мікрофлора нефтезагрознений тундрової ґрунту представлена головним чином бактеріями *R. Erythropolis*. У зв'язку з цим зрозумілий інтерес до родокока - деструкторів нафти.

Т. В. Коронеллі із співавторами з метою вибору штаму, що зберігає найбільшою мірою углеводородокислюючих активність при низьких температурах, провели скринінг всієї колекції бактерій (роди *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus*) в агаризованому середовищі з парафіном при температурі 6 ° С. Відібрані таким чином 17 штамів вирощували в рідкому середовищі з нафтою при 8 ° С. Через 14 діб визначали концентрацію нафтових вуглеводнів методом ІЧ-спектроскопії. Виявилось, що 12 штамів використовували від 13 до 36% внесеної нафти, два штами - 5-6%, а три були неефективними. Усі 12 штамів були представниками роду *Rhodococcus*: 11 належали до виду *R. Erythropolis*; один - до виду *R. Maris*.

Чималий інтерес викликають спороутворюючі бактерії, оскільки вони найбільш стійкі до різних несприятливих впливів навколишнього середовища.

В даний час активно ведеться пошук мікроорганізмів, що руйнують нафту, особливо при низьких температурах. Активні форми мікроорганізмів виділяються з різноманітних водних і ґрунтових екосистем, особливо забруднених вуглеводнями або

нафтою, а також з мікрофлори нафти і пластових вод нафтових родовищ.

Зараз ведуться активні пошуки мікробних організмів, які руйнують нафту, особливо при низьких температурах. Виділення мікроорганізмів в активній формі з різних водних і ґрунтових екосистем, особливо забруднених вуглеводнями або нафтою, а також мікробних угруповань з нафтової і нафтопромислової води.

При виборі активних мікробних руйнівників вуглеводневого забруднення слід враховувати різноманітні вимоги. При пошуку деструктивних мікроорганізмів необхідно враховувати, що мікробна біомаса, введена в ґрунт, не повинна відрізнятися від мікробного співтовариства ґрунту. Ще одна важлива вимога до мікроорганізмів, що вносяться в ґрунт, — вони повинні бути непатогенними. Оскільки методи мікробного очищення забрудненого ґрунту вимагають аеробних умов, деструктивні мікроорганізми необхідно вибирати з аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів.

На сьогодні запропоновано велику кількість різних комерційних мікробіологічних препаратів як імпортного, так і вітчизняного виробництва. Деякі з них знайшли широке застосування на практиці (Деворойл, Дестройл, Путідойл і т.п.)

Препарат «Деворойл» наприклад використовують для біодеградації нафти і нафтопродуктів при забрудненні ґрунтів, поверхонь акваторій, водойм, а також внутрішніх поверхонь танків нафтоналивних суден та інших резервуарів.

Мікробіологічний препарат «Деворойл» складається з ретельно підібраного спільноти бактерій і дріжджів, що окислюють вуглеводні. До складу асоціації входять вегетативні клітини непатогенних штамів культур пологів *Rhodococcus*, *Pseudomonas* і *Yarrowia*. Бактерії здатні окисляти нафтові n - алкани довжиною ланцюга C9 - C30 і ароматичні вуглеводні. Вдало підібрана асоціація мікроорганізмів дає препарату безліч принципів переваг.

Також для ліквідації нафтових забруднень ґрунту використовується препарат «Дестройл». Цей препарат, що випускається Бердський заводом біологічних препаратів, був отриманий завдяки виділенню з природи мікробної культури *Acinetobacter* sp. Володіє яскраво вираженою активністю щодо вуглеводнів нафти і нафтопродуктів, викликаючи в них незворотні глибокі процеси деградації до



залишкових продуктів, що відносяться до екологічно нейтральних з'єднань.

#### **2.4. Методи рекультивації, засновані на інтенсифікації процесів самоочищення**

Самоочищення та самовідновлення забруднених нафтою та нафтопродуктами ґрунтових екосистем є стадійним біогеохімічним процесом трансформації забруднюючих речовин, який пов'язаний зі стадійним процесом відновлення біологічних угруповань. Для різних природних зон тривалість кожного етапу цих процесів різна, що пов'язано в основному з ґрунтово-кліматичними умовами. Важливу роль відіграє також склад нафти, наявність супутніх солей і вихідна концентрація забруднюючих речовин [15].

Механізм самовідновлення екосистеми після забруднення нафтою дуже складний. За допомогою агротехнологій можна прискорити процес самоочищення нафтозабруднених ґрунтів шляхом створення оптимальних умов для прояву потенційної життєдіяльності мікроорганізмів, що входять до складу природного мікробіоценозу.

Одним з основних факторів, що обмежують процес розкладання нафтопродуктів, є газоповітряний режим забрудненого ґрунту. Забруднення нафтою погіршує газообмін ґрунту, створюючи умови для посилення відновних процесів. Для окислення вуглеводнів мікроорганізмами необхідна присутність молекулярного кисню, а в анаеробних умовах процес окислення надзвичайно ускладнений. З більш ніж 100 видів бактерій, грибів і дріжджів, здатних використовувати один або кілька вуглеводнів нафти як джерела вуглецю та енергії, лише один є анаеробним. Обробки ґрунту сприяють покращенню аерації, активізації життєдіяльності мікробів і посиленню процесів окислення. Розкладання нафти і нафтопродуктів у ґрунті може посилюватися розпушуванням, частим обробітком і оранкою.

Обробіток є потужним регулюючим фактором, стимулюючим самоочистку нафтозабруднених ґрунтів. Позитивно впливає на мікроорганізми та ферментативну активність, оскільки сприяє покращенню умов життя аеробних мікроорганізмів, які

переважають у ґрунті за чисельністю та інтенсивністю обміну речовин і є основними руйнівниками вуглеводнів. Розпушування забрудненого ґрунту збільшує дифузію кисню до ґрунтових агрегатів, знижує концентрацію вуглеводнів у ґрунті за рахунок випаровування легких фракцій, забезпечує розрив поверхневих пор, насичених нафтою, але при цьому сприяє рівномірному розподілу нафти. Обробка ґрунту створює потужний біологічно активний шар з поліпшеними агрофізичними властивостями. При цьому в ґрунті формується оптимальний стан води, повітря і тепла, збільшується чисельність і активність мікроорганізмів, підвищується активність ґрунтових ферментів, підвищується енергія біохімічних процесів.

Забезпеченість ґрунтів біогенними елементами - азотом, фосфором і калієм - важливий фактор, що визначає інтенсивність розкладання нафти і нафтопродуктів. Нестачу біогенних елементів потрібно компенсувати шляхом внесення в ґрунт мінеральних добрив. Майже у всіх випадках внесення біогенних елементів у вигляді мінеральних добрив має стимулюючу дію на розкладання вуглеводнів у ґрунті. Найбільш інтенсивно процес протікає при щорічному внесенні комплексу N, P, K - добрив у поєднанні з гноєм, а також при внесенні в ґрунт біогумусу .

Біогумус отримують переробкою гною (великої рогатої худоби, свинячого, кінського), тирси, подрібненої соломи. Біогумус підтримує високу чисельність бактерій, які утилізують органічні і мінеральні форми азоту, целюлозорозкладаючих мікроорганізмів, нітрифікаторів. Сприяє розвитку мікробного ценозу нафтових забруднень ґрунту, що проявляється у розширенні видового різноманіття бактеріальної флори. Компоненти біогумусу використовуються ґрунтовою мікрофлорою в якості джерела азоту, фосфору і калію, забезпеченість якими в нафтезагязнений ґрунті знижується. Багато органічних речовин біогумусу слугують енергетичним матеріалом для ґрунтової мікрофлори, завдяки чому в ґрунті підвищується активність мікробіологічних процесів, та відповідно посилюється мобілізація поживних речовин .

За інших рівних умов температура є важливим фактором, що визначає силу мікробного розкладання нафти та нафтопродуктів. Оптимальною температурою для розкладання нафти і нафтопродуктів у ґрунті вважається 20-37°C. Інтенсивність

самоочищення забруднених ґрунтів у посушливих районах із високими середньорічними температурами значно вища, ніж у вологих регіонах із відносно низькими середньорічними температурами.

Через сильний вплив температури на швидкість біодеградації нафтопродуктів останнім часом особливу увагу дослідників привернули природні мікроорганізми з високою толерантністю до низьких температур. Зокрема, із забрудненого нафтопродуктами ґрунту Антарктики було виділено штам *Pseudomonas*. 30-3, може витримувати діапазон температур 0~35 °С (Panicker et al., 2002).

Підтримка ґрунту у вологому стані є одним з агротехнічних прийомів для управління біологічною активністю та ефективно діє на темпи розкладання нафти і нафтопродуктів. Сприятливий водний режим ґрунту досягається шляхом поливу. Поліпшення водного режиму обумовлює поліпшення агрохімічних властивостей ґрунтів, зокрема впливає на рухливість поживних речовин, мікробіологічну діяльність і активність біологічних процесів. Одночасно з цим посилюється вплив на мікробіологічну та ферментативну активність агрохімічних прийомів, наприклад внесення добрив, розпушування.

Кислотність ґрунту відіграє важливу роль в розщепленні нафти і нафтопродуктів. Близькі до нейтральних значення рН є оптимальними для росту на вуглеводнях більшості бактеріальних мікроорганізмів. У підзолистих ґрунтах з кислою реакцією цей фактор має вирішальне значення для розкладання нафти і нафтопродуктів. Тому для створення рН, оптимального для їх біорозкладання, кислі ґрунти піддають вапнуванню .

Посів на нафтозабруднених ґрунтах люцерни та інших бобових культур, трав що мають розгалужену кореневу систему добре прискорює розкладання вуглеводнів. Позитивний вплив посівів сільськогосподарських рослин, і зокрема багаторічних трав, пояснюють тим, що своєю розвиненою кореневою системою вони сприяють поліпшенню газозовдушного режиму забрудненого ґрунту, збагачують ґрунт азотом і біологічно активними сполуками, які виділяються кореневою системою в ґрунт в процесі життєдіяльності рослин. Це все стимулює ріст мікроорганізмів та відповідно підвищує інтенсивність розкладання нафти і нафтопродуктів.

## Висновки до розділу

Очищення нафтозабрудненого ґрунту здійснюють різними методами: механічними – виїмка ґрунтів, збирання нафтопродуктів; фізико-хімічними – спалювання, екстракція паром, промивання забрудненого нафтою ґрунту, сорбція, відновлення територій за допомогою ініційованого гумінового сорбенту, використання активованого торфу, очищення твердих поверхонь за допомогою гідрофобного органомінерального нафтового сорбенту та ін.; біологічними – біоремедіація, фіторемедіація.

На основі аналізу літературних даних можна сказати, що відомі механічні, хімічні та фізичні методи трудомісткі, довготривалі, дорогими, не забезпечують ретельного очищення та часто приводять до вторинного забруднення НС іншими хімічними агентами. Крім цього вони ефективні лише при використанні на невеликих територіях і при рівнях забруднення, зазвичай, понад 1 % нафти у ґрунті. Вищевказані способи дають одноразовий ефект, тоді як біологічні методи характеризуються тривалим впливом та стійким покращенням екологічної ситуації.

## РОЗДІЛ 3

### ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ

Традиційні методи рекультивації ґрунту, забрудненого сировою нафтою, передбачає виїмку ґрунту з подальшою їх хімічною або фізичною обробкою. Хімічна обробка передбачає використання сильних окиснювачів, що змінюють властивості ґрунту, часто залежні від рН. Фізична обробка використовує тепло, що перетворює забруднення сировою нафтою на більш прості сполуки, але які все ще можуть бути шкідливими. Утворювані в результаті термічної обробки газоподібні сполуки, можуть вимагати подальшої обробки перед потраплянням у навколишнє середовище. Крім впливу на властивості ґрунту, здоров'я та навколишнє середовище, виїмка ґрунту на місці також є дорогішою та трудомісткою.

Крім того, може бути застосована обробка ґрунту на місці з використанням таких методів, як місцева екстракція, екстракція ґрунтових парів, розпилення повітря та стабілізація. Однак, ці методи обов'язково потребують детального вивчення ділянки задля ефективності, вони є складними і також можуть бути дорогими.

Метод фіторемедіації є економічно ефективною альтернативою відновленню ґрунту шляхом прискорення видалення забруднюючих речовин з ґрунту за допомогою фізіологічних процесів життєдіяльності рослин і мікроорганізмів, що живуть на коренях рослин.

Фіторемедіація - це процес біоремедіації, який використовує різні види рослин для видалення, перенесення, стабілізації та/або знищення забруднюючих речовин у ґрунті та ґрунтових водах. Існує кілька різних типів механізмів фіторемедіації. Серед них:

### 3.1. Біодеградація ризосфери (ризодегарадція)

Під час цього процесу рослини виділяють природні речовини через кореневу систему, забезпечуючи поживними речовинами мікроорганізми в ґрунті. Мікроорганізми посилюють біологічну деградацію.

Ризодегарація визначається як деградація ґрунту через посилену мікробіологічну активність у ризосферній зоні ґрунту, яка знаходиться приблизно на відстані 1-5 мм від поверхні ґрунту (Germida et al., 2002). Мікроорганізми приносять рослині користь, надаючи необхідні амінокислоти, вітаміни та цитокініни для покращення росту рослин, в той час як коріння рослин забезпечує для мікробів середовище існування, що розкладають вуглеводні (Dominguez-Rosado and Pichtel, 2004; Qixing et al., 2011). Дослідники припускають, що ключову роль у фіторемедіації відіграє механізм ризодеструкції, і ця сфера була інтенсивно досліджена в галузі фіторемедіації. Муратова та ін. (2003а, 2003б) продемонстрували збільшення кількості мікроорганізмів-деструкторів у ризосфері з  $2,4 \times 10^6$  КУО/г до  $1,4 \times 10^7$  КУО/г та  $4,3 \times 10^6$  КУО/г у ґрунті з очеретом та люцерною відповідно. Очерет демонструє більш високу деградацію бітуму - 82% у порівнянні з люцерною - 74%. Аналогічне дослідження, проведене Агамуту та ін. (2010), показало, що наявність

великої кількості бактерій, що утилізують вуглеводні, в ризосферній зоні на рівні  $2,4 \times 10^7$  КУО/г ґрунту свідчить про те, що механізм ризодегарації є відповідальним за фіторемедіацію нафтозабрудненого ґрунту за допомогою *Jatropha curcas* (молочай). Moubasher et al. (2015) також продемонстрували, що трав'янистий кущ, який легко росте в різних типах ґрунтів, *Bassia scoraria* (L.) (мітельник звичайний) *A. J. Scott* (Chenopodiaceae) може допомогти у відновленні нафтозабрудненого піщаного ґрунту. Завдяки високій толерантності до нафтових вуглеводнів (до 2-3 мас. %), середня ефективність деградації нафти становить до 57,7 % для природного ґрунту через 5 місяців.

### **3.2. Фітостабілізація**

При фітостабілізації зона кореневої системи рослин діє як стабілізатор знерухомлюючи забруднюючі речовини у ґрунті, запобігаючи таким чином впливу вуглеводнів у забрудненому ґрунті за межами ділянки через ерозію, вилуговування або дисперсію. Для процесу фітостабілізації потрібна розгалужена коренева система, оскільки поглинання і накопичення вуглеводнів відбувається саме в кореневій зоні, кореневій оболонці та клітинах (Germida et al., 2002). Byström і Hirtz (2002) вивчали ефективність *Salix viminalis*, виду верби, для відновлення нафтозабруднених ґрунтів, досліджували вплив фітостабілізації для ґрунтів з низьким та помірним рівнем забруднення вуглеводнями. Було виявлено збільшення концентрації нафти в ґрунті навколо кореневої зони з 584 мг/кг до 1018 мг/кг через 10 годин у присутності *S. viminalis*, що іммобілізує забруднювачі в межах кореневої зони. Це говорить про те, що фітостабілізація здатна зменшити частку забруднювача в ґрунті за рахунок утримання вуглеводню в ґрунті.

Тобто у цьому процесі хімічні сполуки, що виробляються рослиною, фіксують забруднюючі речовини, а не розкладають їх.

### **3.3. Фітоекстракція (також фітонакопичення)**

У цьому процесі коріння рослин сорбує забруднюючі речовини разом з іншими поживними речовинами та водою. Забруднююча маса не руйнується, а потрапляє в пагони і листя рослин. Цей метод використовується в першу чергу для відходів, що містять важкі метали.

Метали накопичуються у надземних пагонах рослин, які збираються і або переплавляються для потенційної переробки/відновлення металів, або утилізуються як небезпечні відходи. Як правило, легко біологічно доступні метали для поглинання рослинами включають кадмій, нікель, цинк, миш'як, селен і мідь. Помірно біологічно доступними металами є кобальт, марганець і залізо. Свинець, хром і уран не дуже біологічно доступні. Свинець можна зробити набагато більш біологічно доступним

шляхом додавання до ґрунту хелатуючих агентів. Аналогічно, доступність урану та радіоактивного цезію-137 можна підвищити за допомогою лимонної кислоти та аміачної селітри, відповідно.

В даний час основною проблемою фітореMediaції є накопичення нафти в рослинах, тому останні дослідження зосереджені на вивченні стійкості рослин до токсичності нафти. У цих дослідженнях спостерігався ріст рослин і вплив нафти на характеристики рослин, такі як щільність стебла, висота пагонів і біомаса, на ґрунтах, забруднених різними концентраціями нафтового палива, як показано в окремих публікаціях. У цих дослідженнях показано, що високі концентрації нафти негативно впливають на ріст рослин. Однак, Redondo-Gómez et al. виявили, що навіть при згубному впливі палива на рослину (*Spartina argentinensis*), вони продовжували рости і не проявляли хлорозу після 250 днів обробки в забрудненому дизельним паливом ґрунті.

Подальші дослідження у цій галузі можуть знадобитися для розуміння та ідентифікації більшої кількості видів рослин, здатних рости на нафтозабруднених ґрунтах, а також для вивчення довгострокових наслідків впливу НП та нафти на ріст рослин, оскільки тривалий вплив нафти на рослини може призвести до порушення фотосинтезу, що може вплинути на природний мінеральний баланс в екосистемі.

### **3.4. Гідропонні системи для очищення водних потоків (ризофільтрація)**

Ризосферна фільтрація схожа на фітоаккумуляцію, але рослини, які використовуються для очищення, вирощують у теплиці, їх коріння у воді. Систему можна використовувати для очищення підземних вод за межами підприємства. Тобто ґрунтові води викачуються на поверхню для поливу цих рослин. Як правило, гідропонні системи використовують штучне ґрунтове середовище, таке як пісок, змішаний з перлітом або вермикулітом. Коли коріння насичуються забруднювачами, їх збирають і утилізують.

### **3.5. Фітоволатилізація (Фіто-випаровування)**



Під час цього процесу рослини поглинають воду, що містить органічні забруднювачі, і виділяють її в повітря через листя. Випаровування рослин може відбуватися через поглинання забруднюючих речовин корінням рослин, метаболізм і транспорт у рослинах у різних формах і, нарешті, випаровування з поверхонь рослин (Germida et al., 2002). Однак цей метод застосовний лише до летких сполук нафти, таких як трихлоретилен і нафталін. Цей механізм спостерігали Wiltse et al. (1998), які повідомили про опіки листя рослин люцерни, вирощених на забруднених нафтою ґрунтах, що пояснюється переміщенням невідомих сполук через стебла та листя. У цьому дослідженні було виявлено, що це явище зникає під час експерименту, що свідчить про те, що випаровування рослин було відповідальним за ефект.

### **3.6. Фітодеградація**

У цьому процесі рослини фактично метаболізують і руйнують забруднювачі всередині рослинних тканин. Вони вивільняють певні ферменти, такі як дегалогеназа, нітроредуктаза і лакказа, які діють як каталізатор хімічних реакцій, здатних прискорити процес деградації забруднювачів (Germida et al., 2002). Палмрот та ін. (2002) повідомили про фіторемедіацію субарктичного ґрунту, забрудненого дизельним паливом, з використанням декількох методів обробки рослин, і показали, що низькі концентрації сполук дизельного палива були виявлені в коренях трав (до 10 г/кг сухої рослинної тканини), в той час як в екстрактах коренів бобових не було виявлено жодних сполук дизельного палива.

### **3.7. Гідравлічний контроль**

У цьому процесі дерева опосередковано усувають забруднення, контролюючи потік ґрунтових вод. Коли коріння досягають рівня ґрунтових вод, дерево діє як природний водяний насос і розвиває щільну кореневу систему, яка поглинає велику

кількість води. Тополя, наприклад, здатна витягувати з землі 30 галонів води на день, а осика може поглинати до 350 галонів на день.

Найбільш широко використовуваними та досліджуваними рослинами є тополі. Військово-повітряні сили США використовували тополі з ціллю утримання трихлоретилену в ґрунтових водах. В штаті Айова Агентство з охорони навколишнього середовища продемонструвало дію тополь як природних насосів, що утримують токсичні гербіциди, пестициди і добрива від потрапляння у водойми та підземні води. Інженерний корпус армії США експериментував з рослинами водно-болотних угідь для знищення вибухонебезпечних сполук у ґрунті та ґрунтових водах. Занурені та плаваючі види (рдесник та кушир, а також стрілолист, відповідно) зменшили вміст тринітротолуолу до 5% від початкової концентрації. Зануреним рослинам вдалося знизити рівень королівської вибухівки (RDX) на 40%, а при додаванні мікробіологічної деградації рівень RDX знизився на 80%. Соняшник, використовуючи ризофільтрацію, був успішно використаний для видалення радіоактивних забруднень з води ставків в ході випробувань в Чорнобилі, Україна.

Фіторе mediaція ефективно використовується для відновлення неорганічних та органічних забруднювачів у ґрунті та ґрунтових водах. Різні рослини, включаючи ріпак (*Brassica napus* L.), овес (*Avena sativa*) і ячмінь (*Hordeum vulgare*), переносять і накопичують такі метали, як селен, мідь, кадмій і цинк (Banuelos et al., 1997; Ebbs et al., 1997; Brown et al., 1994). Світчграс Аламо (*Panicum virginatum*) накопичує радіонукліди цезій-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) і стронцій-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ), сполуки, присутні в ядерних опадах від випробувань зброї та аварій на реакторах (Entry and Watrud, 1998). Гібридні тополі (наприклад, *Populus deltoides* x *nigra*) зменшують концентрацію нітратів (поживних речовин для рослин і забруднювачів води) у поверхневих ґрунтових водах (Schnoor et al., 1995; Gatliff, 1994) і розкладають гербіцид атразин з забруднених ґрунтів (Burken and Schnoor, 1997). Кормові трави, інокульовані бактеріями, розкладають окремі хлоровані бензойні кислоти, а також суміші цих сполук (Siciliano and Germida, 1998a); хлоровані бензойні кислоти утворюються в результаті деградації поліхлорованих дифенілів і хлорованих гербіцидів. Особливий інтерес тут представляє той факт, що різні види рослин разом з пов'язаними з ними

мікроорганізмами збільшують видалення нафтових вуглеводнів із забрудненого ґрунту.

Різні фактори навколишнього середовища та його компонентів впливають на механізми фітореMediaції або змінюють їх. Тип ґрунту та вміст органічної речовини у ньому можуть обмежувати біодоступність нафтових забруднень. Вологість в ґрунті та водно-болотних угіддях впливає на ріст рослин/мікробів і доступність кисню для аеробного дихання. Температура також впливає на швидкість протікання процесів розкладання нафти. Доступність поживних речовин може впливати на ступінь і швидкість деградації забрудненого нафтою ґрунту. Нарешті, сонячне світло може трансформувати вихідні сполуки в сполуки, що можуть мати інший рівень токсичності і біодоступності, ніж вихідні сполуки. Ці різноманітні фактори НС є причиною вивітрювання - втрати певних фракцій забруднюючої суміші - в результаті чого в ґрунті залишаються лише найбільш стійкі сполуки.

Останнім часом вчені у лабораторіях проводять масштабні дослідження різних видів рослин, які можуть бути використані в рекультивації забруднених нафтою ґрунтів.

У Таблиці 3.1 представлено результати, отримані під час нещодавніх досліджень у галузі фітореMediaції.

## Фіторе mediaція нафтозабруднених ґрунтів ( адаптовано зі статті) [49]

Тип рослини	Види рослин	Забруднювач	ГДК забруднювача	Тривалість процесу ремедіації	Максимальна ефективність видалення, %
Декоративні рослини	<i>Mirabilis jalapa</i> L.	Нафта	5 г/кг	127 днів	63,2
Бобові та злакові культури	<i>Calopogonium mucunoides</i> , <i>Centrosema brasilianum</i> , <i>Stylosanthes capitala</i> , <i>Brachiaria brizantha</i> , <i>Cyperus aggregatus</i> , <i>Eleusine indica</i>	Сира нафта	5% ваги	180 днів	57.69 ( <i>Eleusine indica</i> )
Сосна, тополя, злакові та бобові суміші	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>Populus deltoids</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Lolium perenne</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Pisum sativum</i>	Дизель	0,5% ваги	180 днів	67-74 (для бобових)
Очерет, люцерна	<i>Phragmites australis</i> , <i>Medicago sativa</i>	Бітум	79,7 г/кг	27 місяців	82 (тростинний буряк)
Нейстивні рослини	<i>Jatropha curcas</i>	Мастило	1% ваги	180 днів	67,3
Чорне мангрове дерево	<i>Avicennia schaueriana</i>	Легка парафіниста нафта	32,2 мг/г	90 днів	87
Висока трава	<i>Festuca arundinacea</i>	Нафта	50 г/кг	120 днів	50
Райграс	<i>Lolium perenne</i> L.	Дизельне паливо	50 г/кг	90 днів	57,3
Сільськогосподарські культури, дикорослі трави, бобові культури	<i>Triticum aestivum</i> L., <i>Secale cereale</i> L., <i>Avena sativa</i> L., <i>Hordeum vulgare</i> , <i>Sorghum bicolor</i> L. Moench, <i>Panicum miliaceum</i> L., <i>Zea mays</i> L., <i>Lolium perenne</i> L., <i>Bromopsis inermis</i> , <i>Agropyron cristatum</i> L., <i>Festuca pratensis</i> Huds., <i>Medicago sativa</i> L., <i>Trifolium pratense</i> L.,	Нафтовий шлам	15.6 г/кг	72 дні	52 (жито)

Закінчення таблиці 3.1

Неїстівні рослини	<i>Hibiscus cannabinus</i> .	Мастило	1% ваги	90 днів	91,8
Вербові	<i>Salix viminalis</i> L.	Мінеральне мастило	245,2 мг/кг	1,5 роки	57
Соя, зелена квасоля, Соняшник, індійська гірчиця, разнотрав'я, кукурудза, конюшина	<i>Glycine max</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i> , <i>Helianthus annuus</i> , <i>Brassica juncea</i> , <i>Zea mays</i> ,	Моторне мастило	1,5 ваги	150 днів	100
Люцерна, тростинний буряк	<i>Medicago sativa</i> , <i>Phragmites australis</i>	Бітум	79,7 г/кг	27 місяців	82
Тропічні пасовищні трави	<i>Brachiaria brizantha</i>	Сира нафта	5% ваги	22 тижні	18,4
Злаки	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb., <i>Festuca pratensis</i> Huds.	Нафта	4700 мг/кг	7 місяців	72 (трави з ендofітами)
Неїстівні рослини	<i>Dracaena reflexa</i>	Дизельне паливо	1 % от веса	270 днів	99
Солончакові рослини	<i>P. australis</i>	Легка нафта	5 мл/л	150 днів	16
-	<i>Pinus densiflora</i> , <i>Thuja orientalis</i> , и <i>Populus tomentiglandulosa</i> з внесеним мікробним консорціумом	Дизель	6000 мг/кг	150 днів	86,8

#### Переваги фіторемедіації:

- застосування методів фіторемедіації є більш економічно ефективним, ніж використання звичайних методів дезактивації.
- технології фіторемедіації ефективно застосовуються на великих територіях із середнім рівнем забруднення.
- будуть методики дезактивації *in situ*, вам не потрібно транспортувати забруднене середовище, уникаючи таким чином розсіювання забруднюючих речовин водою або повітрям.

- застосування технологій фіторемедіації дозволяє отримувати цінні метали та воду.

- для застосування цих технологій потрібні лише традиційні сільськогосподарські практики; немає необхідності в будівництві спеціальних об'єктів, а також у підготовці персоналу для його реалізації.

- технології фіторемедіації не споживають електричної енергії, ані виробляють забруднюючі викиди парникових газів.

- це технології, що зберігають ґрунт, воду та атмосферу.

- вони є методами знезараження з найменшим впливом на навколишнє середовище.

#### Недоліки та обмеження:

- методи фіторемедіації можуть мати ефект тільки в області, зайнятій коренем рослин, тобто в обмеженій зоні і глибині.

- фіторемедіація не є повністю ефективною в запобіганні вимивання або просочування забруднюючих речовин підземними водами.

- методи фіторемедіації є повільними методами дезактивації, оскільки вони вимагають часу очікування для росту рослин і пов'язаних з ними мікроорганізмів.

- на ріст і виживання рослин, що використовуються в цих методах, впливає ступінь токсичності забруднюючих речовин.

- застосування методів фіторемедіації може чинити негативний вплив на природні екосистеми, у яких вони впроваджуються, оскільки завдяки біоаккумуляції забруднюючих речовин у рослинах, можуть переходити до харчових ланцюгів через первинних і вторинних споживачів.

### **3.8. Висновки до розділу**

Фіторемедіація вважається одним із найбільш перспективних методів для очищення забруднень у промислово розвинених країнах. Метод полягає у використанні рослин для очищення ґрунтів та ґрунтових вод від політантів: важких металів, радіонуклідів, вуглеводнів та інших шкідливих сполук.

Серед переваг фітореMediaції в порівнянні з традиційними ремедіаційними технологіями можна відзначити відсутність або невелику кількість утворення вторинних відходів, мінімальні порушення природних екосистем, економічність, можливість застосування на різних за розмірами територіях, відносна простота реалізації та естетичність. Крім того, вирощування рослин призводить до відновлення ґрунту і запобігає ерозії. Економічна доцільність фітореMediaції також є вагомим аргументом на користь цієї технології.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТУ, ЗАБРУДНЕНОГО НАФТОПРОДУКТАМИ

З метою вибору типу рослин, що характеризуються найбільшою ефективністю при відновленні якості ґрунтів, забруднених нафтопродуктами, нами було проведено експериментальне дослідження ефективності застосування технології фітореємедіації для відновлення штучно забруднених нафтопродуктами ґрунтів.

**I етап** дослідження включав висівання та пророщування досліджуваних видів рослин на штучно забруднений авіаційним паливом (керосин марки ТС-1) у концентрації 10 ОДК. Вимірюванні ростових характеристик проростків (схожість, середня довжина кореня, стебла) та відбір проб ґрунту з ростилеи на 10 добу від початку експерименту.

**II етап** полягав у тестуванні відібраних проб ґрунту за допомогою рослини-біоіндикатора крес-салату, який є чутливим до нафтового забруднення ґрунту. А також, визначення фітотоксичного ефекту в порівнянні з контрольною пробою ґрунту.

**Метою** дослідження було встановити здатність вівса посівного, вики звичайної (горошку посівного) та гірчиці до зниження концентрації нафтопродукту у ґрунті (зниження фітотоксичності) методом фітореємедіації.

**Матеріали та методи:** авіаційний керосин марки ТС-1, проби ґрунту, насіння вівса, вики звичайної та гірчиці, термостат, дистильована вода, ростильні.

Багато дослідників рекомендують використовувати злакові трави [50]. Основною перевагою трав є вважається волокниста коренева система, яка має велику площу кореневої поверхні порівняно, а також може проникати глибоко у ґрунт. Позитивна дія пояснюється тим, що їх розвинена коренева система сприяє поліпшенню газоповітряного режиму забруднених ґрунтів і поліпшення якості ґрунту за рахунок біоактивних сполук, що виділяються коренями під час їх життєдіяльності. Також існує низка досліджень [51], що вказують на стійкість бобових рослин (Fabaceae) до забруднення ґрунту нафтопродуктами, що пояснюється здатністю до



фіксації атмосферного азоту і таким чином забезпечувати джерелом мінерального живлення у нафтозабрудненому ґрунті.

Отже, для дослідження були обрані такі види рослин:

- Овес посівний, або овес звичайний (*Avena sativa* L.) — це дворічна трав'яниста рослина роду овес, родини злакові. Коренева система мичкувата. Стебло — порожниста соломина, заввишки 80—140 см, завтовшки 4—4,5 мм, поділена на 4—7 міжвузлів. Стеблові вузли голі або опушені, на нижніх помітне антоціанове забарвлення. Листки вівса ланцетно-загострені, зелені або сизі, часто з війчастими краями, без вушок, але з добре розвиненим язичком (у деяких форм вівса він відсутній), нерідко вони покриті восковим нальотом.

- Вика звичайна, вика сійна, горошок посівний (*Vicia sativa* L.) — вид квіткових рослин родини бобові (*Fabaceae*). Витка або сланка однорічна трав'яниста рослина, запушена, 20–80 см. Листя парноперисте з 3–8 парами листових фрагментів 6–36 x 1–12 мм від лінійні до оберненояйцеподібних. Суцвіття майже сидячі з 1–2(4) квіток на суцвітті. Віночок 10–30 мм, світло-червонувато-фіолетовий, або голубувато-ліловий. Плід 32–57 x 3.5–9 мм, довгастий, голий або запушений, буро-чорний, з 6–10 насінням. Насіння 2–6 мм.

- Гірчиця морська звичайна (*Sakile maritima*) — вид рослин родини капустяні (*Brassicaceae*), однорічна трав'яниста рослина. Стовбур 7–40 см, розгалужений від основи, прямий. Листя блискуче голе товсте зелене, 1–8 × 0,2–5 см, виїмчасте або лопатеве. 4–10 × 1.5–4 мм пелюстки білі або бузкові. В основному комахи допомагають у запиленні. Плоди: стручок 7–25 × 2–6 (9) мм. Насіння 2.3–4.7 × 1–2.5 мм, коричневе.

Підготували 5 ростилень (рис. 4.1.):

1. контроль (ґрунт без нафтопродукту);

2. ґрунт із внесеним авіаційним паливом з концентрацією 10 одк керосину.

3,4,5 - ґрунт із внесеним авіаційним паливом з концентрацією 10 одк керосину для висаджування рослин.



Рис. 4.1. Ростильні з чистим ґрунтом (1, контроль), ґрунтом, штучно забруднений авіаційним паливом (2-5)

«Методикою визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства», яка затверджена наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища 27.10.1997 № 171 (у редакції наказу Мінприроди 04.04.2007 № 149) (далі — Методика), нафту і нафтопродукти віднесено до першої групи небезпеки, як надзвичайно небезпечні, для яких гранично допустимі концентрації/орієнтовно-допустимі концентрації (ГДК/ОДК) встановлено 0,2 мг/кг.

Хоча в чинному ГСТУ 41-00 032 626-00-007-97 «Охорона довкілля. Спорудження розвідувальних і експлуатаційних свердловин на нафту і газ на суші. Правила проведення робіт.», затверджено орієнтовно допустима концентрація нафти у ґрунті, і дорівнює 4000 мг/кг. Для нафтопродуктів ОДК — не встановлено, що широко використовується для аналізу забрудненості ґрунтів НС.

У кожен ростильню на поверхню ґрунту було висіяно по 200 насінин кожного з видів рослин для пророщування (Рис.4.3.), попередньо промивши та висушивши (Рис.4.2.).



Рис.4.2. Промите і підготовлене до посадки насіння



Рис.4.3. Овес, вика та гірчиця, висаджені на штучно забрудненому керосином ґрунті



Рис.4.4. Чистий ґрунт (1, контроль) та ґрунт штучно забруднений авіаційним паливом

Після чого проби з рослинами, контроль (чистий ґрунт та нафтозубруднений ґрунт без рослин) були розміщені у термостат з температурою 23°C (рис.4.5.)



Рис.4.5. Розміщення проб у термостат з температурою 23°C.



Рис.4.6. Зразки на 3-й день досліджень

На 3-тю добу експерименту було проведено визначено всхожість та виміряно ростові характеристики вівса, вики та гірчиці (рис. 4.6-4.8). Було відібрано по 5 рослин з кожної ростильні та здійснено вимірювання у сантиметрах середньої довжини кореня та стебла проростків та розрахована кількість рослин, що проросли (табл. 4.2).



Рис.4.7. Вимірювання ростових характеристик 3-добових проростків досліджуваних рослин



Рис.8. Зважування маси сирої речовини проростків

Таблиця 4.1.

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

№ з/п	Овес	Вика	Гірчиця
Довжина кореня, см	1,8	2,3	2,5
	2,6	1,6	1,2
	2,2	3	1,7
	2,6	2,5	2,7
	2,4	1	1,3
Довжина стебла, см	0	2,4	2,3
	0,4	2	1,8
	0,5	2,5	2,1
	0,4	2,1	3
	0,3	1,9	2
Загальна довжина	1,8	4,8	4,7

<b>проростка, мм</b>	3	3	3,6
	2,7	3,8	5,5
	3	5,7	4,6
	2,7	3,3	2,9
<b>Схожість, %</b>	34	51,5	31
<b>Маса сирі речовини, г</b>	0,389	0,542	0,254

Аналізуючи результати досліджень, представлені у табл.4.1. можемо зробити висновок про те, що найвищою всхожістю на ґрунті, штучно забрудненому нафтопродуктом характеризується саме вика звичайна (представник бобових). Даній рослині характерна також найвища маса сирі речовини. Щодо злакових, то овес має близькі до вика показники за ростовими параметрами. Найнижчі ростові характеристики, за результатами наших експериментальних досліджень має гірчиця. На 10 добу експерименту було проведено повторне аналогічне вимірювання ростових характеристик зразків досліджуваних рослин (рис. 4.9,4.13).

Результати вимірювань представлені у Таблиці 4.2.



Рис.4.9. Зовнішній вигляд проростків на 10 добу експерименту



Рис.4.10. Проростки вівса на 10 добу експерименту



Рис.4.11. Проростки вики на 10 добу експерименту





Рис.4.12. Проростки гірчиці на 10 добу експерименту



Рис.4.13. Вимірювання ростових характеристик 10-добових проростків

Таблиця 4.3.

Результати експериментальних досліджень 10-добових проростків досліджуваних рослин

№ з/п	Овес	Вика	Гірчиця
Довжина кореня, см	7	6	4,3
	12,8	3,9	1,6
	10,6	4,5	1,7
	9,1	6,1	2,7
	8,2	7,8	4,7
Довжина стебла, см	7,5	5,3	6,2
	9,6	4,3	5
	9,2	3,8	5,8
	8,1	5,5	5,3
	7,7	5,6	8
Загальна довжина проростка, см	14,5	11,3	10,5
	22,4	8,2	6,6
	19,8	8,3	7,5
	17,2	11,6	8
	15,9	13,4	12,7
Маса сирої речовини, г	1,342	0,853	0,493

Аналізуючи результати досліджень, представлені у табл.4.2. можемо зробити висновок про те, що тенденція розвитку рослин змінилася і найкращі ростові характеристики, на штучно забрудненому нафтопродуктом має овес (представник злакових). Даній рослині характерна також найбільший приріст маси сирої речовини. Щодо вики, то дана рослина має близькі до представника злакових показники за ростовими параметрами. Найнижчі ростові характеристики, за результатами наших експериментальних досліджень, має гірчиця.

Наступним кроком був відбір проб ґрунту з усіх рослинень на 10 добу після проведення фітореMediaції, та визначення його фітотоксичності на основі методу біотестування з використанням насіння крес-салату.

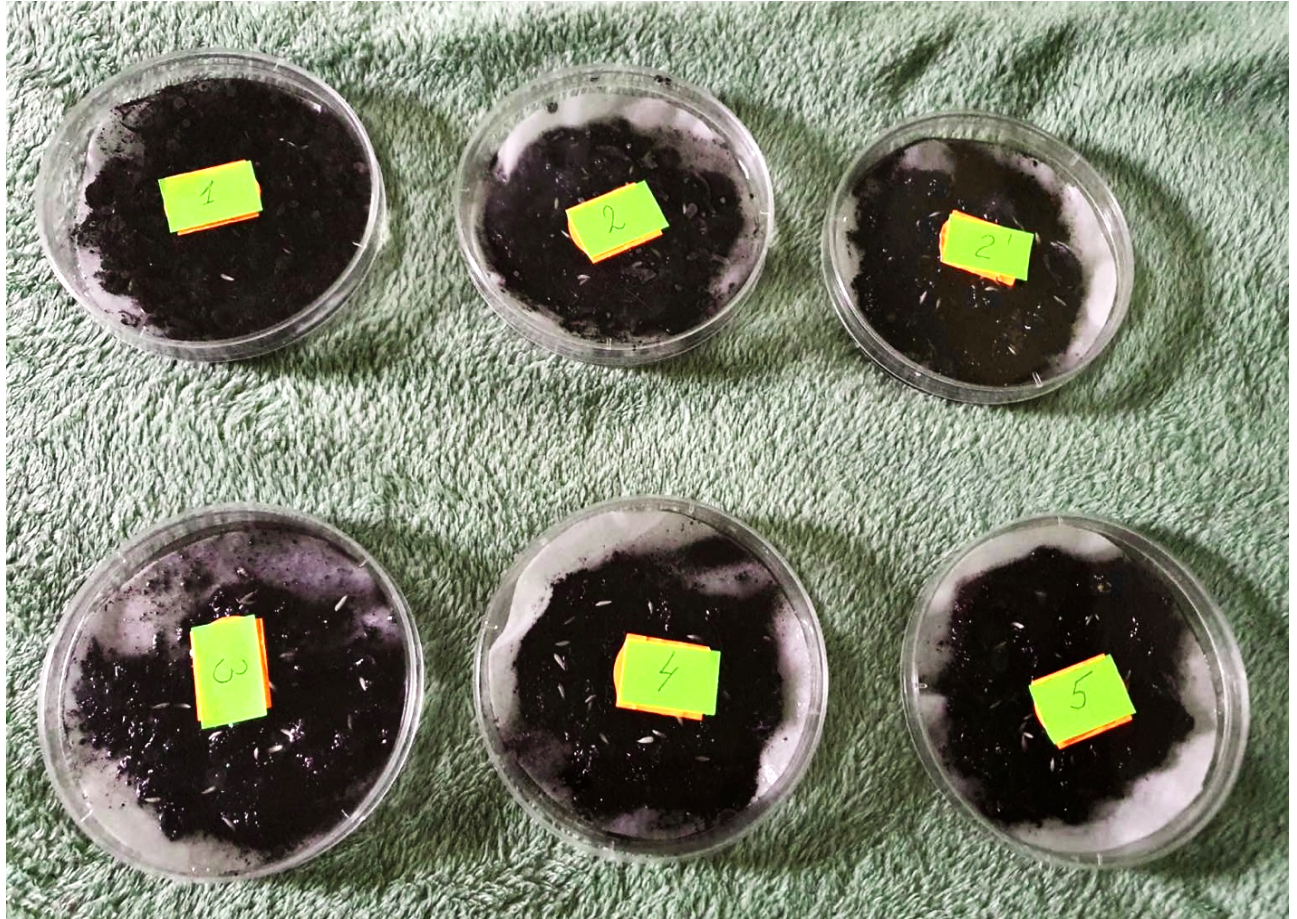


Рис.4.14. Відібрані для тестування проби ґрунту: 1- чистий ґрунт (контроль), 2- ґрунт з авіаційним керосином до початку експерименту, 3- ґрунт з керосином на 10 добу експерименту, 3,4,5- нафто забруднений ґрунт після 10 діб фітореMediaції за допомогою вівса, вики та гірчиці відповідно.

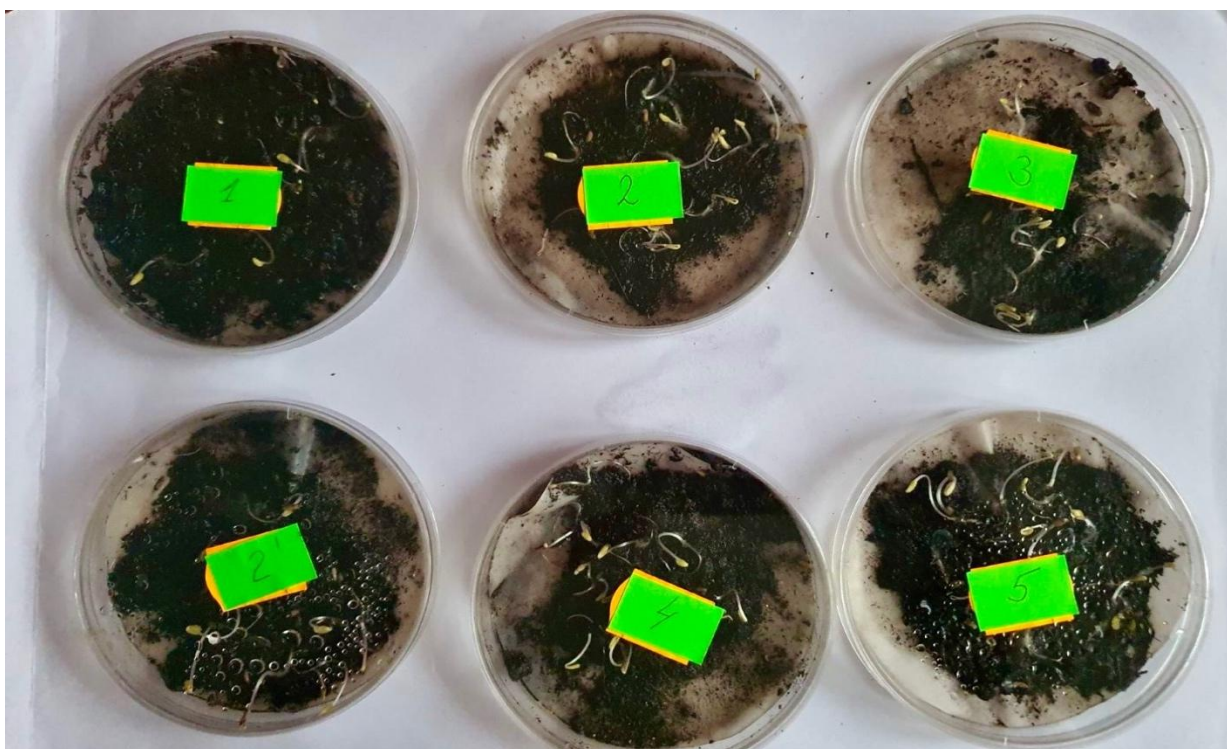


Рис.4.15. Проби ґрунту на 72 год після пророщування біотесту

Таблиця 4.3

Вимірювання морфометричних характеристик салату

	Контроль (1)	Ґрунт з ПММ на початку експерименту (2)	Ґрунт з ПММ на 10 добу (без росл.) (2')	Проба №3	Проба №4	Проба №5
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 сер. довжина, см	5,08	4,08	4,08	5,51	4,42	4,25

**Фітотоксичний ефект (ФЕ)** розраховували за ростовими характеристиками, визначали за формулою(4.1)

$$\Phi E = \frac{L - Lx}{L} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де  $L$  — морфометричні характеристики рослин у контрольному варіанті;  $Lx$  — морфометричні характеристики рослин у досліджуваних зразках.

Рівень фітотоксичності зразків ґрунту оцінювали за шкалою, в якій рівень токсичності варіював від ледве помітного до максимального.

Таблиця 4.4.

Шкала оцінювання рівнів токсичності ґрунту (Джура та ін., 2006)

Рівень пригнічення ростових процесів, %	Рівень токсичності
0-20	Токсичність відсутня або її рівень низький
20,1-40	Середній
40,1-60	Вищий за середній
60,1-80	Високий
80,1-100	Максимальний

Результати обчислення фітотоксичного ефекту проб ґрунту представлені на діаграмі (Рис. 4.16.).



Рис. 4.16. Індекс фітотоксичності ґрунту за ростовими характеристиками салату

Представлені на рис.4.16. дані розрахунку індексу фіто токсичності досліджених проб. Дають можливість зробити висновок про те, що найбільшу ефективність при відновленні якості ґрунту, штучно забрудненому авіаційним паливом, має овес (представник злакових). Вика звичайна також характеризується певним рівнем ефективності. У той же час, використання гірчиці у технології фіторемедіації не забезпечило зниження рівня фіто токсичності штучно забрудненого авіаційним паливом ґрунту.

### **Висновки до розділу**

Отже, аналізуючи результати експериментальних досліджень, можемо зробити висновок про те, що представники злакових (овес) та бобових (вика звичайна) можуть бути рекомендовані для відновлення якості ґрунтів на території аеропортів та на прилеглих територіях. Зокрема, овес, застосування якого у технології фіторемедіації значно підвищило якісні характеристики ґрунту. Навіть, у порівнянні з умовно чистим ґрунтом (контролем).

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 5.1. Аналіз шкідливих та небезпечних чинників працівника лабораторії

У лабораторних умовах фактори, які призводять до непередбачених ситуацій, прийнято поділяти на небезпечні та шкідливі. Під шкідливим чинником розуміють вплив за певних умов, який спричиняє зниження працездатності або захворювання працівника.

Що стосується фактора ризику, то це вплив на працівників за певних умов, які призводять до різкого погіршення здоров'я, а в гіршому випадку – до травм. Залежно тривалості та рівня впливу шкідливі фактори можуть стати небезпечними. Шкідливими та небезпечними можуть бути фактори трудового процесу або навколишнього середовища, які можуть спричинити тимчасове або постійне зниження працездатності, професійні захворювання, призвести до порушення здоров'я нащадків, у тому числі до підвищення частоти захворювань. Тому, працівникам, чия робота пов'язана з впливом небезпечних, на додаток шкідливих факторів, мають право на компенсації та пільги.

Шкідливі і небезпечні біологічні фактори, можуть містити деякі біологічні об'єкти, а саме: макроскопічні організми (тварини чи рослини), а також мікроорганізми (віруси, бактерії і т.д.). Група психофізіологічних факторів, має прояв в наслідок нервово-психічних чи фізичних перенавантажень.

Адже за своєю природою дії на організм людини, шкідливі та небезпечні фактори, поділяються на декілька груп, а саме:

- Фізичні;
- Біологічні;
- Хімічні;
- Психофізіологічні.

Хімічні шкідливі та небезпечні фактори поділяються:

- за характером впливу на людину: токсичні (викликають отруєння організму), подразливі, сенсibiliзуючі (викликають алергію), канцерогенні (викликають злоякісні новоутворення), мутагенні (генетичні зміни), репродуктивні;
- за шляхом проникнення в організм людини: проникають через органи дихання, ШКТ, слизові оболонки та шкіру.

До фізичних шкідливих та небезпечних факторів відносять ті, які характеризують технологічний процес (рухомі механізми та машини, рухомі частини обладнання, заготовки та матеріали, вироби, що пересуваються, гострі кромки; знижена або підвищена температура поверхні обладнання або матеріалів; підвищені значення електричної напруги та рівень статичної електрики), а також характеристики повітря промислових об'єктів (підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони, метеорологічні умови, підвищений рівень шуму, ультразвукові коливання, вібрація на робочому місці, недостатнє освітлення робочого місця тощо).

Метою охорони праці в будь-якій лабораторії є оцінка характеристик, а також середовища трудового процесу, його впливу на здоров'я та життя працівників.

Метою гігієни та безпеки праці лабораторній установці є оцінка характеристик і середовища трудового процесу та його впливу на здоров'я та життя працівників. Для виконання цього завдання державою затверджено низку критеріїв оцінки, які дозволяють визначити рівень шкідливості умов праці робітників.

Законодавство визначає такі основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- фізичні: незадовільний мікроклімат (вологість, температура, вентиляція повітря, ультрафіолетове або інфрачервоне випромінювання) в приміщенні; барометричний тиск; постійні електричні поля і випромінювання; небезпечні іонізуючі випромінювання; високий рівень промислових шумів та вібрацій (місцева або загальна); недостатнє природне або технічне освітлення в робочих приміщеннях.

- хімічні фактори, пов'язані з використанням у виробництві небезпечних речовин хімічного походження;

- біологічні характеристики (мікроорганізми, які знаходяться в бактеріальних препаратах, патогенні мікроелементи);



- загальна організація трудового процесу на підприємстві: важкість праці, яка представлена об'ємом фізичних зусиль, рівень навантаження на опорно-руховий апарат, дихальну, серцево-судинну та інші системи працівника.

В законодавчій базі МНС України, було оновлено та затверджено від 11 вересня 2012 року №1192 «Правила охорони праці під час роботи у хімічних лабораторіях», в яких йдеться мова про затверджені та регламентовані вимоги щодо показників мікроклімату, показників вмісту шкідливих речовин, рівня шуму та вібрації, а також освітленість у хімічних лабораторіях.

Тому аби запобігати та уникати нещасних випадків, крім того професійних захворювань, потрібно щоб Держпраці мав на контролі та звертав увагу роботодавців щодо рівнів шкідливих та небезпечних виробничих факторів, а також не повинні перевищувати гранично допустимих значень, встановлених у санітарних правилах, нормах та нормативно-технічній документації.

Тому з метою попередження та уникнення нещасних випадків, крім професійних захворювань, Управлінню Держпраці необхідно контролювати і звертати увагу роботодавців до рівнів шкідливих та небезпечних виробничих факторів, гранично допустимі значення. Санітарні правила, норми і значення визначаються в нормативно-технічних документах.

## **5.2. Забезпечення параметрів для мікрокліматичних умов робочого місця в лабораторії**

Необхідним першим кроком перед початком роботи на робочому місці в лабораторіях з хімічними реагентами для досліджень, необхідно перевірити наявність тяги повітря, оскільки усі відділи витяжної шафи крім тієї, де буде виконуватися робота, повинні повністю закриватися стулками. У відділенні, де виконуються роботи стулку опускають нижче рівня обличчя лаборанта, проте не нижче 0,4 м.

*У всіх лабораторних приміщеннях припливно-витяжну вентиляцію потрібно вмикати за 30 хв. до початку проведення робіт та обов'язково вимикати після закінчення їх проведення. В першу чергу потрібно вмикати витяжну вентиляцію,*

потім вже припливну, при цьому по закінченню роботи діяти потрібно навпаки, спершу вимкати припливну після цього - витягну.

В лабораторіях на робочому місці дослідження, повинні проводитися лише за справних вентиляцій та контролю за їх автоматичним вимкненням або блокуванням. Окрім того, при виявленні несправностей будь-якого характеру працівники повинні повідомляти керівників лабораторій і службу охорони праці. Оскільки лабораторні приміщення, особливо де застосовуються хімічними речовини для дослідження повинні бути відокремлені від інших приміщень та мати витяжні шафи, які не пов'язані з вентиляцією цих приміщень та окремими входами. Світильники у витяжній шафі за влаштуванням повинні бути вибухо безпечними. Загалом задля захисту працівників лабораторії від дії небезпечних чи шкідливих факторів необхідне застосування засобів колективного захисту, відповідно до вимог ДСТУ 7238:2011 «ССБП. Засоби колективного захисту працюючих».

*Рівень шуму в лабораторіях* не має перевищувати норми, яка становить 60 дБА, що затверджено «Державними санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» (ДСН 3.3.6.037-99). Необхідно також забезпечувати вібраційну безпеку, дотримуючись норм, встановлених «Державними санітарними нормами виробничої загальної та локальної вібрації» (ДСН 3.3.6.039-99). А також у робочій зоні лабораторії, вміст газів, пари шкідливих речовин та пилу не повинні перевищувати ГДК, що встановлені в Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21.11.1997 №336 «Про затвердження списків і введення в дію гігієнічних регламентів (ГДК та ОБРВ) у повітрі робочої зони, атмосферному повітрі населених місць та (ОДР) у воді водоймищ.

*В приміщеннях лабораторій має бути достатнє забезпечення природним чи штучним, а також суміщеним освітленням*, в залежності від характеристики зорової роботи та відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення». При цьому локальне освітлення необхідно використовувати в поєднанні із загальним освітленням, оскільки використання лише місцевого освітлення заборонено. За своїм влаштування, світильники місцевого освітлення мають відповідати категорії та групі вибухонебезпечних речовин, крім того розміщені так, щоб працівник мав змогу за

необхідності у лабораторних досліджень самостійно змінити напрям світлового потоку.

Щодо мікрокліматичних умов, то їх допустимі величини встановлюються у випадках, коли на робочому місці не можна забезпечити оптимальні величини мікроклімату, за умов технологічного виробництва, технічної недосяжності або це економічно недоцільно обґрунтовано. Величини показників (Рис.5.1). характеризують допустимі мікрокліматичні умови, що встановлюють для постійних або непостійних робочих місць( визначені ДСН 3.3.6.042-99).

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість (%) на робочих місцях - постійних і непостійних	Швидкість руху (м/сек.) на робочих місцях - постійних і непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період руху	Легка Іа	25	26	21	18	75	не більше 0,1
	Легка Іб	24	25	20	17	75	не більше 0,2
	Середньої важкості Іа	23	24	17	15	75	не більше 0,3
	Середньої важкості Іб	21	23	15	13	75	не більше 0,4
	Важка ІІІ	19	20	13	12	75	не більше 0,5
Теплий період року	Легка Іа	28	30	22	20	55 - при 28°С	0,2 - 0,1
	Легка Іб	28	30	21	19	60 - при 27°С	0,3 - 0,1
	Середньої важкості Іа	27	29	18	17	65 - при 26°С	0,4 - 0,2
	Середньої важкості Іб	27	29	15	15	70 - при 25°С	0,5 - 0,2
	Важка ІІІ	26	28	15	13	75 - при 24°С і нижче	0,6 - 0,5

Рис. 5.1..Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні лабораторних приміщень

Категорія робіт, які наведені на рисунку поділяються за важкістю на основі загальних енергетичних витрат організму.

Категорія І призначена для легкої фізичної роботи, що включає види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 105 - 140 Вт (90 - 120 ккал/год.) - категорія Іа та

141 - 175 Вт (121 - 150 ккал/год.) - категорія Іб. До категорії Іа відносять ті роботи, що виконуються сидячи та не потребують фізичного напруження, а до категорії Іб роботи, які виконуються стоячи, сидячи чи пов'язані з ходінням і супроводжуються певним фізичним напруженням.

Категорія ІІ призначені для фізичних робіт середньої важкості та охоплюють види діяльності, коли витрата енергії дорівнює 176 - 232 Вт (151 - 200 ккал/год.) - категорія ІІа та 233 - 290 Вт (201 - 250 ккал/год.) - категорія ІІб. До категорії ІІа призначені роботи, пов'язані з переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів, ходінням чи предметів в положенні стоячи або сидячи та потребують певного фізичного напруження, категорія ІІб роботи, що пов'язані з ходьбою, стоянням чи переміщенням невеликих вантажів(до 10 кг), окрім того супроводжуються помірним фізичним напруженням.

Категорія ІІІ - це важкі фізичні роботи, що охоплюють такі види діяльності, що загалом витрачають енергію 291 - 349 Вт (251 - 300 ккал/год.). До даної категорії належать роботи, що пов'язані з перенесенням важких вантажів(понад 10 кг), постійними переміщеннями і потребують значних фізичних зусиль.

*Перепад температури повітря по висоті робочої зони, за допустимих умов, не має бути більше 3° С ( поширюється на всі категорії робіт), а по горизонталі робочої зони та протягом робочої зміни може перевищувати межі допустимих температур для певних категорій роботи. Також температура зовнішніх поверхонь технологічного устаткування, температура внутрішніх поверхонь приміщення (підлога, стіни, стеля) і його захисних обладнань (екранів і т. ін.), не повинні виходити за межі допустимих значень температури повітря, для деяких категорій робіт. Забезпечення комфортного температурного режиму та вологості повітря в лабораторії, значною мірою впливає на гарне самопочуття людини. Внаслідок порушення теплового режиму в лабораторії, який на думку медиків становить від 18 до 20°С може спровокувати погіршення здоров'я та загострення хронічних хвороб .*

*Теплове опромінення і його інтенсивність, що впливає на працівника, від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, в тому числі освітлювальних приладів, інсоляція від зашкленних огорожень не має перевищувати 35,0 Вт/м<sup>2</sup> - при*

опроміненні 50 % та більше поверхні тіла, 70 Вт/м<sup>2</sup> - при величині опромінюваної поверхні від 25 до 50 %, та 100 Вт/м<sup>2</sup> - при опроміненні не більше 25 % поверхні тіла працюючого . За наявності джерел з інтенсивністю 35,0 Вт/м<sup>2</sup> та більше, не має бути перевищення верхніх меж оптимальних значень температури повітря на постійних робочих місцях для теплого періоду року, на непостійних - верхніх меж допустимих значень для постійних робочих місць.

Якщо є відкриті джерела випромінювання (відкрите полум'я, нагрітий метал, скло,) то допускається інтенсивність опромінення до 140,0 Вт/м<sup>2</sup> . Величина опромінюваної площі не має перевищувати 25 % від поверхні тіла працівника за обов'язкового використання індивідуальних засобів захисту (спецодяг, окуляри, щитки).

### **5.3. Рекомендації щодо спец одягу на робочому місці в лабораторії**

*Забезпечення працівників лабораторій спеціальним одягом* має виконуватись за рахунок видачі спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту, відповідно до норм, «Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» (НПАОП 0.00-7.17-18). Загалом засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), повинні відповідати вимогам «Технічного регламенту засобів індивідуального захисту», що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 27 серпня 2008 року №761, ДСТУ 7239:2011 «ССБП. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація», а також ДСТУ EN 467-2003 «Одяг захисний. Захист від рідких хімікатів. Вимоги до предметів одягу, що забезпечують захист частин тіла».

*Під час виконання своїх обов'язків працівник лабораторії зобов'язаний дотримуватися вимог санітарних норм та особистої гігієни:* приступати до роботи тільки у ЗІЗ; приймати і підтримувати протягом зміни робоче місце чистим та в належному порядку; зберігати та їсти їжу лише у спеціально відведених місцях для цього місцях; після закінчення роботи обов'язково вимити забруднені частини тіла.

Рекомендації, що формуються для виконання робіт на робочих місцях в

лабораторіях в безпечних умовах, позитивно впливають на ефективність роботи працівників, зменшують матеріальні витрати на допомогу у разі тимчасової непрацездатності, у тому числі зберігають здоров'я та працездатності працівників, а також підвищують продуктивність роботи. Належні умови праці та забезпечення спеціального захисту підсилюють мотивацію до точного виконання правил та безпечної поведінки працівників лабораторій.

#### **5.4. Пожежна безпека**

В лабораторних приміщеннях повинні знаходитись первинні засоби пожежогасіння, такі як вогнегасники, ящики з сухим піском, пожежні покривала із теплоізоляційного негорючого матеріалу та інші засобами пожежогасіння, розташування яких прописане у вказівках відповідно до ДСТУ EN ISO 7010:2019 «Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір» (ISO 6309:1987, IDT). У разі аварійної перерви у подачі електричної енергії, всі електроприлади мають бути негайно вимкнені.

Роботодавцем мають бути розроблені інструкції з охорони праці, що відповідають вимогам «Положення про розробку інструкцій з охорони праці» (НПАОП 0.00- 4.15-98), на основі зразків інструкцій. Він повинен розробити план ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС) в залежності від виду робіт, які виконуються у лабораторії та на підприємстві, згідно «Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій» (НПАОП 0.00-4.33- 99). Працівникам, які не ознайомлені з ПЛАС, заборонено виконувати роботу, особливо якщо вони не знають частину, яка безпосередньо стосується роботи, яку вони виконують. Отже обов'язки щодо розробки та впровадження ПЛАС та відповідальність за його якість, покладаються на власника (керівника підприємства). При розробленні ПЛАС мають бути враховувані реальні можливості та ресурси підприємства, досвід дій накопичений персоналом при аварійних ситуаціях та аваріях, для забезпечення уявлення щодо необхідних додаткових навичок і ресурсів, оскільки ПЛАС належить переглядати через кожні 5 років.

Електроприлади, що знаходяться під напругою, при виникненні пожежі потрібно знеструмити або ж гасити вуглекислотними вогнегасниками відповідно до вимог ДСТУ 3675-98, ДСТУ 3734-98, адже водою гасити їх заборонено. Ні в якому разі не можна залишати робоче місце без нагляду, особливо ввімкнені нагрівальні прилади чи працююче лабораторне обладнання, перелік якого визначений інструкцією з охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки.

### **Висновки до розділу**

Таким чином, можемо зробити висновки, що в лабораторних приміщеннях будь-яких досліджень на робочому місці на працівників впливає велика кількість небезпечних та шкідливих факторів, проте ступінь впливу не завжди імовірно оцінити без проведення атестації робочих місць.

Існують низка показників мікрокліматичних умов, які повинні дотримуватися на робочих місцях у приміщеннях лабораторій. Підлога у лабораторії має бути рівною, не слизькою, із зручною для очищення поверхнею, виконаною з матеріалів, тривких до різних хімічних речовин. Стіни лабораторних приміщень мають бути з вогнетривких матеріалів, поверхню легко можна змивати.

Рівень шуму в лабораторіях не має виходити за межі норми – 60 дБА, встановленої «Державними санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»(ДСН 3.3.6.037-99) .

Показники мікроклімату в робочій зоні хімічних лабораторій мають відповідати вимогам «Державних санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень» (ДСН 3.3.6.042-99). У лабораторних приміщеннях повинні знаходитись первинні засоби пожежогасіння, вказівні знаки місцезнаходження яких встановлюють відповідно до ДСТУ ISO 6309:2007 «Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір» (ISO 6309:1987, IDT) .

## ВИСНОВКИ

Встановлено, що одним з найбільш небезпечних поллютантів для навколишнього середовища та його компонентів є забруднення нафтою та нафтопродуктами, яке є широко розповсюдженим у зв'язку активним розвитком транспортної галузі. Крім того, визначено, що основними джерелами забруднення НПС нафтою та нафтопродуктами є нафтодобувні та нафтопереробні підприємства, нафтопроводи, нафтобази, автозаправні станції та всі види транспорту, що використовують нафту та нафтопродукти. Зокрема, в аеропортах для заправки транспортних засобів використовуються різні марки нафтопродуктів. Особливо значне забруднення ґрунту відбувається внаслідок витоків і проливання палива. Велика кількість забруднюючих продуктів потрапляючи у ґрунт поширюється в ньому на великі відстані разом із ґрунтовими та поверхневими водами, порушуючи при цьому нормальну життєдіяльність ґрунтів, а також забруднюючи підземні води та поверхневі водойми.

Очищення нафтозабрудненого ґрунту здійснюють різними методами: механічними – виїмка ґрунтів, збирання нафтопродуктів; фізико-хімічними – спалювання, екстракція паром, промивання забрудненого нафтою ґрунту, сорбція, відновлення територій за допомогою ініційованого гумінового сорбенту, використання активованого торфу, очищення твердих поверхонь за допомогою гідрофобного органомінерального нафтового сорбенту та ін.; біологічними – біоремедіація, фіторемедіація.

На основі аналізу літературних даних можна сказати, що відомі механічні, хімічні та фізичні методи трудомісткі, довготривалі, дорогими, не забезпечують ретельного очищення та часто приводять до вторинного забруднення НС іншими хімічними агентами. Крім цього вони ефективні лише при використанні на невеликих територіях і при рівнях забруднення, зазвичай, понад 1 % нафти у ґрунті. Вищевказані способи дають одноразовий ефект, тоді як біологічні методи характеризуються



тривалим впливом та стійким покращенням екологічної ситуації.

ФітореMediaція вважається одним із найбільш перспективних методів для очищення забруднень у промислово розвинених країнах. Метод полягає у використанні рослин для очищення ґрунтів та ґрунтових вод від поллютантів: важких металів, радіонуклідів, вуглеводнів та інших шкідливих сполук.

Серед переваг фітореMediaції в порівнянні з традиційними реMediaційними технологіями можна відзначити відсутність або невелику кількість утворення вторинних відходів, мінімальні порушення природних екосистем, економічність, можливість застосування на різних за розмірами територіях, відносна простота реMediaції та естетичність. Крім того, вирощування рослин призводить до відновлення ґрунту і запобігає ерозії. Економічна доцільність фітореMediaції також є вагомим аргументом на користь цієї технології.

Отже, аналізуючи результати експериментальних досліджень, можемо зробити висновок про те, що представники злакових (овес) та бобових (вика звичайна) можуть бути рекомендовані для відновлення якості ґрунтів на території аеропортів та на прилеглих територіях. Зокрема, овес, застосування якого у технології фітореMediaції значно підвищило якісні характеристики ґрунту. Навіть, у порівнянні з умовно чистим ґрунтом (контролем).

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яновский Л.С. Авиационная экология. Воздействие авиационных горюче-смазочных материалов на окружающую среду / Яновский Л.С.. – 180 с. – (2017).
2. Евдокимов А. Ю., Фукс И. Г., Любинин И. А. Смазочные материалы в техносфере и биосфере: экологический аспект : монография. Київ : Итака-Н, 2012. 292 с.
3. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи: Методичні рекомендації по оцінці допустимих рівнів радіонуклідного та хімічного забруднення за їх комбінованої дії. / Гродзинський Д.М. та ін. Київ: Фіто-соціоцентр, 2006. 60 с.
4. Гринчишин Н. М. Реабілітація ґрунтів, забруднених аварійними виливами нафтопродуктів / Н. М. Гринчишин, О. Ф. Бабаджанова // Науковий вісник НЛТУ. Вип. 22.7, 2012. 43–49 с.
5. Влияние нефтяного загрязнения на лесные биогеоценозы / А. В. Соромотин, С. Н. Гашев, М. Н. Гашева, Е. А. Быкова / Экология нефтегазового комплекса, 1989. 180-191 с.
6. 10. Глазовская М. А. Состояние, динамика и диагностика почвенных экосистем, загрязненных нефтью, нефтепродуктами и промышленными водами / М. А. Глазовская / Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем, 1988. 7-50 с.
7. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия / В. М. Гольдберг, В. П. Зверев, Л. И. Арбузов. М.: Наука, 2001. 125 с.
8. Рекомендации по рекультивации нефтезагрязненных земель / С. А. Алієв, Д. В. Гвозденко, М. П. Бабаєв, Д. А. Гаджиев. Баку: Элм, 1981. 26 с.
9. Фесенко І. М. Оцінка та контроль впливу відходів буріння нафтогазових свердловин на ґрунти / І. М. Фесенко, І. А. Решетов, М. М. Фесенко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, 2003. 36–40 с.

10. Абросімов А. А. Екологія переробки вуглеводневих систем / А. А. Абросімов, М. Ю. Доломатова, Р. Теляшева. М. : Хімія, 2002. 608 с.
11. Андресон Р. К. Вивчення чинників, які впливають на біорозклади нафти у ґрунті / Р. К. Андресон, Л. А. Пропадушая / Корозія і захист нафтогазовидобувної промисловості, 1979. 30–32 с.
12. Рекомендации по рекультивации нефтезагрязненных земель / С. А. Алієв, Д. В. Гвозденко, М. П. Бабаєв, Д. А. Гаджиев. Баку : Элм, 1981. 26 с.
13. Снітинський В. В. Ґрунтознавство з основами агрохімії та геоботаніки / В. В. Снітинський, В. Ф. Якобенчук. Л. : Аверс, 2006. 312 с.
14. Клімова Н. Деякі питання методики оцінки стану забруднення ґрунтів унаслідок нафтогазовидобутку / Н. Клімова: Вісник Львівського університету, 2006. 144–151 с.
15. Исмаилов Н. И. Современное состояние методов рекультивации нефтезагрязненных земель / Н. И. Исмаилов, Ю. И. Пиковский / Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. 222–236 с.
16. Владимиров А. М. Охрана окружающей среды / А. М. Владимиров. Гидрометеоздат, 1991. 423 с.
17. Крайнюков О. М. Моніторинг довкілля (моніторинг нафтогазоносних територій) / О. М. Крайнюков, А. Н. Некос. Х. : Фоліо, 2015. 203 с.
18. Аكوпова Т. С. Экология, нефть и газ / Т. С. Аكوпова, А. Н. Гриценко, В. М. Максимов. М. : Наука, 1997. 366 с.
19. Карпин О. Вплив нафтового забруднення ґрунту на ростові показники, вміст пероксиду водню і активність пероксидази рослин бобу / Н. Джура, О. Цвілинюк // Вісник Львів. ун-ту. Сер. Біол. – Л.: 2008 – С. 160–165.
20. Шевчик Л.З. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТА ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ : дис. канд. біол. наук : 03.00.16 / Шевчик Леся Зеновіївна – Львів, 2017. – 166 с.
21. Василенко П. А. Аналіз сучасних вітчизняних і зарубіжних концепцій виробничого екологічного моніторингу нафтогазового комплексу та ліквідації

наслідків надзвичайних ситуацій на цих об'єктах / П. А. Василенко, С. Г. Корниенко. – М. : НПНГ, 1997. – 33 с.

22. Подан І. І. Вплив нафтового забруднення і гуматів на ріст рослин міскантусу / І. І. Подан, Н. М. Джура // Екологічні науки: науково-практичний журнал: К. –2019. – ДЕА, (2).– С 25–29.

23. Романюк О. І. Екологічна оцінка та фітореMediaція нафтозабруднених ґрунтів : дис. канд. хім. наук : 03.00.16 еколог / Романюк Ольга Іванівна – Львів, 2017. – 166 с.

24. Cook R. L. Field Note: Successful Establishment of a Phytoremediation System at a Petroleum Hydrocarbon Contaminated Shallow Aquifer: Trends, Trials, and Tribulations [Text] / R. L. Cook, J. E. Landmeyer, B. Atkinson, J.-P. Messier, E. G. Nichols // International Journal of Phytoremediation. – 2010. – Vol. 12, Issue 7. – 716–732 p.

25. Susarla, S. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination [Text] / S. Susarla, V. F. Medina, S. C. McCutcheon // Ecological Engineering. – 2002. – Vol. 18, Issue 5. – 647–658 p.

26. Павлова Е. І. ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ І ЕКОЛОГІЯ ТРАНСПОРТУ / Е. І. Павлова., 2017.

27. Зубрев Н.И. Предотвращение химического и бактериального загрязнения полосы отвода железных дорог [Електронний ресурс] / Зубрев Н.И.. – 2018.

28. Шевчик Л. З. АНАЛІЗ БІОЛОГІЧНИХ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ / Л. З. Шевчик, О. І. Романюк. // Scientific Journal «ScienceRise:Biological Science». – 2017. – №1.

29. Піковський Ю.І. Природні та техногенні потоки вуглеводнів у навколишньому середовищі / Ю.І. Піковській.- М. : Изд-во МГУ, 1993. - 208 с

30. Левін С.В. Еколого-мікробіологічне нормування вмісту нафти в ґрунті / С.В. Левін, Е.М. Халімов, В.С. Гузев // Токсикологічний вестник.-1995.- №1.- С. 11-15.

31. Коронеллі Т.В. Принципи і методи інтенсифікації біологічного руйнування вуглеводнів у навколишньому середовищі (огляд) / Т.В. Коронеллі // Прикладна біохімія та мікробіологія.-1996.- 32, № 6.- С.579-585

32. Гольдберг В. М. Техногенне забруднення природних вод вуглеводнями і його екологічні наслідки / В.М. Гольдберг, В.П. Зверев, А.І. Арбузов, и др М .: Наука, 2001.-125с
33. Шляхи підвищення техногенної безпеки об'єктів довкілля, забруднених нафтопродуктами [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3\\_nauka/konkurs/naftoprodukti\\_.pdf](https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/konkurs/naftoprodukti_.pdf).
34. Алієв С.А. Рекомендації щодо рекультивації нафтозабруднених земель / Гвозденко Д.В., Бабаєв М.П., Гаджієв Д.А.- Баку: Елм, 1981.-26 с.
35. Суть фіторемедіації [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.novaecologia.org/voecos-743-2.html>.
36. Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій. Методичні рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Рівне: Дока-центр, 2018. – 94 с.
37. Пахарькова, Н.В. Оптимизация выбора растений для биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами в условиях Южной Сибири/ Н.В. Пахарькова, С.В. Прудникова, А.С. Гекк, А. Н. Ларькова, Н.С. Коростелева // Вестник КрасГАУ. – 2015. – В №8. – С. 28-32
38. Larkova, A.N. Phytoremediation of oil contaminated soil / A.N. Larkova // материалы конф. Студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный 2017» - Красноярск, 2017
39. Abdel Ghany, T. M. Rhizosphere microorganisms as inducers for phytoremediation a review [Text] / T. M. Abdel Ghany, A. Al Abboud Mohamed, E. Negm Moustafa, M. Shater Abdel-Rahman // International Journal of Bioinformatics and Biomedical Engineering. – 2015. – Vol. 1, Issue 1. – P. 7–15.
40. KHD Tang1. Phytoremediation of crude oil-contaminated soil with local plant species [Електронний ресурс] / KHD Tang1, J Angela // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/495/1/012054>.
41. Фиторемедіація почв, забруднених сирою нафтою, с використанням *Bassia scoratia* и связанных с ней микроорганизмов ризосфери [Електронний ресурс].

– 2015. – Режим доступу до ресурсу:  
[https://www.researchgate.net/publication/272402147\\_Phytoremediation\\_of\\_soils\\_polluted\\_with\\_crude\\_petroleum\\_oil\\_using\\_Bassia\\_scoparia\\_and\\_its\\_associated\\_rhizosphere\\_microorganisms](https://www.researchgate.net/publication/272402147_Phytoremediation_of_soils_polluted_with_crude_petroleum_oil_using_Bassia_scoparia_and_its_associated_rhizosphere_microorganisms).

42. Phytoremediation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<http://www.cpeo.org/techtree/ttdescript/phytrem.htm>.

43. Verma, J.P. & Jaiswal, D.K. (2016). Book review: advances in biodegradation and bioremediation of industrial waste. *Front Microbiol.*, 6, 1–2 [in English].

44. Sui, H & Li, X. (2011). Modeling for volatilization and bioremediation of toluene-contaminated soil by bioventing. *Chin. Journal Chem. Eng.*, 19, 340–348 [in English].

45. Smith, E. et al. (2015). Remediation trials for hydrocarbon-contaminated soils in arid environments: evaluation of bioslurry and biopiling techniques. *Int. Biodeterior. Biodegradation*, 101, 56–65 [in English].

46. Maila M.P., Colete T.E. (2004). Bioremediation of petroleum hydrocarbons through land farming: are simplicity and cost-effectiveness the only advantages? *Rev. Environ. Sci. Bio. Biotechnol.*, 3, 349–360 [in English].

47. Касаревич І.В., Шелестов В.Ю., Гончаренко А.П. Екологія буріння. – Мінськ, 1994. – 120 с.

48. Янін Є.П. Ремедіація територій, забруднених хімічними елементами: загальні підходи, правові аспекти, основні способи (закордонний досвід) // Проблеми довкілля та природних ресурсів. -2014. - №3. – С. 3-105.

49. Lim M. W. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil—Present works and future directions / M. W. Lim, E. Von Lau, P. E. Poh // *Marine pollution bulletin*. – 2016. – V. 109. – P. 14-45.

50. Aprill, W. Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil [Text] / W. Aprill, R. C. Sims // *Chemosphere*. – 1990. – Vol. 20, Issue 1-2. – P. 253–265. doi: 10.1016/0045-6535(90)90100-8

51. Джура, Н. М. Перспективи фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів рослинами *Faba bona Medic. (Vicia faba L.)* [Текст] / Н. М. Джура // Вісник Львівського університету. Сер. біол. – 2011.