

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ГУМАНІТАРНО-ПЕДАГОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ

ДИПЛОМНА РОБОТА  
МАГІСТРА

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІТОТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ  
ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Галузь знань – *10 Природничі науки*

Спеціальність – *101 Екологія*

ДРЕКОЛ. 022203.01.07.00

Виконав: студент 2 курсу  
групи ЕКОЛ<sub>м</sub>-22-1

\_\_\_\_\_ Д.В. Репецький

Керівник

\_\_\_\_\_ О.О. Єфремова

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_ С.М. Шевченко

До захисту допускаю:

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Н.Г. Міронова

\_\_\_\_\_ 2023 р.

Хмельницький 2023

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет – *Гуманітарно-педагогічний*  
Кафедра – *Екології та біологічної освіти*  
Освітній рівень – *Магістр*  
Галузь знань – *10 Природничі науки*  
Спеціальність – *101 Екологія*  
Освітня програма – *Освітньо-професійна*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри екології  
та біологічної освіти

\_\_\_\_\_ Наталія МІРОНОВА

«2» жовтня 2023 року

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Репецькому Дмитру Володимировичу

1 Тема роботи: «Дослідження фітотехнологічних методів відновлення порушених земель внаслідок військових дій».

керівник роботи Єфремова О. О., кандидат технічних наук, доцент.

Затверджено наказом ректора університету від 15 серпня 2023 року № 30.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 13 грудня 2023 року.

3 Вихідні дані до роботи: літературні джерела; дані про стан забруднення ґрунтів України; електронні джерела інформації.

4 Зміст пояснювальної записки:

4.1 Сучасний стан ґрунтів України та типи їх деградації.

4.2 Наслідки порушення ґрунтів від воєнних дій та можливі шляхи їх відновлення.

4.3 Фітотехнологічні методи відновлення порушених земель та їх переваги.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень): немає.

6 Консультанти розділів дипломної роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---|----------------|------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |

7 Дата видачі завдання: 2 жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи  | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1     | Сучасний стан ґрунтів України та типи їх деградації                        | 02.10.2023 –<br>22.10.2023    | виконано |
| 2     | Наслідки порушення ґрунтів від воєнних дій та можливі шляхи їх відновлення | 23.10.2023 –<br>12.11.2023    | виконано |
| 3     | Фітотехнологічні методи відновлення порушених земель та їх переваги        | 13.11.2023 –<br>03.12.2023    | виконано |
| 4     | Оформлення роботи  | 04.12.2023 –<br>12.12.2023    | виконано |

Студент \_\_\_\_\_ Дмитро РЕПЕЦЬКИЙ

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Ольга ЄФРЕМОВА

## АНОТАЦІЯ

Тема – Дослідження фітотехнологічних методів відновлення порушених земель внаслідок військових дій.

Автор – студ. ЕКОЛм-22-1 Д. В. Репецький.

Керівник – доцент, доцент кафедри екології та біологічної освіти, канд. техн. наук О.О. Єфремова.

Дипломна робота викладена на 83 сторінках, містить 7 таблиць, 16 рисунків, перелік джерел посилання з 51 джерела.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВІЙСЬКОВІ ДІЇ, ВІДНОВЛЕННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ, ФІТОТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ РЕМЕДІАЦІЇ, РЕМЕДІАЦІЯ, ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ.

У роботі проаналізовано сучасний стан ґрунтів України та типи їх деградації, досліджено типи порушення ґрунтів від воєнних дій, вплив цих порушень та наслідки, шляхи міграції забруднюючих речовин. Вивчено можливі шляхи відновлення ґрунтів порушених внаслідок військових дій, а також визначено фітотехнологічні методи відновлення порушених земель та їх переваги.

12.12.2023 р.

Д. В. Репецький

## ЗМІСТ

|   | С. |
|---|----|
| Вступ .....   | 5  |
| 1 Сучасний стан ґрунтів України та типи їх деградації.....                        | 9  |
| 1.1 Сучасні умови формування ґрунтового покриву.....                              | 9  |
| 1.2 Типи деградації ґрунтового покриву.....                                       | 14 |
| 2 Наслідки порушення ґрунтів від воєнних дій та можливі шляхи їх відновлення..... | 24 |
| 2.1. Типи порушення ґрунтів від воєнних дій.....                                  | 24 |
| 2.2. Вплив порушення ґрунтів та шляхи міграції забруднюючих речовин.....          | 38 |
| 2.3 Можливі шляхи відновлення ґрунтів.....  | 53 |
| 3 Фітотехнологічні методи відновлення порушених земель та їх переваги .....       | 60 |
| Висновки.....   | 73 |
| Перелік джерел посилання.....   | 77 |
| Додаток А Результати апробації дослідження.....                                   | 84 |

## ВСТУП

Повномасштабна війна в Україні, яка триває вже майже два роки, завдала величезної шкоди навколишньому середовищу. Будь-які світові війни приносять руйнівну катастрофу, яка впливає як на суспільно-політичний, так і на екологічний стан. Воєнно-техногенне навантаження проявляється у механічних, фізичних та хімічних впливах на природне середовище, призводячи до жахливих наслідків. Військові дії спричиняють знищення природних ресурсів, забруднення повітря, води та ґрунту, а також, що найбільш трагічно, до незворотніх змін у екосистемах.

У сучасній Україні спостерігається значний негативний вплив на ґрунтовий покрив через механічні, фізичні та хімічні впливи. Використання потужної військової техніки та великі обсяги боєприпасів призводять до пошкодження всіх компонентів природних ландшафтів, що в свою чергу призводить до дестабілізації екологічного балансу та загрози біорізноманіттю.

Вплив військових дій є руйнівним і призводить до підвищення рівня деградації ґрунтів. Наявність в навколишньому середовищі великої кількості токсичних речовин може призвести до знищення мікроорганізмів, необхідних для родючості ґрунту, та змни його структури. У результаті цього можливі ерозія, деградація та затоплення ґрунтів, а також втрати природних ресурсів, що має суттєвий вплив на аграрну економіку країни.

Таким чином, виникає необхідність у розробці програмних заходів з рекультивації або консервації земель, що пошкоджені внаслідок воєнних дій. Внаслідок бойових дій, земельні покриви, водні ресурси та інші природні елементи стають об'єктом значних руйнувань та забруднень. Після завершення конфлікту одним із ключових завдань є відновлення пошкоджених земель. Цей складний і багатоплановий процес вимагає комплексного підходу, врахування досвіду та практики, що застосовувалися в інших країнах.

Основні фактори, які спричинюють пошкодження ґрунтового покриву та зменшення родючості сільськогосподарських земель під час бойових дій, включають вибухи боєприпасів, використання важкої техніки, що призводить до компресії, руйнування будівель, що спричиняє зсуви ґрунту, порушення екологічної рівноваги регіону через потрапляння небезпечних речовин (нафти, смол, токсичних хімічних речовин) у ґрунт, а також незаконне використання землі, зокрема, захоплення земельних ділянок для встановлення військових пунктів, бункерів, колоній та інших об'єктів.

За даними ООН, понад 30 % всіх оброблюваних земель в Україні вже зазнали негативного впливу внаслідок військових дій. Одним із найбільш небезпечних наслідків військових дій є забруднення земель важкими металами, вибуховими речовинами та іншими токсичними речовинами, які можуть накопичуватися в ґрунті та рослинах, а потім потрапляти в організм людини та тварин. В результаті цього можуть виникати різні захворювання, включаючи рак, серцево-судинні захворювання, порушення нервової системи. Крім того, знижується родючість ґрунтів, що призведе до зниження врожаїв, а також до погіршення якості харчових продуктів.

Таким чином, серед основних наслідків руйнування ґрунтів внаслідок війни можна виділити такі: неможливість обробітку землі, яка забруднена хімічними речовинами та засмічена уламками боєприпасів; зниження або втрата родючості ґрунту та його здатності до самоочищення; втрата буферності ґрунтів; зниження здатності до затримання вологи; активація та интенсифікація водної та вітрової ерозії; підтоплення і заболочування; опустелювання; втрата біорізноманіття.

З метою збереження, відтворення та охорони земельних ресурсів необхідно здійснити заходи спрямовані на відновлення, поліпшення земель та повернення їх до екологічно безпечного господарського використання. Для забезпечення продовольчої безпеки та експортного потенціалу доцільно розробити та запровадити заходи відновлення агроекологічних функцій ґрунтів та продуктивності агроєкосистем.

Природне відновлення порушених земель може зайняти декілька століть. Тому актуальним є дослідження і розробка ефективних методів відновлення порушених земель внаслідок військових дій, в тому числі і фітотехнологічних методів.

Фітотехнологічні методи мають ряд переваг перед іншими методами відновлення порушених земель, а саме: вони є більш екологічно чистими та економічно доступними, рослини можуть ефективно очищати ґрунт від важких металів, вибухових речовин та інших токсичних речовин, а також сприяти відновленню біорізноманіття на порушених територіях.

Метою даної магістерської роботи є дослідження фітотехнологічних методів відновлення порушених земель внаслідок військових дій.

Для досягнення мети необхідно було вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан ґрунтів України та визначити основні типи їх деградації;
- дослідити наслідки порушення ґрунтів від воєнних дій та можливі шляхи їх відновлення;
- проаналізувати фітотехнологічні методи відновлення порушених земель;
- визначити переваги фітотехнологічних методів відновлення порушених земель.

Об'єктом дослідження є фітотехнологічні методи відновлення порушених земель внаслідок військових дій.

Предметом дослідження є ефективність фітотехнологічних методів відновлення порушених земель внаслідок військових дій.

Гіпотеза дослідження – використання фітотехнологічних методів є ефективним та екологічно обґрунтованим підходом до відновлення порушених земель, пошкоджених внаслідок військових дій.

Методи дослідження. Теоретичною та методологічною основами дослідження є праці вітчизняних та закордонних вчених у сфері охорони ґрунтів та землекористування, теоретичні та методологічні розробки щодо

методів відновлення порушених земель. У роботі були використані загальнонаукові методи дослідження: теоретичні та емпіричні.

Інноваційність дослідження полягає у тому, що здійснено детальний аналіз методів відновлення порушених земель із врахуванням специфічних забруднень та впливів військових дій, на основі чого виділено фітотехнологічні методи відновлення порушених земель, які забезпечать не лише відновлення ґрунтового покриву, але й сприяють збереженню та розвитку біорізноманіття.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження, узагальнення та висновки щодо фітотехнологічних методів відновлення порушених земель внаслідок військових дій можуть бути використані у фаховій підготовці екологів у закладах вищої освіти при розробці методичних матеріалів та викладанні дисципліни «Агрохімія», «Моніторинг довкілля», «Техноекологія». Також результати роботи можуть бути використані при розробці проектів щодо відновлення порушених земель внаслідок військових дій із використанням фітотехнологій.

Автору належить постановка проблеми, підбір методів досліджень і об'єктів, опрацювання літератури, виконання аналізу та узагальнення науково-теоретичних і дослідних даних, аналіз та узагальнення отриманих результатів, формулювання висновків і рекомендацій та написання наукових публікацій.

Апробація результатів дипломної роботи і публікації з теми дослідження. Результати дослідження опубліковано у матеріалах Міжнародної науково-практичної конференції «Подільські читання-2023: комунікаційні стратегії для реалізації геоєкологічних ініціатив та проектів» (м. Тернопіль, 2-3 листопада 2023 р.), (додаток А).

# 1 СУЧАСНИЙ СТАН ҐРУНТІВ УКРАЇНИ ТА ТИПИ ЇХ ДЕГРАДАЦІЇ

## 1.1 Сучасні умови формування ґрунтового покриву

Ґрунт – це складна геологічна система, яка формується під впливом множинних факторів [1]. Основними факторами ґрунтоутворення є:

- ґрунотворні породи – матеріал, з якого формується ґрунт. Вони можуть бути різними за складом і походженням. У нашій країні найпоширенішими ґрунотворними породами є леси, суглинки, піски, супіски, вапняки, глини та алювіальні відклади;

- рельєф місцевості – форма земної поверхні. Він впливає на циркуляцію води і повітря, а також на глибині залягання ґрунту. Рівнинний рельєф сприяє накопиченню органічних речовин і утворенню родючих ґрунтів. Горбистий рельєф, навпаки, ускладнює утворення ґрунтів і призводить до їхнього розмивання;

- клімат – сукупність метеорологічних умов, що панують на певній території протягом тривалого часу. Він впливає на кількість і режим опадів, температуру повітря, а також на тривалість вегетаційного періоду. Оподи забезпечують ґрунт водою, а температура впливає на процеси, що відбуваються в ньому;

- рослинний покрив – сукупність рослин, що ростуть на певній території. Рослини виділяють органічні речовини, які є основою для формування ґрунту. Рослини також захищають ґрунт від ерозії;

- господарська діяльність людини – діяльність людини, яка впливає на ґрунт. Вирубання лісів, осушення боліт та інші види діяльності людини можуть порушити природні процеси ґрунтоутворення.

У нашій країні ґрунтовий покрив сформувався під впливом усіх цих факторів.

На території з рівнинним рельєфом і лісостеповою рослинністю утворилися різні типи ґрунтів. На лесах і лесовидних суглинках утворилися

чорноземи – найродючіші ґрунти світу. Чорноземи мають товстий гумусовий шар і добре забезпечені поживними речовинами. На твердих карбонатних породах утворилися дерново-карбонатні ґрунти. Вони мають підвищений вміст вапняку, що впливає на їхні властивості. Дерново-карбонатні ґрунти добре забезпечені поживними речовинами, але вони мають підвищену кислотність. На алювіальних відкладах в долинах річок утворилися лучні, лучно-болотні і торфоболотні ґрунти. Лучні ґрунти – це родючі ґрунти, які утворюються на заплавах річок. Лучно-болотні ґрунти – це менш родючі ґрунти, які утворюються на прилеглих до заплави ділянках. Торфоболотні ґрунти – це малородючі ґрунти, які утворюються на болотах [2].

За сучасними підходами у ґрунтознавстві прийняте твердження, що всі фактори ґрунтоутворення є рівнозначними, але більшість дослідників вважає першочерговим фактором рослинність, яка формує певний тип ґрунту.

Конституція України визначає землю як основний національний скарб, який перебуває під особливою охороною держави. Це положення обґрунтовано тим, що земля є незамінним природним ресурсом, від якого залежить забезпечення життєдіяльності людини та суспільства.

Загальна площа України становить 60,3 млн га, з яких 42,7 млн га – сільськогосподарські землі, а 32,5 млн га – рілля. Ґрунтовий покрив країни є дуже різноманітним. Найпоширенішими типами ґрунтів в Україні є чорноземи і лучно-чорноземні ґрунти. Вони характеризуються високим рівнем природної родючості, що дає можливість отримувати високі врожаї сільськогосподарських культур. Українські чорноземи є одними з найродючіших ґрунтів у світі. Вони складають 9,3 % від площі цих ґрунтів у світі та 28,5 % – у Європі [3]. Структура ґрунтового покриву України станом на кінець 80-х років ХХ століття наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Сучасна структура ґрунтового покриву України [3]

| Ґрунти   | С.-г. угіддя,<br>тис. га | Рілля, % |
|--|--------------------------|----------|
| 1  | 2                        | 3        |
| Чорноземи опідзолені   | 3418,7                   | 91,6     |
| Чорноземи типові   | 5779,6                   | 91,8     |
| Чорноземи звичайні   | 10488,6                  | 88,3     |
| Чорноземи південні   | 3639,9                   | 88,8     |
| Лучно-чорноземні і чорноземно-лучні  | 2038,9                   | 60,0     |
| Ясно-сірі лісові, сірі лісові, темно-сірі опідзолені                                   | 4333,4                   | 80,5     |
| Дерново-підзолисті, опідзолені, оглеєні  | 3850,2                   | 74,1     |
| Темно-каштанові, каштанові солонцюваті, лучно-каштанові солонцюваті, солонці каштанові | 1382,9                   | 80,0     |
| Буроземи (опідзолені, підзолисті, глейові)   | 1110,0                   | 43,9     |
| Коричневі  | 48,5                     | 26,2     |
| Лучно-болотні і болотні  | 975,3                    | 7,9      |
| Алювіальні лучні і лучно-болотні   | 781,9                    | 18,8     |
| Торфові низинні  | 559,4                    | 14,9     |
| Дерново-піщані і зв'язно-піщані та піски   | 505,5                    | 24,2     |
| Інші   | 647,9                    | 37,5     |
| Всього   | 39822,9                  | 78,5     |

У сучасних умовах ключовим фактором стає вплив господарської діяльності, а саме: сільського господарства, заміна лісової рослинності трав'яною, заміна природної трав'янистої рослинності на культурну, гідромеліоративне будівництво, зміни рельєфу і призначення земель – все це істотно змінює хід ґрунтоутворення.

Форми, у яких проявляється зміна факторів ґрунтоутворення через антропогенний вплив наступні:

- перетворення материнських порід (внаслідок рекультивациі утворюються наноси, внаслідок видобування торфу);
- зміна форм рельєфу (внаслідок утворення териконів, кар'єрів, дамб, планування територій);

- зміна кліматичних параметрів (наслідки глобального потепління, ефекту потепління в мегаполісах, зміни мікроклімату через зрошення);
- зміна характеру біоти (землеробство, лісонасадження) [4].

Також виділяють опосередкований вплив людської діяльності на ґрунти, який проявляється через різні канали не пов'язані безпосередньо з обробкою ґрунту, але може бути не менш шкідливим, ніж прямий. Наприклад, забруднення ґрунтів радіоактивними речовинами може мати катастрофічні наслідки для здоров'я людей і навколишнього середовища. А зміни рослинного покриву можуть призвести до різкого зниження родючості ґрунтів і врожайності сільськогосподарських культур.

Опосередкований антропогенний вплив на ґрунти наступний:

- хімічне забруднення ґрунтів продуктами радіоактивного розпаду, важкими металами та іншими токсичними речовинами, які надходять у ґрунт із атмосфери, води, відходів виробництва та комунального господарства;
- зміни рівня і режиму ґрунтових вод, які можуть призвести до затоплення або пересихання ґрунтів, а також до порушення їхньої структури та складу;
- зміни режиму річок і озер, які впливають на водно-фізичні властивості ґрунтів, а також на їх сольовий баланс;
- зміни окисно-відновних умов та сольового балансу ґрунтів, які можуть призвести до накопичення токсичних речовин, наприклад, заліза та марганцю, до засолення;
- зміни природного рослинного покриву, які можуть призвести до зменшення вмісту гумусу в ґрунтах, а також до їхнього розмиву та ерозії.

У ході своєї економічної діяльності людина адаптує ґрунти відповідно до власних потреб. Антропогенний вплив безпосередньо створюється при обробці ґрунтів за допомогою сільськогосподарської техніки та проведенні меліорацій. Наприклад, внесення мінеральних добрив і застосування пестицидів призводять до змін у хімічному складі ґрунтів і часто призводять до втрати ґрунтових організмів. Інтенсивне розорювання ґрунтів легкого механічного складу може

спричинити дефляцію, а на схилах – площинний змив, лінійну ерозію і, як наслідок, втрату великих площ сільськогосподарських угідь. З розвитком суспільства та технологій використання ґрунту та його трансформація посилюються [4].

Розподіл сільськогосподарських угідь та ріллі по областях України наведено у таблиці 1.2 [5].

Таблиця 1.2 – Розподіл сільськогосподарських угідь та ріллі по областях України [5]

| Область           | Угіддя тис. га | Рілля тис. га |
|-------------------|----------------|---------------|
| 1                 | 2              | 3             |
| АР Крим           | 1820           | 1284          |
| Вінницька         | 2012           | 1730          |
| Волинська         | 1048           | 672           |
| Дніпропетровська  | 2512           | 2127          |
| Донецька          | 2044           | 1654          |
| Житомирська       | 1504           | 1144          |
| Закарпатська      | 451            | 200           |
| Запорізька        | 2238           | 1901          |
| Івано-Франківська | 621            | 401           |
| Київська          | 1609           | 1321          |
| Кіровоградська    | 2032           | 1769          |
| Луганська         | 1907           | 1275          |
| Львівська         | 1240           | 771           |
| Миколаївська      | 2000           | 1708          |
| Одеська           | 2588           | 2077          |
| Полтавська        | 2167           | 1817          |
| Рівненська        | 922            | 658           |
| Сумська           | 1659           | 1235          |
| Тернопільська     | 1036           | 851           |
| Харківська        | 2381           | 1937          |
| Херсонська        | 1962           | 1780          |

Кінець таблиці 1.2

| 1            | 2    | 3    |
|--------------|------|------|
| Хмельницька  | 1561 | 1326 |
| Черкаська    | 1450 | 1272 |
| Чернівецька  | 470  | 331  |
| Чернігівська | 2060 | 1456 |

Україна входить до категорії країн із високим рівнем використання та антропогенної трансформації земельних ресурсів. Відповідно до чинних стандартів, площа розораності від 60 % до 80 % вважається несприятливою, від 20 % до 60 % – умовно сприятливою, а менше 25 % – сприятливою. Значний ступінь розораності земель є небажаним явищем з економічного та екологічного погляду, оскільки це різко зменшує загальний природний потенціал території [6].

Найвища освоєність територій характерна для наступних областей: Запорозька (88 %), Миколаївська (87 %), Кіровоградська (86 %), Дніпропетровська та Одеська (по 83 %), Херсонська (82 %) [6].

## 1.2 Типи деградації ґрунтового покриву

Деградація ґрунтів – це втрата їх родючості та якості через вплив антропогенних або природних факторів. У більш широкому сенсі це поняття охоплює як погіршення основних ознак якісних показників родючості ґрунту без виражених руйнувань чи зникнення генетичних ознак, так і фізичне руйнування ґрунтових шарів до того рівня, коли виникає повна втрата ґрунтом функцій як середовище існування аж до повного їх фізичного зникнення.

В останні роки спостерігається глобальна агрохімічна і агрофізична деградація земель у зв'язку із значним обробітком ґрунту, скороченням обсягів виробництва і застосуванням органічних і мінеральних добрив. Внаслідок цього спостерігається прогресування таких негативних явищ як дегуміфікація,

втрата структури ґрунтів, переуцільнення, втрата основних поживних речовин – виснаження.

За результатами дослідження деградаційних процесів ґрунтового покриву України виділяють наступні типи деградації ґрунтів, що продемонстровано на рисунку 1.1 [6]:

- фізичну, яка виявляється в ерозії, агрофізичній деградації (переуцільнення, втрата структури), зміні режиму вологості (посухостійкість, підтоплення ґрунтів);
- хімічну, виявляється у дегуміфікації та забрудненні ґрунтів;
- фізико-хімічну, відбувається погіршення властивостей ґрунтів внаслідок обмінних реакцій (декальцинація, підкислення, підлуження, осолонцювання);
- біологічну, яка виявляється у мікробіоценозу чи перевтомі ґрунту.

Основна проблема ґрунтових ресурсів України, а також і інших країн з нерозвиненою системою охорони ґрунтів, що являє загрозу національній безпеці, це деградація ґрунтів. Деградація є прямим результатом того, що землекористування в Україні не відповідає принципам раціонального природокористування і віддзеркалює протиріччя між загальнодержавними інтересами щодо збереження якості ґрунтових ресурсів країни та приватними інтересами задля швидких прибутків в результаті господарської діяльності.

Розподіл деградаційних процесів у ґрунтах наведено у таблиці 1.3. Найбільш характерними є:

- незбалансована втрата гумусу та елементів живлення (43 % від площі орних земель);
- ерозійні втрати верхнього родючого шару (34 % від площі орних земель);
- переуцільнення (39 % від площі орних земель);
- замулення і кіркоутворення (38 % від площі орних земель).



Рисунок 1.1 – Поширеність деградації земель України (2023 р.) [6]

Такі дані доводять, що значна частина земельного фонду країни деградована, а у випадку її неконтрольованого розвитку може вимагати консервації земель.

Таблиця 1.3 – Розповсюдженість деградації ґрунтів в Україні [3]

| Деградаційні процеси                                     | Частка від площі орних земель, % |
|--|----------------------------------|
| 1  | 2                                |
| Втрата гумусу та поживних речовин                        | 43                               |
| Переуцільнення   | 39                               |
| Замулювання та кіркоутворення                            | 38                               |
| Водна ерозія площинна                                    | 17                               |
| Підкислення  | 14                               |
| Заболочування  | 14                               |
| Забруднення радіонуклідами                               | 11,1                             |
| Вітрова ерозія, втрата верхнього шару ґрунту             | 11                               |
| Забруднення пестицидами та іншими органічними речовинами | 9,3                              |
| Забруднення важкими металами                             | 8                                |
| Засолення, підлуження                                    | 4,1                              |
| Водна ерозія з яроутворенням                             | 3                                |
| Побічна дія водної ерозії (замулювання водойм, тощо.)    | 3                                |
| Зниження рівня денної поверхні                           | 0,35                             |
| Деформація земної поверхні вітром                        | 0,35                             |
| Аридизація ґрунту  | 0,21                             |

Ґрунти України зазнають різноманітних форм деградації, які негативно впливають на їхні властивості та родючість.

Агрофізична деградація проявляється в зниженні врожайності сільськогосподарських культур. Вона може бути викликана наступними факторами:

- ущільнення ґрунту, яке відбувається внаслідок неправильної обробки ґрунту, надмірного використання техніки та навантаження на ґрунт;

- зниження загальної пористості, яке призводить до зменшення водопроникності ґрунту та погіршення його аерації;
- втрати структури, яка визначає водо- і повітропроникність ґрунту, його здатність до утримання поживних речовин та вологи;
- підвищення твердості, яке ускладнює обробку ґрунту та призводить до його розкошування;
- утворення поверхневої кірки, яка перешкоджає проникненню води та повітря в ґрунт.

Фізико-хімічна деградація може призвести до зниження родючості ґрунтів, а також до погіршення їхніх екологічних властивостей. Вона може бути викликана такими факторами, як:

- декальцинація орного шару, яка призводить до втрати ґрунтом кальцію та інших важливих елементів;
- підкислення або навпаки, підлуження, яке негативно впливає на ріст і розвиток рослин;
- зниження буферності, яка обмежує здатність ґрунту протистояти негативним впливам;
- забруднення техногенними відходами, які можуть містити токсичні речовини, що негативно впливають на здоров'я людей і навколишнє середовище.

Ерозійна деградація є однією з найсерйозніших проблем, з якою стикається ґрунтовий покрив України. Вона може призвести до повної втрати родючості ґрунтів і непридатності їх для сільськогосподарського використання. В Україні ерозія ґрунтів є трьох видів:

- водна ерозія викликається поверхневим або глибоким розмивом ґрунтів під впливом води. Вона є найпоширенішим видом ерозії в Україні;
- вітряна ерозія викликається вітром і призводить до руйнування ґрунтового покриву та утворення пилових бур;
- іригаційна ерозія викликається надмірним використанням води для зрошення, що призводить до засолення ґрунтів та зниження їхньої родючості.

За останні 25 років площі змитих орних земель в Україні збільшилися на 25 % і становлять понад третину площі всієї ріллі. Це є серйозною загрозою для сталого розвитку сільського господарства в Україні [6].

Деградація ґрунтів розвивається внаслідок надмірного антропогенного навантаження, яке перевищує їхню здатність до саморегуляції.

Залежно від ступеня деградації врожай сільськогосподарських культур може знизитися на значення в межах від 10 % до 50 %. Це призводить до значних економічних збитків, які в Україні оцінюються в понад 20 млрд грн/рік.

Крім того, деградація ґрунтів негативно впливає на якість сільськогосподарської продукції. Продукти, вирощені на деградованих ґрунтах, можуть мати нижчу поживну цінність, а також містити шкідливі речовини.

Щорічні втрати ґрунту в Україні становлять близько 600 млн тон, у тому числі понад 20 млн тон гумусу. Це становить значну частку загальних запасів гумусу в ґрунтах країни, які оцінюються в значеннях від 300 т/га до 760 т/га. Динаміка вмісту гумусу в ґрунтах України за останні 130 років наглядно демонструє його втрату, що наведено у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Динаміка вмісту гумусу в ґрунтах України за останні 130 років [3]

| Природно-кліматичні зони | Середній вміст гумусу в орному шарі ґрунтів по роках, % |         |         |         |         |
|--------------------------|---|---------|---------|---------|---------|
|                          | 1882 р.   | 1961 р. | 1991 р. | 2010 р. | 2015 р. |
| 1                        | 2   | 3       | 4       | 5       | 6       |
| Полісся                  | 2,44  | 2,30    | 1,98    | 2,24    | 2,33    |
| Лісостеп                 | 4,51  | 3,81    | 3,52    | 3,19    | 3,21    |
| Степ                     | 4,49  | 3,96    | 3,63    | 3,40    | 3,45    |
| Усього в Україні         | 4,17  | 3,64    | 3,23    | 3,14    | 3,16    |

Фактори поширення деградації ґрунтів в Україні охоплюють наступні аспекти:

- відсутня розробка стратегії землекористування та охорони земель, порушення норм землеробства, порушення екологічної рівноваги та ігнорування концепції сталого землекористування;
- відсутність ефективних національних, галузевих і регіональних програм;
- перевищення значущості різних форм власності на землю та недооцінка важливості технологій раціонального використання земель;
- екстенсивне використання земель, забруднення полів, неефективність використання меліорованих територій (приблизно 6,0 млн га), луків, пасовищ та заплавлених земель.

Причинами деградації ґрунтів є нераціональне використання земель, неправильна система обробітку ґрунту та порушення балансу між природними екосистемами та агроекосистемами.

Процес спалювання соломи та стерні в полі призводить до незворотної втрати від 1,5 т до 2,0 т органічних речовин та від 10 кг до 15 кг азоту. Крім того, це призводить до пересушування ґрунту, загибелі активних мікроорганізмів та згорання органічних речовин. Внаслідок цього погіршуються фізико-хімічні властивості та структура ґрунту (що призводить до його ущільнення та обмеження утримання вологи), знижується інтенсивність процесів амоніфікації та нітрифікації, що спричинює зниження азотного живлення сільськогосподарських культур, і збільшується вітрова ерозія.

Глибока оранка з обертанням пласта створює підняття шарів ґрунту з низьким вмістом гумусу, що призводить до зменшення родючості верхнього шару ґрунту. Крім того, цей процес викликає загибель деяких ґрунтових мікроорганізмів.

Надмірне розпушування ґрунтів створює аеробні умови, що сприяють процесу мінералізації гумусу.

Тривале зрошення суттєво змінює агрофізичний стан ґрунтів зменшуючи кількість агрономічно цінних агрегатів в орному та підорному шарах. Деградація структури пояснюється спільною взаємодією зниження запасів органічних речовин у ґрунті, тривалим механічним обробітком та засоленням.

Ущільнення ґрунту за допомогою важкої техніки здійснюється на глибину від 80 см до 100 см, що призводить до погіршення водно-повітряного, температурного та інших режимів ґрунту. Цей процес має негативний вплив також на всі біохімічні процеси, що відбуваються в ґрунті. Найагресивнішими для ґрунтів є азотні добрива (за виключенням калієвої, натрієвої та кальцієвої селітри), оскільки в результаті їх гідролізу виділяється кислота, що відповідно потрапляє у ґрунт. Подальше поглинання амонію та нітрифікація сприяють посиленню цього процесу, дегуміфікації та загальної втрати властивостей ґрунту.

Внесення водного технічного та рідкого синтетичного аміаку є особливо руйнівним для ґрунтів. У місцях де концентрація цих речовин підвищена, гумус розчиняється, що призводить до загибелі мікро- та мезофауни і флори. А дегуміфікація, декальцинація та деструктуризація, що відбуваються у місцях підвищеного вмісту аміаку, погіршуються агрофізичні та агробіологічні властивості ґрунту.

Розорювання. Розораність українських земель складає 53,8 %. Це досить велике значення, так, до прикладу, у європейських країнах орні землі займають від 30 % до 32 % загальної площі [3, 6]. Внаслідок розорювання вміст гумусу у ґрунті знижується, що призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур. Відбувається руйнування структури ґрунту, що погіршує його водно-фізичні властивості. Також відбувається підвищення ерозійної небезпеки, оскільки розорювання зменшує його стійкість до дії води та вітру.

Наступна причина ґрунтової ерозії – перевипасання, яке знищує трав'яний покрив, інтенсифікує ерозію та створює передумови втрати детриту, що унеможлиблює відновлення родючості ґрунтів.

Вирубування лісів сприяє розмиву ґрунту водою та вітром, зменшенню вмісту органічної речовини. Це може призвести до зниження родючості ґрунтів, а також до забруднення навколишнього середовища та зниження стійкості до ерозії. Як наслідок можуть виникати катастрофічні наслідки. Наприклад, у 2013 році в Україні внаслідок сильних дощів було затоплено понад 10 тис. га сільськогосподарських земель. Це було пов'язана з вирубуванням лісів у Карпатському регіоні.

Зрошення в регіонах з недостатніми опадами часто є причиною вимивання солей з глибоких шарів ґрунту та засолення поверхневих шарів через швидке випаровування води. Засолення, яке виникає, може перетворити території на пустелі (при вмісті 1 % солі у ґрунті врожайність сільськогосподарських культур зменшується на третину, а при 2 % чи 3 % вмісту солі вона повністю втрачається).

Крім того, зрошення може призвести до забруднення земель важкими металами, пестицидами, нафтопродуктами та радіонуклідами, якщо джерело зрошення має низьку якість води. Нераціональне зрошення може призвести до заболочення. Нині у світі засолено близько 30 % зрошуваних земель [6, 8].

Осушення боліт є фактором, який погіршує деградацію ґрунтів. Природні болотисті екосистеми грають важливу роль у збереженні біорізноманіття та екологічного балансу. Однак осушення цих зон може призвести до негативних наслідків для ґрунтового покриву, а саме: втрати органічних речовин, зміни хімічного складу ґрунту, зниження рівня ґрунтових вод, збільшення вразливості до ерозії, втрати біорізноманіття.

Спустелення являє собою процес зниження біологічної продуктивності природних екосистем. Спустелювання – деградація земель в аридних, напіваридних і посушливих ділянках земної кулі, що викликана діяльністю людини та природними факторами і процесами.

Значна кількість земель втрачає своє сільськогосподарське призначення через процес розширення міського освоєння (урбанізації), що є підсумковим процесом, що відбувається на глобальному рівні. При цьому, залежно від

регіону та конкретних умов господарювання, деградація ґрунтового покриву може виникати в результаті будь-якого з наведених факторів [8, 9].

Таким чином, підсумовуючи вищевикладене, можна виділити головні наслідки деградації ґрунтів:

- дегуміфікація – втрата гумусу в середньому розмірі від 0,6 т/га до 1,0 т/га щорічно, являє собою проблему, яка загострюється з часом. За останні 40 років втрата гумусу склала 0,4 %, з показника 3,5 % у 1960 році до 3,1 % у 1996 році;

- еродованість, яка охоплює до 40 % загальної площі України. Щороку змивається понад 500 мільйонів тонн ґрунту, внаслідок чого втрачаються 24 мільйони тон гумусу, 1 мільйон тонн азоту, 700 тисяч тон фосфору та 10 мільйонів тон калію. Площа еродованих земель щорічно збільшується на понад 80 тисяч гектарів. Повний збиток – понад 10 мільярдів умовних одиниць за рік;

- від’ємний баланс елементів живлення, який досягає 100 кілограмів на гектар і більше;

- переущільнення, що охоплює майже всю сільськогосподарську землю;

- забруднення, що охоплює до 20 % усіх земель, особливо у міських, приміських та промислових районах, де вміст елементів перевищує або дорівнює максимально допустимим рівням;

- меліорація зрошуваних ґрунтів, яка призвела до: підтоплення 500 тис. гектарів земель, осолонцювання та засолення 10 млн гектарів, осушення 800 тис. гектарів, закислення орних ґрунтів на площі 4451 тис. гектарів, а солонці та солонцеві землі займають 3986 тис. гектарів [10].

## 2 НАСЛІДКИ ПОРУШЕННЯ ҐРУНТІВ ВІД ВОЄННИХ ДІЙ ТА МОЖЛИВІ ШЛЯХИ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ

### 2.1. Типи порушення ґрунтів від воєнних дій

Внаслідок воєнних дій навколишнє середовище, а особливо ґрунтове, зазнає значного негативного впливу, наслідки якого важко спрогнозувати. Особливістю погіршення якісних властивостей ґрунту є довготривалість, тому продуктивні функції ґрунту значно погіршуються [11].

Вплив воєнних конфліктів на ґрунтово-рослинний покрив та загалом на природне середовище може бути систематизованим за допомогою наступних критеріїв:

- прямий та опосередкований вплив;
- первинність та вторинність виникнення;
- масштаб впливу;
- тривалість та повторюваність [12].

Прямий вплив пов'язаний зі зміною поверхні внаслідок вибуху, у той час як непрямий виникає внаслідок ударної хвилі та порушення стійкості ґрунтового покриву. На рівнинах непрямі наслідки є відносно незначними, тоді як у гірських умовах вони можуть бути значними і залежати від крутості схилу та маси переміщеного ґрунту, активізованого ерозійними процесами. Хімічне забруднення ландшафту є не менш небезпечним, включаючи не тільки отруйні речовини, але й важкі метали, що утворюються у снарядах, мінах та інших боєприпасах. Обмеження використання певних шкідливих речовин, які діють на цивільні об'єкти, часто не поширюються на збройні сили. Крім того, важливі наслідки можуть виникнути внаслідок використання самої зброї, наприклад, звичайні кулі зі свинцю, тоді як кулі для пробивання танкової броні містять уран, а вибухові речовини містять у складі вуглець та азот, а іноді навіть меркурій [12].

До наслідків військових дій для земель можна віднести таке явище, як ерозію та неможливість швидкого природного відновлення навколишнього середовища (включаючи появу рослинності, яка значно відрізняється від місцевої ендемічної флори), спричинене знищенням лісів та переміщенням пісків.

Руйнування інфраструктури може призвести до таких наслідків воєнних дій, як хімічні та радіоактивні викиди від пошкоджених заводів і складів, горіння нафтових свердловин, мікробіологічне забруднення води внаслідок пошкодження каналізаційних систем, а також затоплення земель в результаті руйнування гребель та іригаційних систем. Крім того, певним аспектом екологічної шкоди є матеріальні залишки воєнних дій, відомих як «відлуння війни», що включають залишені в ґрунтах міни, нерозірвані авіаційні бомби, снаряди та інші бойові припаси [12].

Оцінка впливу військово-техногенного навантаження на ґрунти базується на визначенні рівнів інтенсивності бойових дій, які враховують типи бойового пошкодження. Одним із завдань еколого-геохімічної оцінки ґрунтів у зонах воєнних дій є ідентифікація складу та структури факторів військово-техногенного навантаження, а також визначення причинно-наслідкових зв'язків між ними.

Україна, починаючи з 24 лютого 2022 року, переживає повномасштабні воєнні дії зі значним впливом на ґрунтовий покрив. Цей вплив можна розділити на дві основні групи:

- первинний включає в себе безпосередньо механічну деформацію ґрунтового покриву, теплове забруднення, а також засмічення поверхні;
- вторинний – наслідки, що виникають в разі відсутності дій спрямованих на відновлення земель після первинного впливу – підтоплення, засолення, ерозійні процеси, пірогенна деградація, дегуміфікація та інші явища.

Військові дії призводять до ряду механічних, фізичних та хімічних впливів на ґрунтовий покрив. Ці впливи призводять до руйнування структури та функцій ґрунтової екосистеми і спричиняють зниження фізико-геохімічних

властивостей ґрунтів. Для різних типів військових об'єктів характер пошкодження може відрізнятися від виду та типу бойових дій, впливу на поверхню рельєфу, стану ґрунтів (включаючи воронки від вибухів та наслідки руху бойової техніки), а також стану захисних споруд (окопи, бліндажі, вогневі точки, протитанкові споруди і т. д.). Забруднення верхніх шарів ґрунтового покриву продуктами бойових снарядів та захаращення поверхні (залишки бойової техніки, захисні споруди, осколки тощо) також можуть бути враховані.

Наслідки включають у себе знищення рослинності, порушення структури ґрунтового покриву, дефіцит природного зволоження та опустелення. Ці явища є загальними результатами воєнно-техногенного впливу. Цей процес супроводжується різким скороченням біологічних популяцій та видів, а втрата біорізноманіття ще більше посилюється внаслідок змін функції та структури ландшафтів.

Механічний вплив. Механічний вплив під час воєнно-техногенних дій призводить до деформації ґрунтового покриву. Це відбувається під час пересування військової техніки, будівництва споруд, вибухів, розмінування та будівництва оборонних об'єктів. Механічний вплив також супроводжується хімічним забрудненням ґрунтів, що робить їх непридатними для використання.

Рух військ, особливо важкої техніки, призводить до ущільнення ґрунту. При цьому відбувається руйнування структури ґрунту (під тиском важкої техніки ґрунтові частинки втрачають зв'язок між собою, що призводить до зменшення його ємності для води та повітря); розрідження незв'язного ґрунту (може призвести до переведення ґрунту в текучий стан, що особливо характерно для водонасичених дисперсних ґрунтів, таких як піски); пошкодження гумусового шару, що негативно впливає на родючість ґрунту.

Деформація структури ґрунту за рахунок воєнно-техногенного навантаження відбувається через зміщення одного шару частинок відносно іншого. Цей процес веде до втрати щільності взаємозв'язку між частинками ґрунту та повного руйнування структури. Утворення більш щільної структури

частинок ґрунту виникає при опусканні ґрунтових агрегатів у глибші шари розрідженої субстанції [11].

У результаті компактизації ґрунтів адаптація рослин до змін клімату, сухих умов та недостатньої вологості погіршується. З іншого боку, ущільнений механічним впливом ґрунт стає більш стійким до подальших воєнно-техногенних впливів в умовах постійного дефіциту продуктивної вологи [14].

На маршрутах руху військової техніки формуються глибокі сліди та шляхи з багатьох колій, які часто наповнюються водою, що спричиняє перезволоження навколишньої місцевості. Пошкодження ґрунтового покриву також призводить до виникнення обширних зон дефляції та вторинного підняття пилу, що розповсюджуються на великі площі.

Деформації поверхні ґрунту, такі як перемішування шарів, виявляють у зв'язку з будівництвом наземних та підземних об'єктів укріплення, таких як бліндажі, окопи, траншеї, тунелі, сховища паливно-мастильних матеріалів та сховища бойових матеріалів. Цей процес інтенсифікує ряд геоморфологічних явищ, таких як зсуви, заболочування, осідання ґрунту. Саме тому при будівництві фортифікаційних споруд враховується глибина розташування ґрунтових вод та умови ґрунтозволоження.

З метою протидії ворогу може здійснюватись навмисне заболочування ґрунту, затоплення великих площ земель для створення непрохідності важко військової техніки. Прикладом такого рішення є навмисне затоплення заплави річки Ірпінь під час військових дій на Київщині у березні 2022 року. В результаті підриву греблі було затоплено величезну територію в районі сіл Демидова та Козаровичів (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Заплава річки Ірпінь в районі Демидова – Козаровичів після підриву греблі [15]

Формування кратерів під час воєнних дій викликане бомбардуванням. Внаслідок вибухової дії відбувається швидке вивільнення енергії, що створює колову ударну хвилю, яка оточує точку удару і призводить до формування воронки. Вибухова хвиля ініціює руйнування послідовності ґрунтових шарів з явним порушенням повітряно-водного режиму. В результаті вибуху частина ґрунту видаляється, утворюючи котлован (рисунок 2.2). Ґрунт, який залишається на місці удару, піддається турбулентності, динамічному ущільненню і містить численні металеві уламки та токсичні речовини. У воронці накопичується листовий опад, а процеси вивітрювання та вилуговування прискорюються.

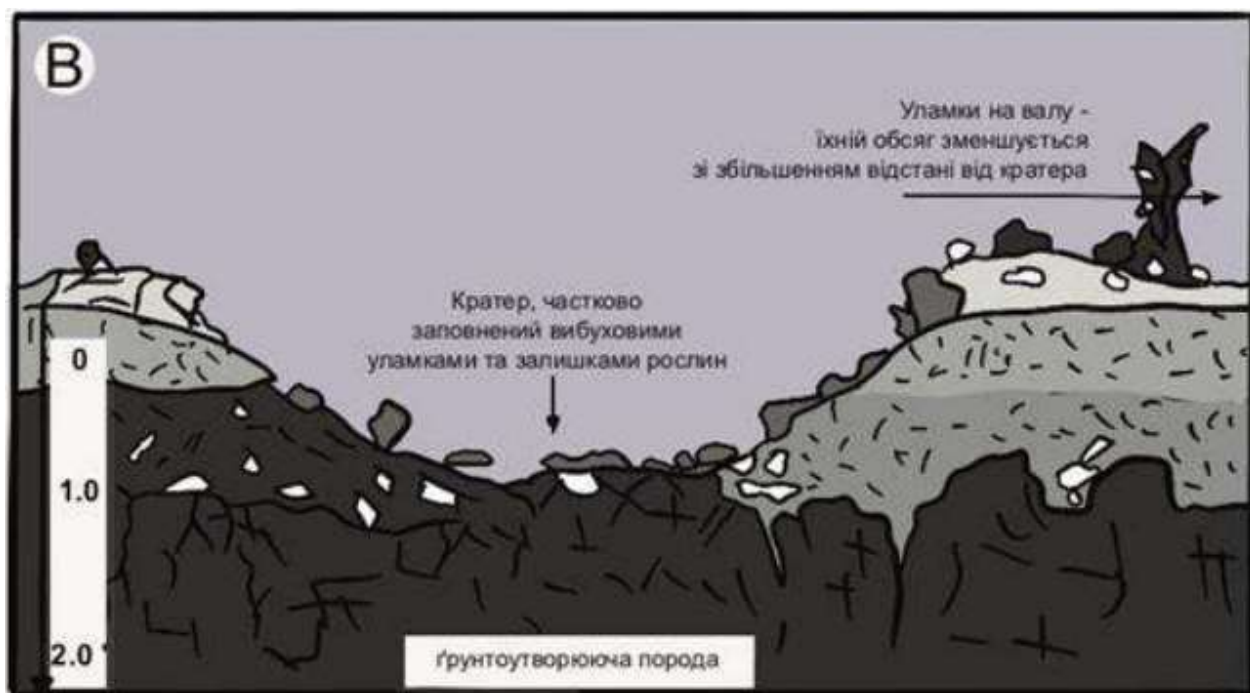


Рисунок 2.2 – Кратер, утворений бомбардуванням [11]

Такий вид впливу на ґрунт було визначено як «бомбтурбація». Під час нього генетичні горизонти ґрунту змішуються, що веде до перетворення мікрорельєфу та утворення характерних поствоєнних ландшафтів.

Якщо боеприпаси входять в ґрунт під гострим кутом, то утворюється кругла воронка з піднятими бортиками або вал з тонкого шару осколків. Якщо боеприпаси вибухають під меншим кутом, то в цьому місці утворюються яйцеподібні або подовгасті кратери, а вибухова хвиля розширюється на значну відстань за межі кратера. Ґрунотворні відкладення в цих випадках руйнуються та розносяться вибуховою хвилею.

Під впливом вибуху поверхня ґрунту піднімається, створюючи низький вал, половину якого складають викинуті уламки. Основна частина цього валу являє собою структурне підняття підстильної поверхні, яка існувала тут перед вибухом. Краї воронки, під впливом гравітації та значної кількості уламків, опускаються на дно. Глибина утвореної воронки залежить від складу порід та глибини їх залягання. У пористих ґрунтах формується глибша воронка, ніж у щільних.

Утворені вибухами воронки стоять місцями накопичення води та органічних речовин. Досить швидко на дні кратера або воронки формується гідрофільна рослинність, що відрізняється від типового рослинного покриву місцевості (рисунок 2.3). При утворенні воронки в місцях близьких до залягання ґрунтових вод розвиток ґрунту та рослинності сповільнюється.



Рисунок 2.3 – Кратер, утворений бомбардуванням і заповнений ґрунтовими водами [11]

Так звані «килимові бомбардування» суттєво порушують ландшафти, що супроводжується деградацією ґрунтів і посиленням процесів внутрішньо-ґрунтового озалізнення (рисунок 2.4).

За результатами дослідження довгострокових наслідків бомбардування відповідно [16] виявлено, що більш ніж через століття після створення кратерів тут спостерігається потужна рослинність з накопиченням органічної речовини на їхньому дні, яка сприяла потовщенню гумусового та гумусово-елювіального горизонтів та їх швидкому закисленню.

Механічний вплив не лише деформує ґрунтовий покрив, а і супроводжується забрудненням ґрунту продуктами бойової діяльності, такими як металеві відходи гільз та осколки артилерійських снарядів. Значна частина забруднюючих речовин надходить від вибухових речовин боєприпасів, які вибухають випадково під дією тиску. При подальшому знищенні боєприпасів мінно-вибухових речовин, пристроїв відкритого підриву у ґрунтах

накопичуються важкі метали (кадмій, нікель, мідь, цинк, свинець), що створює додаткове навантаження на навколишнє середовище.



Рисунок 2.4 – Наслідки «килимових бомбардувань» [17]

Під час процедури розмінування території, гумусовий горизонт руйнується, що веде до втрати фізико-хімічних властивостей ґрунту та змінюється його гранулометричний та агрегатний стан. Це погіршує родючість та водоутримуючу здатність ґрунту. Установка мін передбачає виникнення турбулентності ґрунту в майбутньому. Вибухова детонація спричинює забруднення металевими осколками та залишками вибухової речовини.

Також результатом бойових дій є пожежі, що являють собою первинні наслідки воєнно-техногенного навантаження. В подальшому це провокує водну та вітрову ерозію. На вигорілих ділянках утворюється гідрофобний шар, спостерігається винесення гумусових речовин, що обмежує інфільтрацію води (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Наслідки бомбардувань на обстрілів лісів Чернігівщини [18]

У період з 24.02.2022 року по 01.04.2022 року територія зони відчуження Чорнобильської АЕС була під окупацією, за час якої 14074 га ґрунтового покриву зазнали шкоди внаслідок пожеж, спричинених окупантами. Після деокупації зони відчуження зафіксовано пожежі на площі 18132 га [11].

Ґрунти, які зазнали пожеж, мають характерні зміни кислотно-лужних умов у бік нейтральної реакції рН. Це пояснюється проникненням зольних водорозчинних сполук у глибинні шари ґрунтового профілю та насиченням поглинаючого комплексу лужноземельними елементами, що і змінює реакцію середовища. Так, у горілих ґрунтах концентрації валових форм техногенних металів мають перевищення фонових концентрацій – нікель у 4 рази, свинець у 6 разів, цинк та мідь в 3 рази. Дещо менший вміст ванадію та хрому.

Наслідком впливу вибухів також є потоки сміття, неглибокі зсуви та забруднення ґрунтів в результаті горіння токсичними сполуками (поліароматичні вуглеводні), рисунок 2.6.



Рисунок 2.6 – Наслідки бомбардувань на обстрілів лісів Чернігівщини [11]

Хімічний вплив та його наслідки для ґрунтів. Хімічний вплив воєнних подій викликає зміни природних характеристик ґрунтового покриву через вплив забруднюючих речовин, які потрапляють у ґрунт внаслідок застосування зброї та військової техніки. Тривала військова діяльність спричиняє утворення локальних військово-техногенних геохімічних аномалій із різним спектром токсичних речовин, що може призвести до накладання довгострокової заборони на використання земель.

До хімічних забруднювачів воєнно-техногенного походження входять: паливо транспортних засобів, мастильні матеріали, сольвенти, залишки вибухових речовин, дезактиваційні речовини, важкі метали та їх сполуки, радіоактивні речовини.

До складу боєприпасів, що використовуються при стрільбі входить порох та вибухові речовини, які при горінні виділяють азот, сажу, вуглеводні, свинець, двоокис марганцю та інші. Ці речовини є небезпечними для здоров'я людини та навколишнього природного середовища. Наприклад, під час вибуху одного 115 мм осколково-фугасного боєприпасу, що містить гексоген, вивільнюється близько 4000 л газу із продуктами згоряння гексогену. Близько 30 % газів розсіюється в повітрі, а важкі фракції та важкі метали осідають на ґрунт.

Вибухові матеріали сприяють викиду металів у ґрунтове середовище. Дослідження [19] показало, що артилерійські удари викидають частки, що мають високий вміст свинцю (Pb) і міді (Cu), які можуть походити з артилерійських снарядів та гармат.

Сучасні вибухові речовини або енергетичні речовини представляють собою азотовмісні органічні сполуки, які володіють високим потенціалом самоокислення з переходом до малих газоподібних молекул ( $N_2$ ,  $H_2O$  і  $CO_2$ ). Вибухові речовини класифікуються як первинні або вторинні в залежності від їхньої появи до ініціації. Первинні вибухові речовини часто використовують для запалення вторинних вибухових речовин, таких як тротил, гексоген, октоген і тетрил.

Крім територій, де ведуться активні бойові дії, забрудненню підлягають і полігони, на яких здійснюється військова підготовка з використанням різноманітних боєприпасів із вмістом вибухових сумішей. Залишки від детонації військових боєприпасів (снарядів, гранат, наземних мін, авіабомб та ракет) є джерелом вибухового та вуглеводневого забруднення.

Просторовий розподіл залишків відбувається неоднорідно. При здійсненні протитанкових і артилерійських стрільб, скидання бомб відбувається випадковий розподіл точкових впливів, а при детонації артилерійських снарядів, мінометів і ручних гранат високого порядку лише невеликий відсоток (від 0,001 % до 0,000001 %) від початкової маси осідає, більша ж частина вибухівки витрачається. Отже, вибухи високого порядку не

мають впливу на загальні залишки забруднюючих речовин на більшій відстані від місця стрільби. Внаслідок вибухів низького порядку вихідний склад боєприпасів розподіляється по поверхні ґрунту [11].

Нерозірвані вибухові пристрої та наземні міни призводять до значних негативних наслідків для ґрунтів упродовж десятиліть. Загроза включає в себе викиди токсичних речовин внаслідок корозії вибухових пристроїв, а також ризики, пов'язані з випадковою детонацією. Це може призвести до непоправних втрат цивільного населення (так звані, прямі наслідки випадкової детонації). Крім того, залишки наземних мін позбавляють місцеві громади доступу до землі та природних ресурсів.

За результатами досліджень [11] зони антитерористичної операції (АТО) Донецької і Луганської областей за період від 2016 року до 2020 року, у ґрунтах визначено високий вміст важких металів, а саме: свинцю, міді, миш'яку, цинку, хрому, кадмію, молібдену, барію, калію, магнію та вольфраму.

Важкі метали мають домінуючий спектр воєнно-техногенного забруднення і саме їх необхідно використовувати в якості провідних індикаторів при прогнозуванні змін екологічного стану ґрунтів на уражених військовими діями територіях.

Ще одним джерелом хімічного забруднення ґрунту є паливно-мастильні матеріали, відпрацьовані масла, антифриз та органічні розчинники, які використовуються при обслуговуванні та ремонті озброєння і військової техніки у полях. В місцях скупчення військової техніки та збереження паливно-мастильних матеріалів відзначається найбільша концентрація нафтопродуктів. В результаті потрапляння нафтопродуктів у ґрунт відбувається зміна його хімічного складу, що знижує здатність до самовідновлення та біологічну активність.

Окрім паливно-мастильних матеріалів до ґрунту потрапляють і їх складові: парафіни, нафтени, ароматичні вуглеводні, бензол, толуол, поліциклічні вуглеводні. В окрему групу можна виділити хлорвуглеводневі сполуки: дихлоретан, трихлоретан, хлорбензол, які являють собою більшу

частину сольвентів. Токсичні гази і піл переносяться повітрям і чинять гострий токсичний вплив на ґрунтові організми. Бензол, толуол, етилбензол і ксилол можуть спричинити хронічний вплив на стан здоров'я населення. Вуглеводні, як потрапили у ґрунт, частково або повністю заповнюють пори ґрунту, що блокує потік повітря та води. В результаті, дихання коренів рослин блокується, ґрунтові мікроорганізми недоотримують кисень та вологу [20, 21].

До загроз тривалого періоду невикористання ґрунтів становить використання білого фосфору у запальних бомбах. Фосфор утворює сполуки, які є ксенобіотиками для ґрунтових біоценозів і може виявляти тривалий негативний вплив на них.

Механізм впливу детонації боєприпасів на навколишнє середовище можна представити у вигляді схеми (рисунок 2.7), а наслідком ерозії ґрунту є втрата родючого шару та вивільнення накопиченої в ньому органіки в атмосферне повітря. Це є основною причиною глобальних змін клімату та опустелення [17].

Фізичний вплив та наслідки для ґрунтів. Фізичний вплив у даному контексті розглядається як зміна фізичних характеристик ґрунтового покриву від застосування систем зброї та військової техніки.

Вібраційний вплив характеризується низькочастотними коливаннями і передає їх через тверді об'єкти, що мають прямий контакт з робочими механізмами. Цей вид впливу пов'язаний з генерацією енергетичних імпульсів під час бойової підготовки. Одноразові імпульси виникають внаслідок вибухів боєприпасів на полігоні та від стрільби з різних збройних систем, тоді як періодично повторювані включають в себе шум і вібрацію, які формуються в результаті роботи військової техніки.

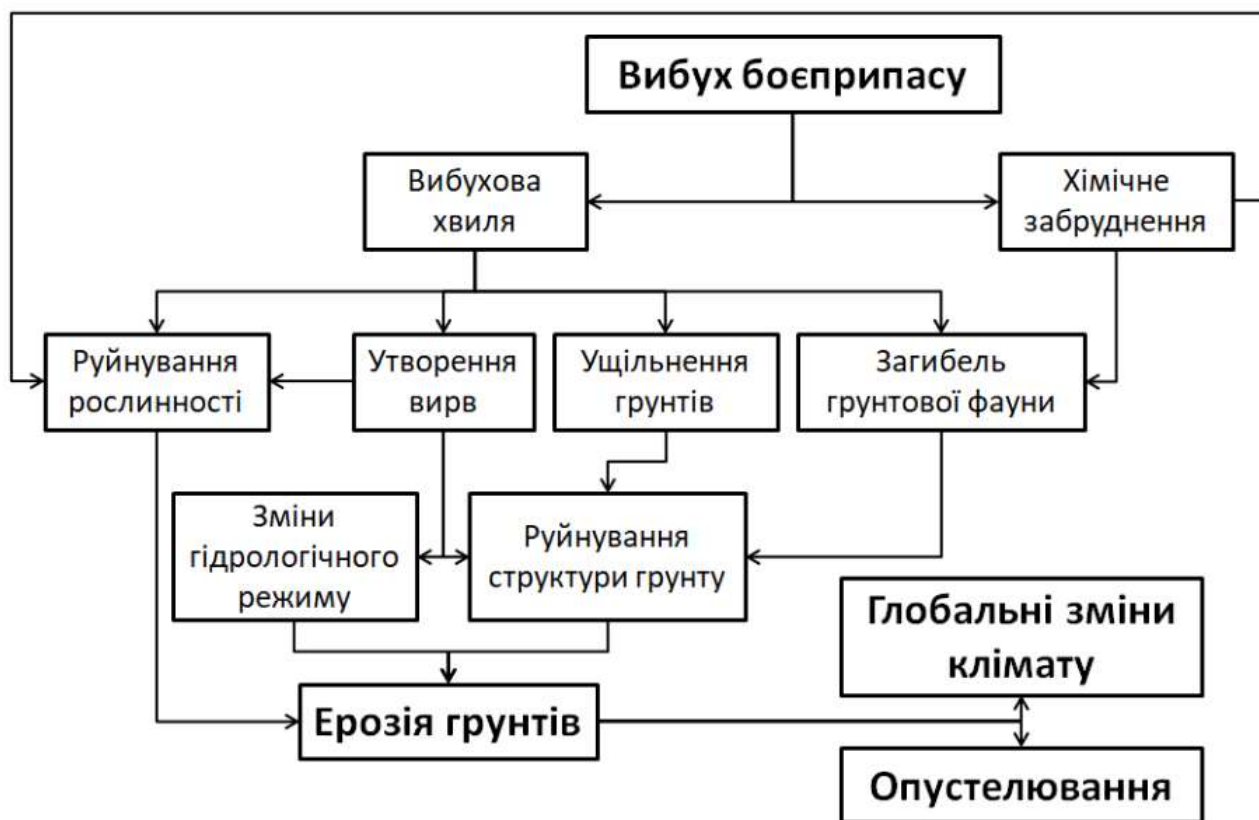


Рисунок 2.7 – Схема впливу детонації боєприпасів на навколишнє середовище [17]

Військова автомобільна техніка і бронетехніка, дизельні, газодинамічні та вентиляційні системи різного призначення є джерелами вібрацій на військовому полігоні. Вібрація, яка передається у ґрунти, може призвести до його ущільнення, виштовхування води, опускання поверхні, утворення порожнин та зміни мікрорельєфу.

При використанні боєприпасів із збідненим ураном, а також засобів та приладів із джерелами іонізуючого випромінювання може відбуватись радіоактивний вплив. Важливо зауважити, що на сьогодні в Україні не зафіксовано використання такого типу зброї [11].

Локальне підвищення температури через викиди нагрітого повітря, порохового газу, газоподібних продуктів детонації боєприпасів та вихлопних газів спричинює тепловий вплив. Він негативно впливає на ґрунтовий покрив, порушуючи термічний та водний режим, а також змінює гранулометричний та агрегатний склад. Зміни термічного режиму впливають на мікроорганізми,

змінюючи їхню оксигенацію та призводячи до зменшення біорізноманітності. Для цього виду впливу не розроблено загальних нормативів.

Застосування рф фосфорних боеприпасів, які мають температуру горіння білого фосфору близько 2760 °С, викликає перепалювання ґрунту, з'являється блокова структура та тріщинуватість у сухому стані, рисунок 2.8.



Рисунок 2.8 – Кратер, утворений фосфорним бомбардуванням [11]

## 2.2 Вплив порушення ґрунтів та шляхи міграції забруднюючих речовин

В Україні, починаючи з 24 лютого 2022 року (а на Сході України ще з 2014 року), маємо щоденні обстріли з використання як дозволених, так і заборонених снарядів, виникненням вирив від авіабомб та артилерійських обстрілів, нові заміновані території, знищення важкої військової техніки, що супроводжується витоком нафтопродуктів, пожежами та іншими негативними явищами. Усі ці наслідки воєнних дій призводять до забруднення ґрунтів та викликають негативні ефекти для економіки країни та здоров'я населення.

Забруднюючі речовини, що виникають в результаті воєнно-техногенного навантаження (система повітря – ґрунт – вода) за типами та видами використовуваних систем зброї наведені у таблиці 2.1.

Таблиці 2.1 – Забруднюючі речовини, що виникають в результаті воєнно-техногенного навантаження (система повітря – ґрунт – вода) за типами та видами використовуваних систем зброї [11]

| Вид зброї, що використовується  | Тип зброї, що використовується   | Забруднюючі речовини, що виникають в результаті бойової діяльності  |
|---|--|---|
| 1   | 2  | 3   |
| Стрілецька зброя  | пістолети, снайперські гвинтівки, автомати, кулемети ручні, кулемети ротні | Повітря: CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , HF, Hg, CnHm, CH <sub>2</sub> O, Cu, Mn, Al, Mg, Fe, C, Pb   |
|   |  | Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Zn, Pb, Sn, Mg  |
|   |  | Ґрунт: Cu, Fe, Al, Fe, Mn, Zn, Pb, Sn, Mg, P, Al, хлориди, нітрати  |
| Гранатомети стрілецька зброя ручні гранати  | автоматичні (підствольні) ручні станкові протитанкові                      | Повітря: CnHm, CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , C <sub>20</sub> H <sub>17</sub> , Cu, Mn, Al, Mg, Fe, C, Pb  |
|   |  | Вода: Cu, Fe, Al, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr  |
|   |  | Ґрунт: Cu, Fe, Al, Fe, Mn, Zn, Pb; Sn, Mg, P, Al, Hg, Cd, Cr  |
| Озброєння БМП (БТР): стрілецька зброя ручні гранати                                 | 14,5 мм КВТ<br>73 мм П<br>30 мм П<br>14,5 мм ВС                            | Повітря: CnHm, CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCl, Cl <sub>2</sub> , HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CH <sub>2</sub> O, Cu, Mn, Al, Mg, Fe, C, Pb   |
|   |  | Вода: Cu, Fe, Al, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, нафтопродукти   |
|   |  | Ґрунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr   |
| Озброєння бойових машин піхоти (БМП, БТР), ручні гранати                            |  | Повітря: C, CnHm, CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCl, Cl <sub>2</sub> , HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CH <sub>2</sub> O, C <sub>20</sub> H <sub>17</sub> , Cu, Mn, Al, Mg, Fe, C, Pb,                 |
|   |  | Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, нафтопродукти   |
|   |  | Ґрунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, нафтопродукти  |
| Озброєння бойових машин піхоти (БТР) ПТКР (на електронних тренажерах) ручні гранати |  | Повітря: CnHm, CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCl, Cl <sub>2</sub> , HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CH <sub>2</sub> O, C <sub>20</sub> H <sub>17</sub> , Cu, Mn, Al, Mg, Fe, C, Pb, нафтопродукти      |
|   |  | Ґрунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Hg, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти  |
| Озброєння танків, озброєння САУ стрілецька зброя ручні гранати                      | 23 мм ВЯ<br>115 мм ТП<br>125 мм ТП   | Повітря: CnHm, CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCl, Cl <sub>2</sub> , HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CH <sub>2</sub> O, C <sub>20</sub> H <sub>17</sub> ; Cu, Mn, Al, Mg, Fe, C, Pb, нафтопродукти, пил |
|   |  | Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Zn, Hg, Pb, Cd, Cr, P, нафтопродукти  |
|   |  | Ґрунт: Cu, Fe, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, P, нафтопродукти   |

Кінець таблиці 2.1

| 1  | 2   | 3  |
|--|---|--|
| Озброєння танків<br>зенітний кулемет<br>танка<br>ручні гранати   |   | Повітря: CnHm, CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCl, Cl <sub>2</sub> , HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CH <sub>2</sub> O, C <sub>20</sub> H <sub>17</sub> , Cu, Mn, Al, Mg, Fe, C, Pb,   |
|  |   | Ґрунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Hg, Pb, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти   |
| Ствольна артилерія,<br>міномети  | 76 мм П ЗІС-3;<br>85 мм П Д-44;<br>100 мм ПТП МТ-12;<br>122 мм ГД-30;<br>152 мм ПГ Д-20;<br>152 мм СГ 2С5;<br>152 мм СГ 2С19;<br>203,2 мм П 2С7;<br>82 мм БМ-38, 2Б9;<br>120 мм ПМ;<br>120 мм М 2С9,<br>2С12; 240 мм М2С4 | Повітря: CnHm, CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , C, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCl, Cl <sub>2</sub> , HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CH <sub>2</sub> O, C <sub>20</sub> H <sub>17</sub> , Cu, Mn, Al, Mg, Fe, C, Pb |
|  |   | Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Zn, Hg, Pb, Cd, Cr, нафтопродукти  |
|  |   | Ґрунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, нафтопродукти   |
| Ствольна артилерія ПТКР,<br>протитанкова артилерія, бойова стрільба наземної артилерії                         | -/-,<br>9К111<br>9К113<br>9К149   | Повітря: CnHm, CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , C, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCl, Cl <sub>2</sub> , HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CH <sub>2</sub> O, C <sub>20</sub> H <sub>17</sub> , Cu, Mn, Al, Mg, Fe, C, Pb |
|  |   | Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Hg, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти  |
|  |   | Ґрунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Hg, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти   |
| Стрільби на гвинтівковому артилерійському комплекті  |   | Повітря: CO, CO <sub>2</sub> , Cu, Mn, Al, Mg, Fe, C, Pb   |
|  |   | Ґрунт: Cu, Fe, Al, Cd, Pb, Zn, Cr, Mn, Mg, Hg  |
| Рух самохідно-артилерійських і зенітних установок, бойових машин піхоти, колісних, гусеничних бронетранспортер |   | Повітря: CnHm, CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , C <sub>20</sub> H <sub>17</sub>   |
|  |   | Вода: Pb, нафтопродукти  |
|  |   | Ґрунт: Pb, нафтопродукти   |
| Рух інженерних машин і автомобілів   |   | Повітря: CnHm, Pb, CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , C <sub>20</sub> H <sub>17</sub>   |
|  |   | Вода: Pb, нафтопродукти  |
|  |   | Ґрунт: Pb, нафтопродукти   |
| Рух автомобілів, гусеничних тягачів і транспортерів  |   | Повітря: CnHm, Pb, CO, CO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , C <sub>20</sub> H <sub>17</sub> ,   |
|  |   | Вода: Pb, нафтопродукти  |
|  |   | Ґрунт: Pb, нафтопродукти   |

Вже встановлено, що військово-техногенне забруднення має руйнівні наслідки для здоров'я населення. Високий вміст важких металів може

призвести до порушення функцій нервової системи, системи кровотворення та внутрішньої секреції. Хімічні забруднення сприяють розвитку злжкисних новоутворень, атеросклерозу та впливають на апарат спадковості.

Пошкодження ґрунту внаслідок військових дій можуть бути механічними, фізичними та хімічними, механізм та вплив якого розглянуто у попередньому розділі.

Воєнно-техногенні втручання породжують характерні забруднення ґрунтового середовища. Паралельно з викидами органічних забруднювачів, таких як поліароматичні вуглеводні та поліхлоровані біфеніли, військова активність тісно пов'язана з контамінацією ґрунтів важкими металами. Особливо велике накопичення металів на територіях бойових дій внаслідок застосування різних видів озброєнь [22]. Таким чином, викиди забруднюючих речовин, пов'язані з військовою діяльністю, можуть свідчити про прямий вплив на природне середовище та грати значну роль у стані здоров'я цивільного населення. Засвідчено, що вплив забруднюючих речовин військово-техногенного походження викликає негативні наслідки для здоров'я, які пов'язані з хворобами серцево-судинної системи, метаболічними порушеннями, неврологічними захворюваннями та онкологією [23].

Потрапляння вищезазначених речовин в організм людини є фактором ризику для розвитку різноманітних патологій та може призвести до зростання та ускладнення перебігу ряду захворювань. Багато мікроелементів, включаючи ті, які необхідні для живих організмів, у високих концентраціях можуть бути токсичними для людини. Навіть невеликі концентрації забруднюючих речовин можуть впливати на активність ферментів у організмі людини, брати участь у кровообігу та синтезі білка, а також впливати на зміни на генетичному рівні.

Прогнозування поведінки забруднюючих речовин у ґрунті є складною задачею, адже ґрунт являє собою складну колоїднодисперсну систему. У ньому відбувається накопичення забруднюючих речовин та їх перерозподіл під впливом воєнно-техногенних факторів, що надалі транслюються у трофічні ланцюги (ґрунт – рослина – людина).

Механізм накопичення забруднюючих речовин у ґрунті у значній мірі залежить від утворення органічних комплексів, комплексоутворення впливає на біодоступність та розчинність самих речовин. Цей процес також вносить зміни в наявні форми забруднення, тим самим впливаючи на їх біодоступність та розчинність.

Після того, як вибухові сполуки та важкі метали потрапляють в ґрунт, їхня поведінка піддається впливу абіотичних та біотичних процесів. Швидкість міграції та трансформації цих речовин регулюється фізико-хімічними та біологічними факторами ґрунтового середовища, а саме: розчиненням, випаровуванням, адсорбцією, фотолізом, гідролізом та біодеградацією. На рухливість забруднюючих речовин у ґрунті впливають гранулометричний та мінералогічний склад ґрунту, вміст гумусу, окислювально-відновні та кислотно-лужні умови, а також наявність геохімічних бар'єрів [24].

Часовий аспект також має значний вплив на поведінку забруднюючих речовин у ґрунті. Розчинні органічні речовини та підкислення ґрунтового середовища сприяють більшій швидкості міграції забруднювачів. Перерозподіл цих забруднювачів відбувається як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямку. Горизонтальна міграція є особливо помітною в період після бомбардувань і, переважно, відбувається завдяки перенесенню повітрям.

Вертикальна міграція пов'язана із безліччю факторів, таких як дифузія іонів, переміщення з потоком води, транспортування корінням рослин, активність ґрунтової мезофауни та людська діяльність. Водний режим має найбільший вплив на інтенсивність міграції забруднювачів у ґрунтовому профілі.

У ґрунтовому розчині забруднюючі речовини знаходяться у певній рівновазі, перебуваючи як у іонній, так і в зв'язаній формі. Наявність металів у природних водах у вигляді комплексних сполук з неорганічними лігандами та аніонами органічних кислот суттєво збільшує їх рухливість. За рухомістю забруднюючі речовини, зокрема важкі метали, у рідкій фазі ґрунту можуть бути у трьох основних формах: нерозчинній, колоїдній та істинні розчини. Важкі

метали в речовинах можуть приймати форму гідроксидів та бути частинами орґано-мінеральних комплексів, таких як гумінові та фульвокислоти.

Важкі метали в ґрунті можуть перебувати в трьох формах: мінеральній, орґанічній та орґано-мінеральній. Мінеральна форма важких металів – це їхні неорґанічні сполуки, наприклад, сульфати, хлориди, карбонати. Орґанічна форма важких металів – це їхні сполуки з орґанічною речовиною ґрунту, наприклад, хелати. Орґано-мінеральна форма важких металів – це їхні сполуки з орґанічною речовиною та мінералами ґрунту, наприклад, гідроксиди заліза, марганцю, алюмінію.

Коли важкі метали потрапляють у ґрунт, вони можуть вступати в реакції з іншими речовинами, що містяться в ґрунті, і утворювати більш складні сполуки. Цей процес відбувається під впливом біотичного компонента ґрунту, тобто мікроорґанізмів і рослин. В результаті цих реакцій важкі метали можуть виводитися з розчинів і закріплюватись у твердій фазі ґрунту. Цей процес називається сорбцією.

Сорбційні бар'єри є ефективними засобами для запобігання поширенню хімічних речовин у ґрунті та водоносних горизонтах, в тому числі і важких металів. Вони діють за рахунок зв'язування хімічних речовин з поверхнею ґрунту або води. Ефективність сорбційних бар'єрів залежить від кількох факторів, зокрема від швидкості інфільтрації води, концентрації хімічних речовин у водному розчині та площі поверхні, яка взаємодіє з хімічними речовинами.

Адсорбенти, які утворюють неспецифічні комплекси або перебувають в дисоційованому стані, мають більш високу здатність до адсорбції хімічних речовин. Це пов'язано з тим, що вони мають більшу площу поверхні, яка може вступати в реакцію з хімічними речовинами.

Серед ґрунтових компонентів найбільшою адсорбуючою здатністю володіють глинисті мінерали, оксидні або гідроксидні мінерали та орґанічна речовина.

Органічна речовина ґрунту, завдяки своєму великому поверхневому заряду, може зв'язувати метали, тим самим зменшуючи їхню рухливість. Тому ґрунти з високим вмістом органічної речовини є більш стійкими до забруднення металами. Однак у лужних умовах високий рівень розчиненого органічного вуглецю може посилити утворення металоорганічних комплексів, в яких метали зв'язані з органічною речовиною. Це може збільшити рухливість таких металів, як свинець, мідь та нікель, які мають високу спорідненість з органічною речовиною. Оксиди алюмінію, заліза та марганцю, завдяки своїм амфотерним властивостям, можуть утворювати поверхневі комплекси як з катіонами, так і з аніонами. Це робить їх потенційними стабілізаторами для таких металів, як свинець та стибій, які можуть бути як катіонами, так і аніонами [25, 26].

Інтенсивність закріплення важких металів у ґрунті залежить від багатьох факторів, зокрема від хімічних характеристик металів, органічної речовини, мінералогічного складу ґрунту, складу ґрунтоутворюючої породи, а також від ландшафтно-геохімічних факторів. Хімічні характеристики металів впливають на їхню здатність до адсорбції та розчинності. Органічна речовина також має високу адсорбуючу здатність і може зв'язувати метали, тим самим зменшуючи їхню рухливість [27]. Мінералогічний склад ґрунту визначає його питому поверхню, яка є важливою характеристикою для адсорбції важких металів. Ґрунтоутворююча порода також впливає на закріплення важких металів, оскільки вона може містити різні типи мінералів з різними адсорбуючими властивостями.

Ландшафтно-геохімічні фактори, такі як вологість, швидкість газового обміну з атмосферою, мікробіологічна активність, також впливають на закріплення важких металів. Наприклад, волога ґрунту сприяє розчинності важких металів, а мікробіологічна активність може сприяти їхньому хімічному перетворенню. Особливо важливу роль у закріпленні важких металів у ґрунті відіграють глинисті мінерали. Вони мають велику площу поверхні, що сприяє адсорбції важких металів. Крім того, глинисті мінерали можуть зв'язувати

гідрофобні органічні забруднення, що також сприяє зменшенню їхньої біодоступності [28].

Текстура та структура ґрунту впливають на перенесення важких металів у ґрунті. Ґрунти з великою кількістю макропор мають більшу пропускну здатність, що сприяє швидкому переміщенню важких металів у розчині. Натомість, ґрунти з великою кількістю мікропор перешкоджають дифузії важких металів, що сповільнює їхнє перенесення. Хімізм середовища міграції важких металів визначається окисно-відновними та лужно-кислотними умовами. Окислювальні умови сприяють зв'язуванню важких металів з оксидами заліза та марганцю, що зменшує їхню рухливість. Натомість, відновлювальні умови сприяють розчиненню оксидів заліза та марганцю, що може призвести до вивільнення важких металів у розчин.

Одним з найважливіших процесів, що відбувається за відновлювальних умов, є відновне розчинення аморфних та кристалічних гідроксидів заліза. Цей процес може призвести до вивільнення важких металів, які раніше були зв'язані з оксидами заліза.

Ступінь окислення ґрунту має вирішальний вплив на рухливість і біодоступність важких металів. У кислих ґрунтах важкі метали частіше знаходяться у розчиненій формі, що підвищує їхню рухливість та біодоступність. У лужних ґрунтах важкі метали частіше зв'язані з оксидами заліза та марганцю, що зменшує їхню рухливість та біодоступність [29].

Ґрунти з високим вмістом вуглецю, забруднені речовинами воєнно-техногенного походження, більш схильні до розчинення куль, артилерійських патронів та інших залишкових осколків. Це пов'язано з тим, що органічна речовина ґрунту сприяє розчиненню металів, які є складовими частинами цих предметів.

Крім того, кислотно-лужні умови ґрунту також впливають на розчинність металів. У кислих ґрунтах метали частіше знаходяться у розчиненій формі, ніж у лужних ґрунтах. Ґрунти з високою буферною здатністю, тобто здатністю підтримувати свій рН, менш схильні до корозії куль і вибухових речовин. Це

пов'язано з тим, що такі ґрунти менш схильні до змін рН, що може призвести до розчинення металів. Значне збільшення корозії куль і вибухових речовин спостерігалось, коли рН ґрунту знижувався з лужного до кислого. Це пов'язано з тим, що у кислих ґрунтах метали частіше знаходяться у розчиненій формі, що збільшує біодоступність металів і вибухових речовин [30, 31].

Ємність катіонного обміну ґрунту визначає, наскільки легко вибухові речовини та метали можуть зв'язуватися з ґрунтом. Ґрунти з високою ємністю катіонного обміну мають більшу здатність зв'язувати ці речовини, що робить їх менш доступними для живих організмів. Наприклад, тротил, який є вибуховою речовиною, має низьку біодоступність у чорноземі, який має високу ємність катіонного обміну. Це означає, що тротил у чорноземі менш токсичний для дощових черв'яків та інших живих організмів.

Рельєф території також впливає на біодоступність вибухових речовин та металів. Території з пологим рельєфом мають більшу схильність до латеральної міграції, тобто переміщення речовин у горизонтальному напрямку. Це може призвести до поширення забруднення на більші площі. Водний режим ландшафтів також впливає на біодоступність вибухових речовин та металів. Території з високим рівнем опадів мають більшу схильність до поверхневого та підземного стоку. Це може призвести до змивання або вимивання забруднення в підземні води.

Температура, кількість та характер опадів впливають на розчинення вибухових речовин у ґрунті, що підвищує їхню доступність для живих організмів. Найбільше корозійна активність вибухових речовин і гільз спостерігається в ґрунтах з високим вмістом вологи. Ґрунти з періодичним затопленням також є досить корозійними.

Температура також впливає на розчинення вибухових речовин. Тротил найшвидше розчиняється при підвищенні температури, а гексоген - найповільніше. Попередні дослідження показали, що підвищення навколишньої температури також збільшує розчинення куль [32, 33].

Рослини на територіях воєнно-техногенного навантаження можуть зменшити міграцію вибухових речовин та важких металів у підземні води. Це відбувається тому, що рослини поглинають ці речовини з ґрунту, тим самим зменшуючи їхню доступність для інших живих організмів.

Для цієї мети використовують багаторічні трави, такі як міскантус, і деревні види, такі як верби та тополі. Вважається, що вплив забруднюючих речовин на ґрунтове середовище визначається не їхньою загальною концентрацією, а вмістом рухомих форм. Це означає, що менш рухливі форми забруднюючих речовин менш шкідливі для ґрунту та рослин [34].

Надходження забруднюючих речовин у рослини з ґрунту контролюється двома групами факторів:

- вмістом рухомих форм забруднюючих речовин у ґрунті.
- біологічними особливостями рослин по відношенню до забруднюючих речовин.

Ґрунт впливає на процес поглинання важких металів рослинами двояким чином. З одного боку, ґрунти в процесі поглинання (сорбції) знижують кількість важких металів, що надходять у рослини. З іншого боку, акумуляція сорбованих важких металів у верхніх горизонтах ґрунту сприяє їхньому поглинанню рослинами та накопиченню. Це пов'язано з тим, що корені рослин найчастіше поширюються у верхніх горизонтах ґрунту [35].

Важкі метали, доступні для рослин, можуть знаходитися у вигляді водорозчинних іонів, обмінних фракцій або легкорозчинних металоорганічних комплексів. Деякі металеві фракції, такі як органічні малостійкі сполуки та метали, зв'язані з карбонатами, також можуть бути потенційно біодоступними.

Сорбція металів рослинами залежить від їхньої хімічної форми та відносного розподілу в ґрунтовому розчині. Деякі фактори, такі як атмосферні опади, рН, органічні речовини, структура ґрунту та гумінові речовини, можуть впливати на викид важких металів з рослин в інші компоненти біоти. Це може призвести до забруднення довкілля.

Сорбція елементів-забруднювачів ґрунтами регулює їхню транслокацію з ґрунту в рослини та накопичення в них. Неоднакова міцність закріплення елементів-забруднювачів в ґрунтах свідчить про те, що їхнє надходження в рослини в першу чергу визначається типом ґрунту та його властивостями, що відповідають за поглинальну здатність. На надходження важких металів у рослини впливають такі фактори:

- видові особливості рослин;
- тип ґрунту;
- концентрація металів у ґрунті;
- форма знаходження металів у ґрунті;
- рН ґрунту;
- гранулометричний склад ґрунту;
- вміст органічних речовин у ґрунті;
- ємність поглинання катіонів у ґрунті;
- наявність техногенних джерел забруднення.

Ґрунти з високим рН, вмістом глинистих мінералів, карбонату кальцію та органічної речовини добре поглинають важкі метали. Це зменшує їхню доступність для рослин, що може бути корисно для захисту рослин від забруднення. Важкі метали можуть осідати в ґрунті або адсорбуватися на поверхні його частинок. Вони також можуть заміщувати лужні та лужноземельні метали, які вже зв'язані з ґрунтом.

У кислих ґрунтах важкі метали легше розчиняються і, відповідно, краще поглинаються рослинами. Це може призвести до накопичення важких металів у рослинах і, як наслідок, забруднення довкілля. Наприклад, на дерново-підзолистому ґрунті (із значенням рН 5,3) при однаковій концентрації свинцю насиченість листової тканини пшениці в 2 рази вище, ніж на високобуферному малогумусному чорноземі (із значенням рН 6,9).

Незважаючи на те, що важкі метали можуть легко потрапляти в рослини, вони також мають деякі захисні механізми, які допомагають зменшити їхню кількість. Ці механізми контролю за надходженням іонів знаходяться в коренях

та репродуктивних органах рослин. Більшість важких металів, які надходять у рослини з ґрунту, затримуються в коренях. Це відбувається в зоні так званого паска Каспарі, яка розташована на периферії кореня, рисунок 2.9.

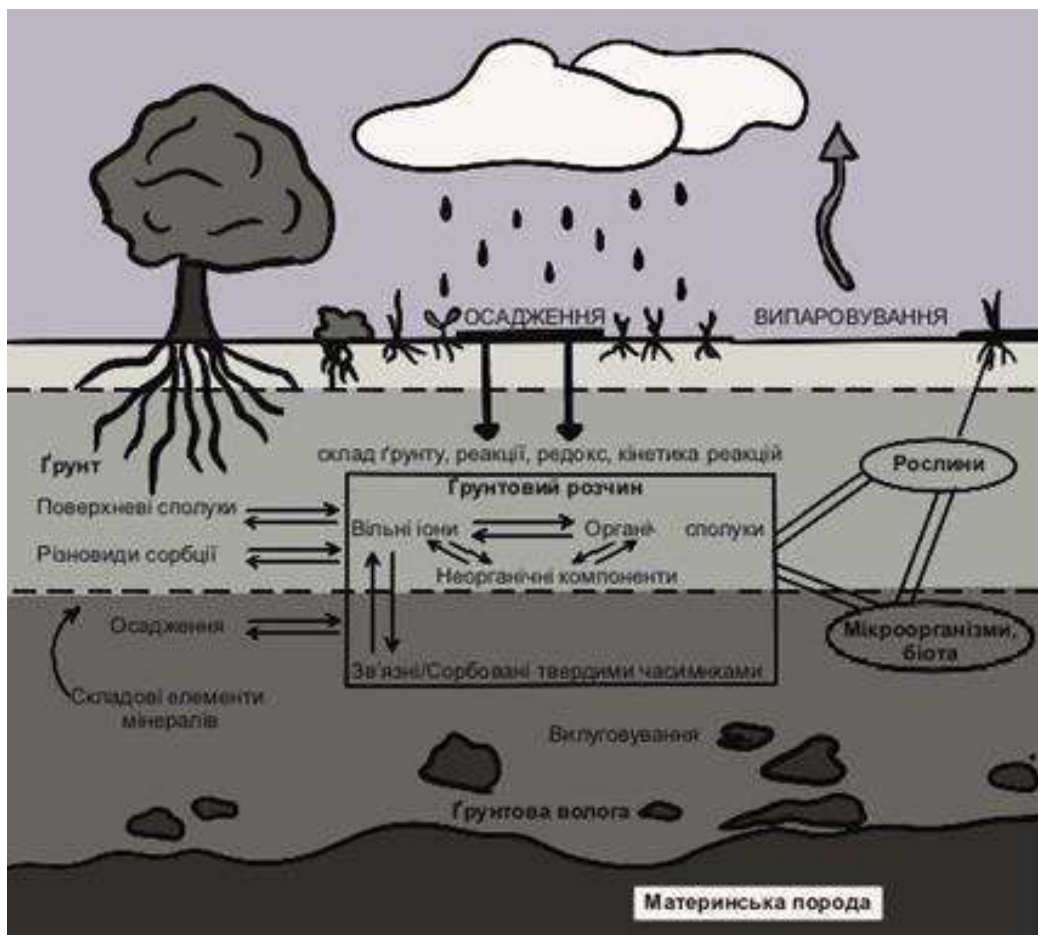


Рисунок 2.9 – Схема фізико-хімічних процесів міграції забруднюючих речовин у ґрунтах [11]

Хоча захисні механізми коренів рослин можуть зменшити кількість важких металів, які надходять у вегетативну масу, вони не можуть повністю зупинити цей процес. У цьому випадку важкі метали починають накопичуватися в надземній частині рослин, що може бути шкідливо для них. Однак, рослини мають механізми контролю надходження хімічних елементів у репродуктивну частину (насіння). Ці механізми допомагають зменшити накопичення важких металів у насінні, що є важливим для збереження здоров'я людей.

Хімічний склад рослин залежить від складу ґрунту, на якому вони ростуть. Однак, рослини не поглинають усі елементи з ґрунту, а вибірково поглинають лише ті, які їм необхідні для нормального росту та розвитку. Рослини мають різні механізми стійкості до надмірного надходження важких металів. Одні рослини здатні накопичувати високі концентрації металів, не проявляючи при цьому шкідливих наслідків. Інші рослини зменшують кількість надходження важких металів, використовуючи свої бар'єрні властивості.

Рівень накопичення важких металів рослинами залежить від їхніх генетичних та видових особливостей. Незважаючи на істотну мінливість властивостей рослин щодо накопичення металів, існує певна тенденція, яка дозволяє розділити метали на групи за ступенем їхнього накопичення рослинами [38]:

- елементи інтенсивного поглинання: Cd, Cs, Rb;
- елементи середнього ступеня поглинання: Zn, Mo, Cu, Ni, Pb, As;
- елементи слабкого поглинання: Mn, Cr, Co;
- елементи важкодоступні для рослин: Se, Fe, Ba, Te.

Відомо, що рослини мають різні властивості щодо накопичення важких металів. Деякі рослини накопичують важкі метали у великих кількостях, а інші – у незначних. Серед сільськогосподарських культур найбільш високий вміст важких металів виявлено в листових овочах і силосних культурах. Це пов'язано з тим, що листя є основним органом фотосинтезу, і саме в листі відбувається накопичення важких металів.

Найменше важких металів накопичують бобові, злакові та технічні культури. Це пов'язано з тим, що ці культури мають інші фізіологічні потреби, і для них важкі метали не є такими важливими. Відмінності в накопиченні важких металів рослинами можуть бути дуже значними. Наприклад, для деяких видів рослин нормою є концентрації важких металів, які в сотні і тисячі разів перевершують фонові. Такі аномальні властивості до металоаккумуляції є рідкісними, але вони є цінним інструментом для оцінки забруднення ґрунтів і підстилаючих порід важкими металами.

Воєнно-техногенні забруднювачі потрапляють у ґрунт у вигляді залишків або частинок боєприпасів. Вони можуть розсіюватися в ґрунті за допомогою порової матриці. Забруднюючі сполуки мають різні рівні розчинності у воді та можуть проникати в глибокі шари ґрунту. Однак, найчастіше вони концентруються у верхньому шарі ґрунту товщею до 15 см. Сполуки вибухових речовин, які вивільняються внаслідок вибуху, контактують із ґрунтом, де вони поглинаються та адсорбуються його частинками, рисунок 2.10 [11]. Тривалість сорбції залежать від структури сполук.

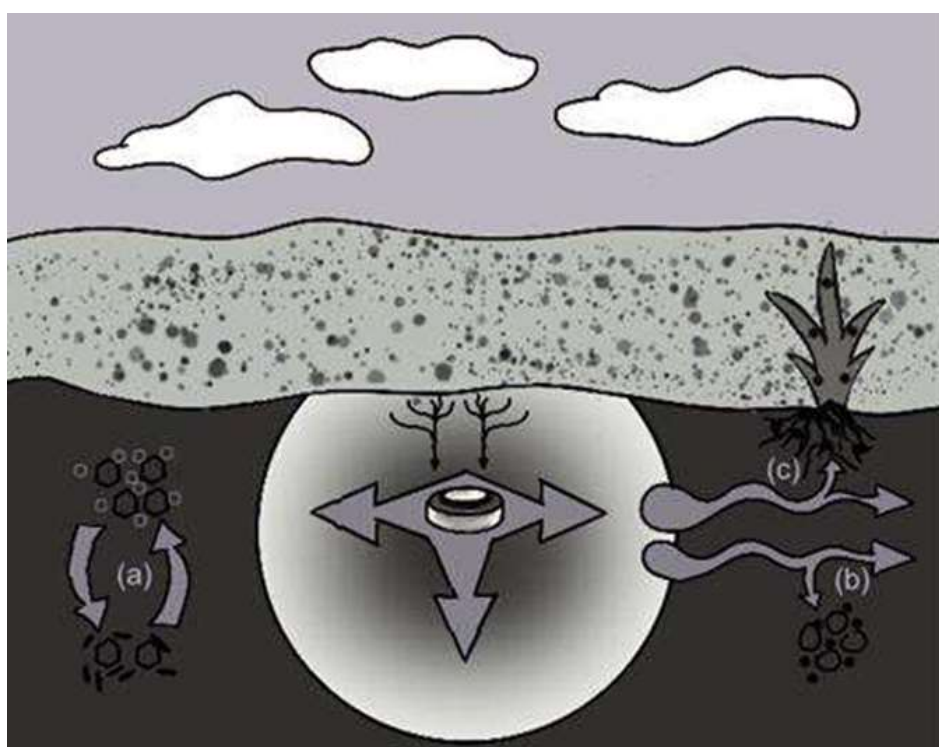


Рисунок 2.10 – Поведінка сполук вибухових речовин у ґрунтах

На наведеному рисунку центральний значок позначає місце розташування нерозірваних боєприпасів. Колір за значком позначає дифузію забруднювачів від боєприпасів. Вода, яка рухається через ґрунт, позначена світлими стрілками. Наявність забруднювачів за межами центральної зони дифузії позначена культивованими п'ятикутниками. Область (а) позначає мікробну взаємодію та метаболізм. Мікроби можуть розщеплювати забруднювачі на менш токсичні сполуки або перетворювати їх на інші форми, які можуть бути

поглинені або адсорбовані ґрунтом або рослинами. Область (b) позначає сорбцію частинками ґрунту. Забруднювачі можуть адсорбуватися на поверхні частинок ґрунту, що ускладнює їх рух у ґрунті. Область (c) позначає поглинання та секвестрацію надземними та підземними тканинами рослин. Рослини можуть поглинати забруднювачі з ґрунту та зберігати їх у своїх тканинах. Взаємодія рослин з забруднювачами починається з їхнього поглинання. Забруднювачі потрапляють до рослин через рідкий розчин у ґрунті. Цей розчин може проникати в коріння рослини самостійно або завдяки підвищеному потоку води, який створюється транспірацією листя. Сполуки вибухових речовин, які потрапили до коренів, вільно переміщуються поміж мембранами. Вони рухаються через пасок Каспарі вздовж ксилеми та, зрештою, накопичуються в рослині.

Токсичність вибухових речовин у рослинах може бути дуже високою. Вона може спричинити ряд стресів у рослинах, починаючи від деформації морфологічних моделей і порушення клітинних реакцій. Ступінь токсичності вибухових речовин у рослинах залежить від ряду факторів, зокрема від виду рослини, часу впливу забруднювачів, їхньої концентрації та виду.

На сьогоднішній день добре вивчені закономірності забруднення ґрунтів вибуховими сполуками та важкими металами, а також їх розподілу серед рослин. Біомоніторингові дослідження показали, що вміст свинцю (Pb) і міді (Cu) у ґрунті нерегульованих майданчиків для стрільби з вогнепальної зброї значно вищий, ніж у контрольних районах. Кульбаба лікарська, яка росте в районах бойових дій, є активним поглиначем металів воєнно-техногенного походження, зокрема миш'яку, барію, кадмію, кобальту, хрому, міді, ванадію і цинку [11].

Тротил і його продукти розпаду дуже токсичні для ґрунтової фауни, хоча різні види мають різну чутливість до цих забруднювачів. Вплив тротилу та інших хімічних боєприпасів може призвести до різкого пригнічення мікробної активності ґрунту. Високі концентрації тротилу можуть викликати симптоми

отруєння у дощових черв'яків, такі як набряк кільця, застій, зневоднення, значне послаблення сегментації та здатності рухатися та скорочуватися.

Продукти реакції нітроароматичних сполук можуть бути навіть більш небезпечними, ніж вихідні сполуки. Органічна речовина ґрунту відіграє навіть більш важливу роль в адсорбції та інактивації тротилу, ніж глинисті мінерали. Чим вищий рівень вмісту глинистих мінералів і гумінових речовин у ґрунті, тим вищий потенціал останніх щодо запобігання поглинанню організмами нітроароматичних речовин.

Незважаючи на обмежену кількість досліджень у цій галузі, є незаперечні докази того, що воєнно-техногенні впливи негативно впливають на здоров'я населення. Високі концентрації важких металів у ґрунті та воді можуть проникати в організм людини через дихання, травлення та шкіру. Вони можуть пошкоджувати або порушувати роботу найважливіших систем організму, таких як центральна та периферична нервова система, кровотворення, ендокринна система тощо. Деякі хімічні елементи, такі як свинець, ртуть та кадмій, також можуть сприяти розвитку атеросклерозу, злоякісних новоутворень та порушень спадковості.

Епідеміологічний моніторинг, який передбачає вивчення захворюваності та смертності населення на територіях, які зазнали воєнно-техногенного впливу, є важливою складовою комплексної програми дослідження цих територій.

### 2.3 Можливі шляхи відновлення ґрунтів

Процес перетворення забруднених земель у придатну для використання площу називають рекультивацією. Вибір технології рекультивації залежить від характеру та ступеня забруднення, цільового призначення або використання ділянки, що відновлюється, а також від наявності результативних та економічно ефективних технологій [13].

Перед тим, як обрати технологію відновлення, необхідно провести аналіз наслідків бойових дій, який здійснюється у 5 етапів:

- ідентифікація землі, пошкодженої бойовими діями;
- ідентифікація факторів впливу (чи то маневри військ чи переміщення техніки);
- визначення типу впливу (хімічний, механічний чи фізичний) та наслідків для земель;
- оцінювання рівня забруднення ґрунтів внаслідок певного типу впливу (оцінка засміченості ділянок осколками);
- оцінювання рівня забруднення ґрунтів.

Залежно від результатів аналізу наслідків впливу на ґрунти можна обрати одну із практик відновлення земель: землеробство, стабілізацію, фітосанацію, компостування, хімічне вилуговування (промивання), термічну десорбцію, хімічну екстракцію, хімічне окислення або відновлення та захоронення.

Рекультивация – це комплекс організаційних, технічних і біотехнологічних заходів, на відновлення ґрунтового покриву, поліпшення стану та продуктивності порушених земель.

Наразі методи обробки забрудненого ґрунту включають фізичну, хімічну та біологічну ремедіацію (очищення), що представлено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – Методи обробки забрудненого ґрунту [11]

До фізичних методів ремедіації належать наступні технології [11]:

– технологія видалення забрудненого шару (видалення важких металів) – використовують методи перевертання ґрунту та видалення поверхневого шару. Підходить для ділянок з невеликими забрудненими площами. При цьому виникають обмеження щодо застосування даного методу, оскільки метод вимагає високих обсягів інвестицій, можливе руйнування структури ґрунту та ризик вторинного забруднення. Подальше використання земель – залісення;

– стабілізація (видалення важких металів) – передбачає фізичне зв'язування забруднюючих речовин в межах стабілізованої маси (інкапсуляція) або індукування хімічних реакції між стабілізуючим агентом і забруднюючими речовинами з метою зменшення їх рухливості (стабілізація). Використовують природні (цеоліти – клиноптилоліт) і штучні (комплексоутворювачі, іонообмінні смоли, активоване вугілля, відходи деяких виробництв) сорбенти. Переваги – низька вартість установки; утворені та стабілізовані матеріали є стабільними та менш токсичними. Обмеження – сумнівна результативність затверділих (стабілізованих) матеріалів; необхідність подальшого моніторингу вмісту важких металів; економічна недоцільність, лише у випадку, коли сорбенти є місцевою сировиною. Подальше використання земель – виключення із сільськогосподарського використання, створення буферних зелених зон;

– технологія термодесорбції (видалення нафтопродуктів, важких металів, ртуті, нервово-паралітичних речовин) – використання високочастотних електромагнітних хвиль, що провокує підвищення температури ґрунту та випаровування забруднюючих речовин. Їхні пари транспортуються в систему очистки під вакуумом або прокачуються інертним газом із використанням обробки збору конденсату для утилізації елементів-забруднювачів. Відносно безпечний, може видалити 99,8 % елементів-забруднювачів з ґрунту; використовується в найбільш забруднених районах. Обмеження – високе споживання енергії; ризик знищення поживних речовин (висока температура) та порушення властивостей ґрунту. Подальше використання земель –

вирощування бобових культур з періодичним контролем якості ґрунтів;

– електрокінетична технологія (вилучення нафтопродуктів, важких металів) – видалення забруднювачів з ґрунту за рахунок електрохімічних і електрокінетичних процесів, що протікають під впливом постійного електричного поля. Переваги – проста експлуатація; очевидний ефект і відсутність вторинного забруднення ґрунту. Обмеження – використання відразу після виявлення забруднення ґрунту; невелика площа. Подальше використання земель – залісення (тополя) (*Populus sp.*) для миш'яку і кадмію;

– захоронення (вилучення важких металів) – механічне видалення ґрунту, розміщення його на спеціально відведених майданчиках, які вистилаються поліетиленовою мембраною високої щільності та іншими протифільтраційними матеріалами. Переваги – миттєве очищення; високий рівень безпеки; довго строковість. Обмеження – висока вартість, що вимагає додаткової землі для зберігання забрудненого ґрунту; не підходить для ґрунтів із сильною водорозчинністю або високою проникністю забруднюючих речовин, а також ділянок з частою геологічною активністю та високим рівнем ґрунтових вод. Подальше використання земель – використання під будь-які культури за умови контролю якості сільськогосподарської продукції.

До хімічних методів ремедіації належать наступні технології [11]:

– хімічне вилуговування (вилучення важких металів, ціанідів, радіонуклідів) – промивання забрудненого ґрунту водою, хімічними речовинами, реагентами та іншими рідинами або газами, здатними знищити забруднення з ґрунту. Важкі метали в ґрунті переводяться в рідку фазу шляхом осідання, іонного обміну, хелатування та адсорбції. Переваги – видалення забруднення; мінімальне порушення ґрунту; низька вартість. Обмеження – найкраще підходить для високопроникних ґрунтів; можливе забруднення ґрунтових вод; велике споживання води, необхідної для приготування промивного розчину. Подальше використання земель – вирощування кукурудзи (*Zea mays*) для Pb, Zn, Hg і Ni і соняшнику звичайного (*Heliánthus ánnuus*) для кадмію (Cd), хрому (Cr) і нікелю (Ni), цезію (Cs) і стронцію (Sr) з періодичним

контролем якості продукції;

– хімічна екстракція, рисунок 2.12 (вилучення галогенованих розчинників, нафтопродуктів, свинцю) – додавання реагентів або матеріалів у забруднений ґрунт для утворення слабозчинних матеріалів. Переваги – важкі метали фіксуються в ґрунті шляхом адсорбції, в результаті чого стають найменш доступним для вирощуваних рослин. Обмеження – непостійне рішення, оскільки важкі метали потрапляють у ґрунт за сприятливих умов для вивітрювання. Подальше використання земель – створення буферних зелених зон (тополя, береза, верба);



Рисунок 2.12 – Схема хімічної екстракції [11]

– хімічне окислення (вилучення важких металів) – застосування хімічних окиснювачів для трансформації забруднювачів в менш токсичні аналоги, що мають більшу стійкість та меншу мобільність. Окислювачами найчастіше є озон, перекис водню, перманганат, хлор або двоокис хлору. Переваги – очищення території за короткий період часу, економічно

ефективний метод. Обмеження – ризик неповного окислення та утворення токсичних проміжних речовин, зменшення проникності ґрунту. Подальше використання земель – залісення: (біла акація (*Robinia pseudoacacia*), вільха (*Alnus*), клен гостролистий (*Acer platanoides*);

– хімічне відновлення (вилучення вибухових речовин та окислених неорганічних речовин (перхлоратів тощо)) – трансформація забруднювачів під дією відновників (залізо нульової валентності тощо). Переваги – застосування в широкому діапазоні; здатність обробляти високі концентрації забруднюючих речовин. Обмеження – відновники є неселективними і можуть реагувати з ґрунтовим матеріалом; ґрунти з низькою проникністю обмежують ефективність; крім того, на іммобілізацію металів можуть вплинути зміни у фізико-хімічних властивостях ґрунту. Подальше використання земель – використання під будь-які культури за умови контролю якості сільськогосподарської продукції;

– внесення мінеральних добрив (вилучення важких металів) – рухливість забруднюючих речовин змінюється під дією мінеральних добрив. Сприяє зниженню концентрації важких металів у рослинах за рахунок прояву ефекту «біологічного розбавлення». Переваги – відтворення органічної речовини ґрунту; збільшення біологічної активності. Обмеження – вибірковість дії; залежність від типу ґрунту. Подальше використання земель – використання під будь-які культури за умови контролю якості сільськогосподарської продукції.

Біологічні методи ремедіації ґрунтів – комплекс методів очищення ґрунтів від забруднюючих речовин за допомогою живих організмів, з використанням метаболічного потенціалу рослин, грибів, комах, черв'яків, бактерій або їх ферментів. Серед біоремедіаційних методів можна виділити наступні: різofільтрація, фітоекстракція, фітоволатилізація, фітостабілізація, фітодеградація, фітостимуляція, біостимуляція, біодоповнення, фітостимуляція (рослини стимулюють розвиток ризосферних мікроорганізмів).

На відміну від мирних часів, зараз розглядається ще й консервація земель,

які надто пошкоджені, заміновані та не підлягають відновленню. Консервація земель – це практика часткового або повного обмеження використання земельної ділянки у господарських цілях на визначений період часу. До консервації вдаються у випадку, коли використання землі є екологічно та економічно недоцільним, а також коли земельні ділянки отримали такий ступінь забруднення, що на них неможливо отримати екологічно чисту продукцію, а перебування людей на цих земельних ділянках є небезпечним для їх здоров'я. Переваги – природне відновлення. Обмеження – довготривалий метод щодо результативності.

Консервація таких земель передбачає залуження, заліснення або ренатуралізацію з метою відновлення родючих властивостей ґрунту. У землевпорядній науці розрізняють консервацію-реабілітацію – після визначеного терміну перерви земля повертається назад в обробіток, та консервацію-трансформацію, яка означає, що деградовані землі безповоротно вилучаються з ріллі. Наприклад, повернення ділянок сільськогосподарського призначення у степ.

Отже, для найбільш забруднених територій кращим варіантом є консервація землі, яка зазнала катастрофічних пошкоджень. Важливо розуміти, що не завжди рекультиваційні заходи будуть економічно вигідними, тому потрібно буде віддавати перевагу їх консервації.

Практика консервації в Україні використовувалась після Чорнобильської катастрофи, де значну частину земель визнали природоохоронними. Але такий метод виключає будь-яку роботу з землею, а це не влаштуватиме аграріїв, які хочуть працювати.

### 3 ФІТОТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ ТА ЇХ ПЕРЕВАГИ

Біологічні методи відновлення порушених земель добре вивчені та активно використовуються для відновлення та підвищення активності земель сільськогосподарського призначення. Залежно від ступеню деградації використовують:

- для ґрунтів із слабким ступенем деградації – фітостимуляцію (використання рослин для стимуляції розвитку ризосферних мікроорганізмів);
- для ґрунтів із середнім ступенем деградації – біостимуляцію (стимулювання розвитку місцевої (аборигенної) мікрофлори);
- для ґрунтів із високим ступенем деградації – біодоповнення (внесення у ґрунт біопрепаратів на основі мікроорганізмів здатних до деградації забруднювача) [40].

Крім того, існують методи біоремедіації *in situ* та біоремедіації *ex situ*.

Біоремедіація *in situ* – очищення здійснюється без видалення забрудненого ґрунту з місця забруднення. Така технологія дешевше, не відбувається запилення повітря, вивільнюється менше летких забруднювачів, ніж при технології *ex situ*. Здійснюється така біоремедіація шляхом аерації забрудненого ґрунту (стимулюється ріст мікроорганізмів, відбувається аеробна біодеградація забруднювачів), шляхом введення в ґрунт поживних речовин для стимуляції росту та метаболізму мікроорганізмів (азот- і фосфорвмісні добрива), шляхом введення в ґрунт мікроорганізмів або ферментів для прискорення деградації забруднюючих речовин.

Біоремедіація *ex situ* здійснюється шляхом зняття шару забрудненого ґрунту і очищення його за межами місця забруднення. Така технологія більш дорого вартісна, але має і переваги відносно біоремедіації *in situ* – вимагають менше часу і забезпечують повний контроль процесу очищення. Однією з технологій є використання біореакторів, де мікроорганізми розкладають

забруднюючі речовини в спеціально створених оптимальних умовах. Очищений ґрунт після висушування повертається в навколишнє середовище. Інший підхід – вилучений з місця забруднення ґрунт розміщується на певній території, яку аерують, вносять поживні речовини, зволожують, чим стимулюють ріст та метаболізм мікроорганізмів, які і здійснюють біоремедіацію. У порівнянні з очищенням за допомогою біореакторів, дана технологія потребує багато місця і довготривала [40, 41].

Основні біологічні методи ремедіації, технології, їх характеристика, переваги та недоліки для відновлення порушених земель внаслідок військових дії наведені далі [11]:

– біовентиляція (вилучення вуглеводнів (бензолу, етилбензолу, толуолу і ксилолу)) – використання мікроорганізмів для розкладання органічних сполук з метою адсорбції. Ця техніка передбачає стимуляцію повітряного потоку для підвищення рівня кисню та посилення біоремедіації за рахунок підвищення біоактивності мікрофлори [42]. Переваги – економічно ефективний метод; посилює активність мікробів. Обмеження – довготривалий; залежний від характеристик ґрунту метод (водопроникність тощо). Подальше використання земель – посів люцерни посівної (*Medicago sativa*) та сої звичайної (*Glycine max Moench*);

– верміремедіація (вилучення нафтопродуктів) – використання дощових черв'яків для видалення забруднювачів із ґрунту, нафтопродукти можуть адсорбуватися. Транзит кишківника дощового черв'яка може змінювати структуру ґрунту шляхом руйнування та утворення органо-мінеральних комплексів [43]. Переваги – збільшення доступності поживних речовин; підвищення швидкості біодеградації забруднюючих речовин. Обмеження – складність практичного застосування (дощові черв'яки потребують чітко визначених умов, щоб вижити, і це може бути дорогим у випадку великих територій, які підлягають рекультивації). Подальше використання земель – вирощування кормових культур;

– фітосанація (рисунок 3.1) (вилучення гексогену, важких металів, хлорованих розчинників, вибухових речовин, нафтопродуктів) – обробка забрудненої території рослинами-концентраторами для усунення забруднювачів шляхом розщеплення забруднювача корінням рослин до менш токсичного елемента або поглинання забруднювача, накопичення його в стеблах і листі рослини. Переваги – рослини переносять високі концентрації металів у корені, стебла та листя. Обмеження – потреба в значних за площею територіях; тривалість обробки; залежність від кліматичних умов. Подальше використання земель – посадка дерев, що фіксують азот та можуть покращити формування гумусового шару (біла акація (*Robinia pseudoacacia*), вільха (*Alnus*), лох (*Elaeagnus*)) [44];

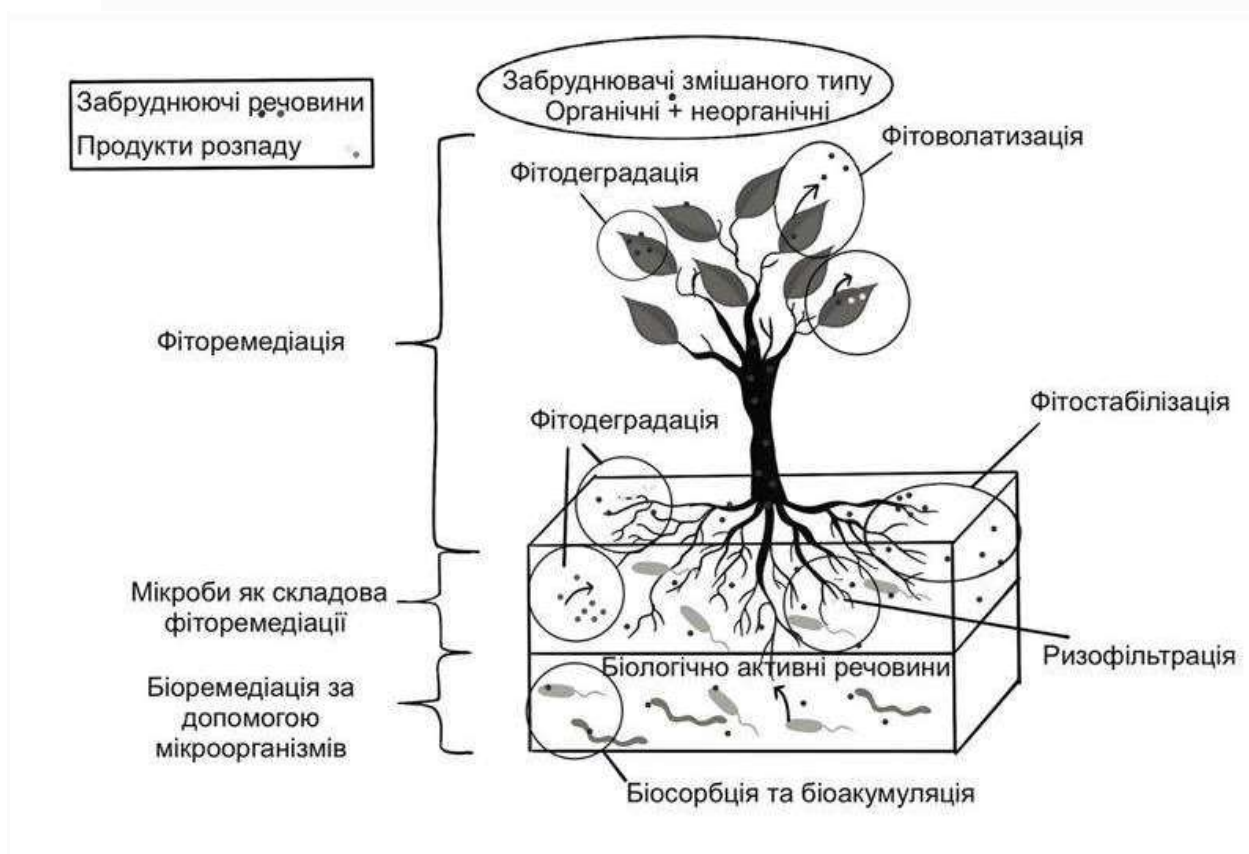


Рисунок 3.1 – Різновиди фітосанації [11]

– фітостабілізація (фітореставація) (вилучення цинку (Zn), миш'яку (As), хрому (Cr), кадмію (Cd), свинцю (Pb), міді (Cu), нафтопродуктів) –

рослини стабілізують ґрунт і, отже, забруднюючі речовини, що містяться в ньому (наприклад, Cu, Zn). Запобігає ерозії та зменшує вимивання забруднюючих речовин [45]. Переваги – економічно ефективний метод, крім того, прискорення росту рослин; поглинання та переміщення металу. Обмеження – придатні для очищення невеликі неглибокі ділянки забруднення; довготривалий метод щодо результативності, має низьку ефективність. Подальше використання земель – залісення (тополя (*Populus sp.*) для As і Cd, підтримує висхідний потік, щоб запобігти низхідному вимиванню). Вирощування Міскантуса велетенського (*Miscanthus*) та насадження Верби енергетичної (*Salix*);

– фітоекстракція (рисунок 3.2) (вилучення нафтопродуктів, розчинників, тротилу, радіонуклідів) – рослини з високою біомасою, які поглинають і накопичують важкі метали (наприклад, As, Cd, Zn), надлишок катіонів (наприклад, Na) або поживні речовини (наприклад, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>) у пагонах. Потім їх збирають і безпечно утилізують. Переваги – поглинання та транслокація забруднюючих речовин. Обмеження – довготривалий щодо результативності; економічна ефективність непереконлива; може мобілізувати токсини в біоті [45]. Подальше використання земель – посів Череди волосистої (*Bidens pilosa*) для кадмію (Cd), Жовтого осоту шорсткого (*Sonchus asper (L.) Hill*) для свинцю (Pb) і цинку (Zn), Соняшника звичайного (*Heliánthus ánnuus*) для кадмію (Cd), хрому (Cr) і нікелю (Ni), Айстрових (*Asteraceae* або *Compositae*) для нікелю (Ni), Ярого ріпаку (*Brassica napus L.*) для Zn (цинку);

– фітовипаровування (вилучення важких металів, ртуті, миш'яку) – рослини поглинають неорганічні забруднюючі речовини і виділяють їх з листя в атмосферу в газоподібній (леткій) формі (наприклад, Se і Hg) [6]. Переваги – відсутність вторинних відходів. Обмеження – обмежене леткими забруднювачами; забруднення повітря. Подальше використання земель – залісення вербою енергетичною (*Salix*) та тополею (*Populus s*) для As і Cd;

– біопаливо (вилучення нафтопродуктів, тротилу) – насипання викопаного забрудненого ґрунту на підкладку над землею та змішування з

відповідними поправками (поживними речовинами, хімічними речовинами для регулювання рН, наповнювачами). Переваги – економічно ефективний метод; вимагає незначних площ. Обмеження – пересихання ґрунту; примусова аерація; вимагає спеціальних заходів. Подальше використання земель – вирощування технічних культур, саджанців плодових і ягідних культур, квітникарство;

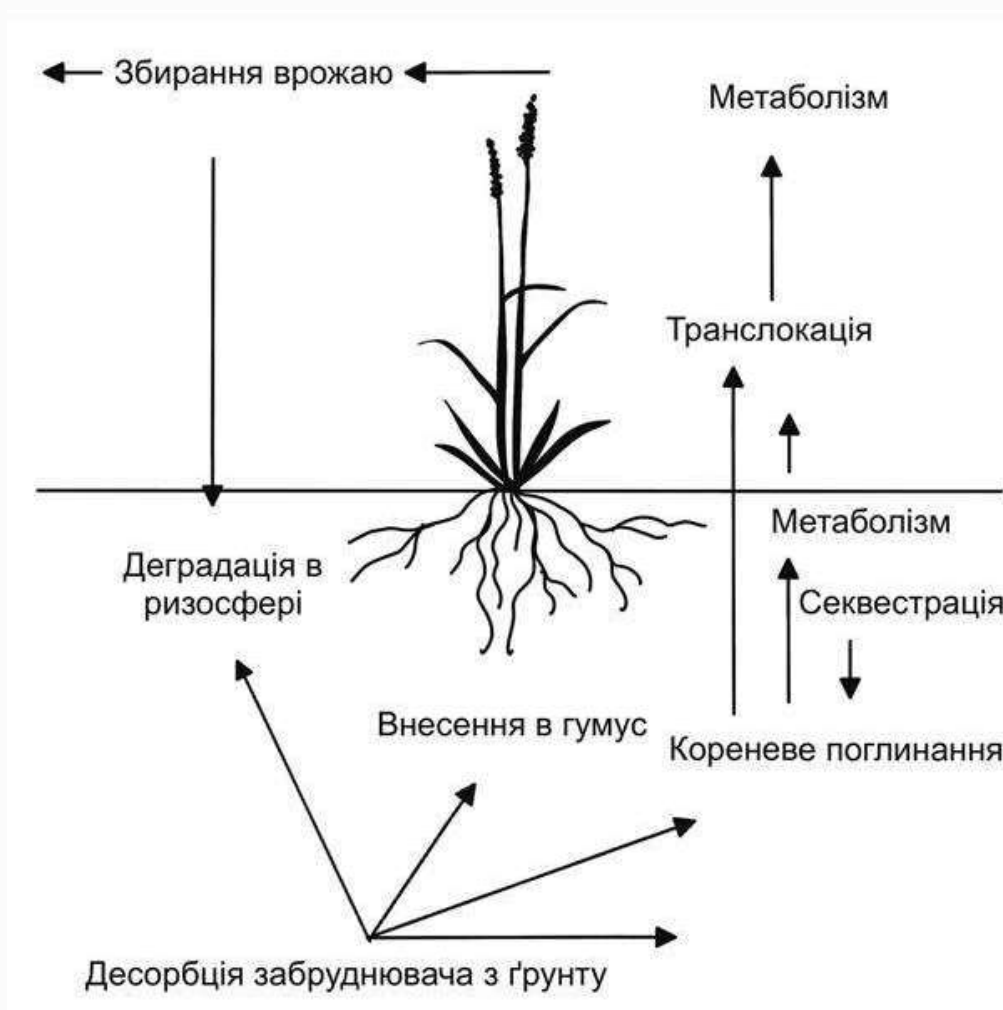


Рисунок 3.2 – Процеси фітореємедіації, які видаляють забруднення із ґрунтів [11]

– біологічне природне ослаблення (вилучення нафтопродуктів) – вибухові речовини зменшуються природними мікробами, які використовують забруднення як джерело для отримання енергії та росту. Переваги – простота використання; економічно ефективний метод, можливість поєднання з іншими техніками. Обмеження – довготривалий щодо результативності; слабо

ефективна технологія для сильнозабруднених територій. Подальше використання земель – буферні зелені зони;

– біостимуляція (вилучення нафтопродуктів) – постачання лімітуючи поживних речовин, таких як вуглець, азот і фосфор, у ґрунт [46]. Переваги – рентабельність, покращення вмісту поживних речовин у ґрунті та біодоступність вибухової речовини для мікробного співтовариства. Обмеження – довготривалий метод щодо результативності. Подальше використання земель – посів травосуміші;

– компостування (вилучення нафтопродуктів, хрому (Cr), цинку (Zn), міді (Cu), кадмію (Cd)) – усунення забруднювачів шляхом змішування забрудненого ґрунту з біомасою, такою як відходи сільського господарства, харчові відходи та органічні вторинні матеріали [45]. Переваги – поліпшення ґрунтової родючості (збільшується запас поживних елементів, ємність катіонного обміну, поліпшуються воднофізичні властивості ґрунтів); підвищується стійкість ґрунтів до впливу забруднюючих речовин. Обмеження – неоднозначність результатів щодо імобілізуючого впливу на рухливість важких металів, внаслідок різного ступеню розкладання органічних добрив. Вимоги до великого простору; кропітка і трудомістка практика. Подальше використання земель – використання під будь-які культури за умови постійного контролю якості сільськогосподарської продукції. Посів гірчиці сарепської та сорго (*Sorghum*);

– землеробство (вилучення нафтопродуктів, поліциклічних ароматичних вуглеводнів, пентахлорфенолу) – забруднені ґрунти розкопують та розкладають на вистелених грядках. Переваги – низький технологічний слід; менш трудомісткий. Обмеження – виникнення випаровування, що потребує багато часу; вимивання забруднюючих речовин. Подальше використання земель – використання під будь-які культури за умови контролю якості сільськогосподарської продукції.

Серед фітотехнологічних методів ремедіації можна виділити основні:

- різofільтрація – всмоктування корінням хімічних елементів у розчиненому вигляді, що необхідні для життєдіяльності рослин;
- фітоекстракція – відбувається накопичення в рослині небезпечних забруднень (наприклад, важких металів);
- фітоволатилізація – відбувається випаровування летючих хімічних елементів, таких як миш'як (As) та селен (Se), через листя рослин;
- фітостабілізація – за рахунок метаболічних процесів хімічні сполуки переходять у менш рухому та активну форму, що знижує ризик поширення забруднень;
- фітодеградація – відбувається розкладання (деградація) органічної складової забруднень рослинами і симбіотичними мікроорганізмами;
- фітостимуляція – здійснюється шляхом стимуляції розвитку симбіотичних мікроорганізмів, які приймають участь у процесі очищення ґрунтів від забруднень.

Також виділяють методи біоремедіації за допомогою мікроорганізмів, де рослини відіграють роль біофільтрів, створюючи для мікроорганізмів оптимальне середовище (забезпечують киснем, розпушуючи ґрунт).

Загалом практик з рекультивації виділяють доволі багато, проте важливо їх підбирати відповідно до типу і ступеня забруднення. Одним із обмежень рекультивації є їх дорога вартість.

Основні показники, які характеризують технології відновлення ґрунтів та порівняльна характеристика орієнтовної вартості застосування методів рекультивації порушених земель наведені у таблицях 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Показники, що характеризують технології відновлення ґрунтів [11]

| Масштаб застосування | Експлуатаційна надійність                            | Термін застосування             | Загальна вартість – затрати на експлуатацію технології |
|----------------------|--|---------------------------------|--|
| 1                    | 2  | 3                               | 4  |
| регіональний (р)     | природне відновлення                                 | залежно від природи забруднення | -  |
| локальний (л)        | низька, високі експлуатаційні затрати                | більше 2-3 років                | > 500 USD за тонну                                     |
|                      | середня надійність, середні затрати при експлуатації | 1-2 роки                        | 200 – 500 USD за тонну                                 |
|                      | висока надійність, низькі затрати при експлуатації   | 0,5-1 рік                       | < 200 USD за тонну                                     |

Таблиця 3.2 – Орієнтовна вартість використання технологій відновлення ґрунтів [11]

| № | Технологія   | Орієнтовна вартість   |
|---|--------------|---|
| 1 | 2            | 3   |
| 1 | Землеробство | Лабораторні дослідження від 20 000 USD ( $1 \text{ м}^3$ ), пілотні дослідження від 100 000 USD.<br>Обробка $1 \text{ м}^3$ ґрунту до 100 USD   |
| 2 | Стабілізація | Вартість технології з реагентами складає (за $1 \text{ м}^3$ ) від 50 USD до 120 USD – для поверхневих забруднень, від 200 USD для глибинних. Окремо закладається вартість на обладнання від 200000 USD залежно від особливостей території, вартості електроенергії |

Кінець таблиці 3.2

| 1 | 2                                  | 3  |
|---|------------------------------------|--|
| 3 | Фітосанація                        | Вартість 1 га потужністю 0,5 м ґрунту складає від 150 USD до 250000 USD  |
| 4 | Компостування                      | Вартість технології залежить від кількості обробленого ґрунту, доступності добавок, типу забруднюючих речовин і складає 200 USD за 1 м <sup>3</sup> при обробці 20000 м <sup>3</sup> ґрунту                      |
| 5 | Хімічне вилуговування (промивання) | Вартість технології складає від 30 USD до 300 USD за 1 м <sup>3</sup> ґрунту з урахуванням типу та концентрації речовин, що входять в склад розчину  |
| 6 | Термічна десорбція                 | Вартість обробки складає від 10 USD до 70 USD за 1 м <sup>3</sup> ґрунту. Пілотні дослідження сягають затрат від 10000 USD. Концентрація забруднень, ландшафтно-геохімічні умови визначають верхню межу вартості |
| 7 | Хімічна екстракція                 | Вартість технології оцінюється від 150 USD до 500 USD за 1 м <sup>3</sup> ґрунту   |
| 8 | Хімічне окислення / відновлення    | Вартість всього процесу оцінюється в межах від 200 USD до 500 USD за тонну обробленого ґрунту без врахування затрат на аналітичні дослідження  |
| 9 | Захоронення                        | Вартість 1 т складає від 1000000 USD   |

Фіторемедіація відноситься до економічно ефективних технологій відновлення порушених ґрунтів від забруднюючих речовин, що мають військово-техногенне походження. Ця технологія використовує рослини, які акумулюють забруднюючі речовини, в ому числі токсини важких металів і органічні забруднювачі, або метаболізують їх до безпечних складових. Тут слід зауважити, що не всі рослини здатні накопичувати важкі метали або органічні забруднення, що пояснюється їх фізіологічними особливостями [47 – 49].

В основі фіторемедіації лежать процеси поглинання, фотосинтезу та транспірації, в результаті яких відбувається накопичення або переробка цих сполук шляхом здерев'яніння, випаровування, метаболізму та мінералізації. Механізм фіторемедіації наведено на рисунку 3.3.

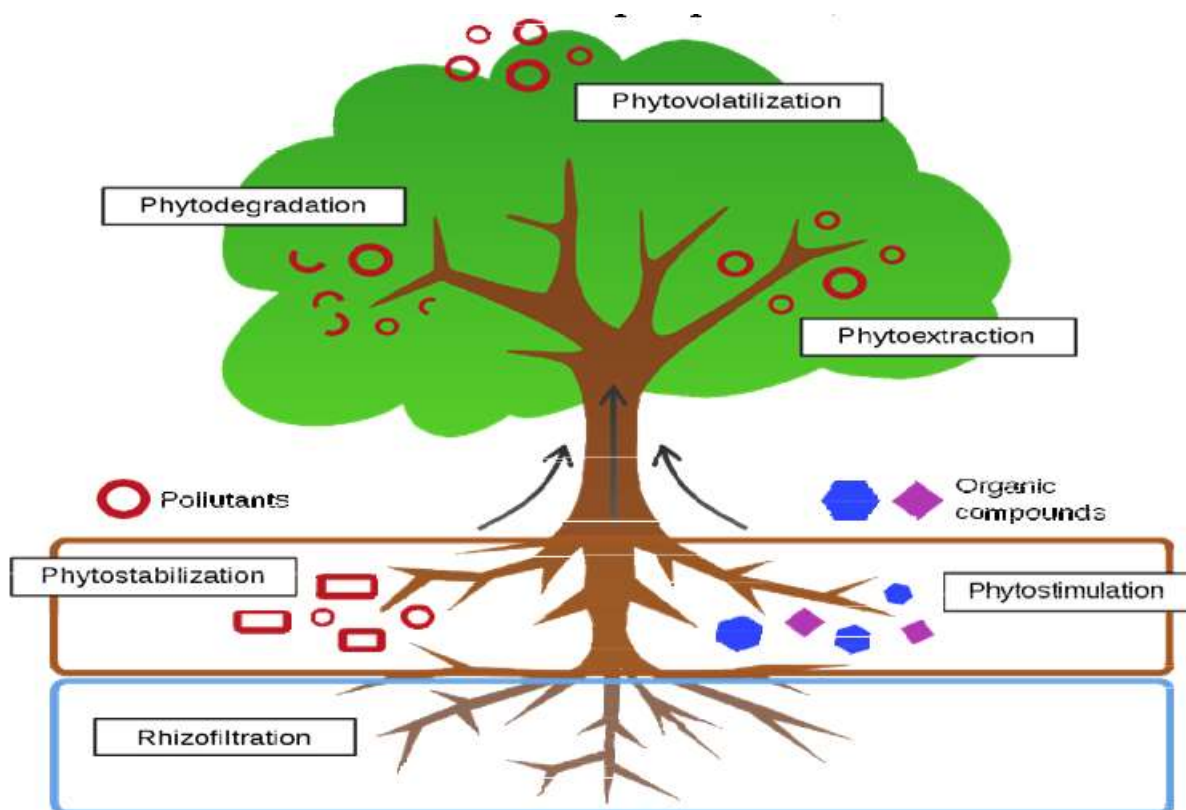


Рисунок 3.3 – Механізми фіторемерації [6]

До недоліків фітотехнологій можна віднести:

- зниження активності процесів очищення у холодний період, тобто поза періодом вегетації;
- необхідність здійснення постійного спостереження, оскільки забруднюючі речовини місцями залишаються;
- зібрану при фітоекстракції біомасу необхідно правильно утилізувати;
- деякі методи фітодеградації неефективні щодо глибинного забруднення;
- необхідне створення відповідних умов для вирощування рослин у розсадниках перед висадкою на місця рекультивації [47 – 51].

До переваг фітотехнологічних методів відновлення порушених земель внаслідок військових дій можна віднести:

- економічна ефективність таких методів, як біовентиляція, фітостабілізація, біостимуляція;
- вилучення високих концентрацій металів із ґрунту при фітосанації та фітостабілізації;
- прискорення росту рослин при фітостабілізації;
- поглинання та транслокація забруднюючих речовин при фітоекстракції;
- відсутність вторинних відходів при фітовипаровуванні;
- покращення вмісту поживних речовин у ґрунті та біодоступність вибухової речовини для мікробіоценозу при біостимуляції;
- підвищення родючості ґрунту та їх стійкості до впливу забруднюючих речовин при застосуванні компостування;
- безпечність для навколишнього середовища всіх методів;
- теоретична можливість екстракції цінних речовин із зеленої маси рослин [6, 11, 47 – 51].

## ВИСНОВКИ

Військові дії завжди негативно впливають на навколишнє середовище, аж до повного його знищення. При плануванні та веденні бойових дій природоохоронні заходи відходять на другий план, що призводить до довгострокових негативних наслідків для всіх складових довкілля та населення. Військові зіткнення викликають низку небезпечних впливів на землі та ландшафти, рослинність, поверхневі та підземні води. Вони також значно збільшують ризик виникнення аварійних ситуацій на промислових підприємствах та інфраструктурних об'єктах.

Тому важливо своєчасно оцінювати порушення екологічного стану компонентів довкілля, у тому числі і стану ґрунтового покриву, на територіях ведення бойових дій, особливо у техногенно-перевантажених регіонах України.

Для різних типів військових об'єктів комплекси порушень можуть різнитись від виду і типів бойових дій, їх поєднання. Порушення ґрунтового покриву внаслідок бойових дій за часом прояву поділяються на дві групи: первинні (виникають безпосередньо під час бойових дій; це – прямі механічні деформації ґрунтового покриву; теплове забруднення; захаращення поверхні ґрунту) та вторинні (ті, що проявляються у поствоєнний час – підтоплення, засолення, ерозійні процеси, пірогенна деградація, дегуміфікація тощо, а причиною їх виникнення є відсутність або невиконання стратегічних заходів поствоєнного відновлення).

Воєнно-техногенне навантаження виражається у механічному, фізичному та хімічному впливах на ґрунти, що зумовлює особливі, притаманні певним діям наслідки.

Механічний вплив виражається у механічній деформації ґрунтового покриву, що призводить до руйнування структури ґрунтового покриву, ущільнення, заболочування тощо; засміченні продуктами бойової діяльності.

Хімічний вплив виражається у зміні природних фізико-хімічних параметрів ґрунтового покриву (рН, вмісту гумусу), зростанні концентрацій токсичних хімічних речовин. У результаті можуть утворюватися локальні воєнно-техногенні геохімічні аномалії з різним спектром вибухових та інших токсичних речовин, що унеможлиблює на невизначений термін використання земель.

Фізичний вплив виражається у зміні фізичних властивостей ґрунтового покриву внаслідок застосування систем зброї та військової техніки. Зазвичай, спостерігається комплексне поєднання різних чинників, що призводить до підсилення кожного із них і виникнення кумулятивного ефекту.

Основні наслідки для ґрунтів механічних, фізичних та хімічних впливів наступні: унеможливлення обробітку земель, забруднених хімічними речовинами, засмічених уламками і відходами; зниження або втрата родючості ґрунту; втрата здатності ґрунтів до самоочищення; втрата буферності ґрунтів щодо забруднювачів; втрата здатності до накопичення вологи; активація водної і вітрової ерозії, підтоплення і заболочування, опустелювання; втрата біорізноманіття.

Вплив воєнної діяльності є настільки нищівним, що його наслідки провокують ряд процесів, які призводять до повної деградації ґрунтових ресурсів. Така загроза потребує розроблення програмних заходів з рекультивації та консервації земель порушених внаслідок воєнних дій.

Землі, пошкоджені внаслідок бойових дій, можуть бути відновлені із застосуванням цілого арсеналу технік. Щодо земель, забруднених хімічними речовинами, розроблені численні методи фізичної, хімічної та біологічної ремедіації. Тут йдеться про рекультивацію земель – перетворення забруднених земель у придатні для подальшого господарського використання. Вибір технології рекультивації визначається характером та ступенем забруднення, цільовим призначенням або використанням ділянки, а також від наявності результативних та економічно ефективних технологій.

Альтернатива – консервація земель, які зазнали катастрофічних пошкоджень. При цьому передбачається припинення чи обмеження господарського використання земель на визначений термін, відновлення відбувається у природний спосіб. Додатковий інструмент підтримки таких територій – надання природоохоронного статусу для ефективнішого їх менеджменту.

Проаналізувавши всі можливі методи відновлення порушених ґрунтів ми детально вивчили методи фіторемедіації, як найбільш доступні. До основних з них належать: різofільтрація – всмоктування корінням хімічних елементів у розчиненому вигляді, що необхідні для життєдіяльності рослин; фітоекстракція – відбувається накопичення в рослині небезпечних забруднень (наприклад, важких металів); фітоволатилізація – відбувається випаровування летючих хімічних елементів, таких як миш'як (As) та селен (Se), через листя рослин; фітостабілізація – за рахунок метаболічних процесів хімічні сполуки переходять у менш рухому та активну форму, що знижує ризик поширення забруднень; фітодеградація – відбувається розкладання (деградація) органічної складової забруднень рослинами і симбіотичними мікроорганізмами; фітостимуляція – здійснюється шляхом стимуляції розвитку симбіотичних мікроорганізмів, які приймають участь у процесі очищення ґрунтів від забруднень.

Також виділяють методи біоремедіації за допомогою мікроорганізмів, де рослини відіграють роль біофільтрів, створюючи для мікроорганізмів оптимальне середовище (забезпечують киснем, розпушуючи ґрунт).

За результатами дослідження дійшли висновку, що методи фіторемедіації є найефективнішими та економічно вигідними. При цьому було визначено їх переваги та недоліки. Основні недоліки – це зниження активності процесів очищення у холодний період року; необхідність здійснення постійного спостереження; спеціальні методи утилізації зібраної фітомаси; деякі методи неефективні щодо глибинного забруднення.

Але, незважаючи на недоліки методи фітотехнологічного відновлення порушених земель мають безсумнівні переваги, як то: економічна ефективність (біоventиляція, фітостабілізація, біостимуляція); можливість вилучення високих концентрацій металів та цінних компонентів (фітосанація та фітостабілізація); прискорення росту рослин (фітостабілізація); поглинання та транслокація забруднюючих речовин (фітоекстракція); відсутність вторинних відходів при (фітовипаровування); покращення вмісту поживних речовин у ґрунті та біодоступність вибухової речовини для мікробіоценозу (біостимуляція); підвищення родючості ґрунту та його стійкості до впливу забруднюючих речовин (компостування); безпечність для навколишнього середовища.

Для ліквідації наслідків війни необхідно проводити ретельний моніторинг площ ґрунтів, пошкоджених та забруднених у результаті бойових дій, що дозволить своєчасно вживати заходів для їх реабілітації, а також встановити межі забруднених ділянок з метою їх відновлення. Відновлення забруднених ґрунтів необхідно здійснювати із використанням біологічних методів, зокрема фіторемедіації, які є перспективним напрямом, що динамічно розвивається та має значні переваги у порівнянні з іншими методами відновлення порушених ґрунтів.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Фекета І. Ю. Ґрунтознавство з основами геології. Курс лекцій / І. Ю. Фекета. – ДВНЗ «УжНУ», Природничо-гуманітарний коледж, Ужгород : вид. «Бреза», 2015. – 144 с.
2. Аверченко В. І. Ґрунтознавство : навч. пос. / В. І. Аверченко, Н. М. Самойленко. – Харків : Мачулін, 2018. – 118 с.
3. Балюк С. А. Сучасний стан ґрунтових ресурсів України: Як бути далі? [Електронний ресурс] / С. А. Балюк, М. М. Мірошніченко // Аграрний тиждень. Україна. Агрополітика. – 2023. – Режим доступу: <https://a7d.com.ua/agropoltika/50965-suchasnij-stan-gruntovih-resursv-ukrayini-jak-buti-dal.html> (дата звернення: 10.10.2023).
4. Аріон О. В. Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства : Навчально-методичний посібник / О. В. Аріон, Т. Г. Купач, С. О. Дем'яненко. – Київ, 2017. – 226 с.
5. Розподіл сільськогосподарських угідь та ріллі по областях України [Електронний ресурс]. Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», 2023 – Режим доступу: <https://www.iogu.gov.ua/#> (дата звернення: 10.10.2023).
6. Цицюра Я. Г. Рекультивация і фіторе mediaція деградованих земель : Методичні вказівки до виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти факультету агрономії та лісівництва денної та заочної форми навчання галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство», спеціальності 201 «Агрономія» другого (магістерського) рівня вищої освіти. ВНАУ, 2023. – 360 с.
7. Ni Luh Kartini «Assessment of Soil Degradation Based On Soil Properties and Spatial Analysis in Dryland Farming» / Ni Luh Kartini et al // Journal of Ecological Engineeringю. – 2023. – vol. 24, no. 4. – P. 368–375. – Access mode: doi:10.12911/22998993/161080 (date of appeal: 10.10.2023).

8. Rust N. Perceived Causes and Solutions to Soil Degradation in the UK and Norway / N. Rust, O. E. Lunder, S. Iversen, S. Vella, E. A. Oughton, T. A. Breland, J. H. Glass, C. M. Maynard, R. McMorran, M. S. Reed // *Land*. – 2022. – 11. – 131 p. – Access mode: <https://doi.org/10.3390/land11010131> (date of appeal: 12.10.2023).

9. Величко В. А. Моніторинг ґрунтів України – проблеми землевпорядного, ґрунтознавчого та наукового забезпечення / В. А. Величко, А. Г. Мартин, І. О. Новаковська // *Вісник аграрної науки. Найактуальніше*. – 2020. – № 7 (808). – С. 5–16. – Режим доступу: [https://agrovisnyk.com/pdf/ua\\_2020\\_07\\_01.pdf](https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2020_07_01.pdf) (дата звернення: 12.10.2023).

10. Новаковська І. О. Економіка землекористування : навч. посібник / І. О. Новаковська. – Київ : Аграрна наука, 2018. – 400 с.

11. Сплодитель А. Забруднення земель внаслідок агресії росії проти України / А. Сплодитель, О. Голубцов, С. Чумаченко, Л. Сорокіна. – *Land Matrix, Екодія*. – 2023. – 154 с. – Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-full3.pdf> (дата звернення: 30.10.2023).

12. Остапенко Н. С. До питання щодо екологічних наслідків, спричинених військовими діями на техногенно навантажених територіях України / Н. С. Остапенко, Л. В. Бондаренко, В. А. Кириченко, С. В. Крючкова // *Перспективи виробництва біосировини енергетичних культур на рекультивованих землях: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. – Дніпро : ДДАЕУ, 2022. – С 193–196. – Режим доступу: <https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/6949/1/3.pdf> (дата звернення: 30.10.2023).

13. Глушук В. Р. Забруднення ґрунтів внаслідок війни / В. Р. Глушук, І. М. Трус // *Перспективи виробництва біосировини енергетичних культур на рекультивованих землях: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. – Дніпро : ДДАЕУ, 2022. – С 168-171. – Режим доступу:

<https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/6949/1/3.pdf> (дата звернення: 30.10.2023).

14. Балюк С. А. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня / С. А. Балюк, В. В. Медведєв, Л. І. Воротинцева, В. В. Шимель // Вісник аграрної науки. – 2017. – № 8. – С. 5–11.

15. Підрив греблі річки Ірпінь. Як росіян зупинила вода? [Електронний ресурс] / А. Герасим, Н. Кельм // Texty.org.ua. – 2022. – Режим доступу: <https://texty.org.ua/articles/106945/pidryv-hrebli-richky-irpin-yak-rosiyan-zupynula-voda/> (дата звернення: 30.10.2023).

16. Hupy J. P. Introducing «bombturbation», a singular type of soil disturbance and mixing / J. P. Hupy, R. J. Schaetzl // Soil Sci. – 2006. – 171. – P. 823–836. – Access mode: <https://www.researchgate.net/publication/232094758> (date of appeal: 10.10.2023).

17. Василюк О. Якою має бути доля пошкоджених вибухами українських територій? [Електронний ресурс] / О. Василюк, В. Колодежна. – Українська природоохоронна група. UNCG. – 2022. – Режим доступу: <https://uncg.org.ua/iakoiu-maie-buty-dolia-poshkodzhenykh-vybukhamy-ukrainskykh-terytorij/> (дата звернення: 31.10.2023).

18. У вирвах, спалені і спаплюжені: як виглядають ліси Чернігівщини після обстрілів. Фото. – Пряма мова Львова. НТА. – 2022. – Режим доступу: <https://www.nta.ua/u-vyrvah-spaleni-i-sparplyuzheni-yak-vyglyadayut-lisy-chernigivshhynu-pislya-obstriliv-foto/> (дата звернення: 31.10.2023).

19. Weber A. K. Reduction in lead exposures with lead-free ammunition in an advanced urban assault course / A. K. Weber, D. I. Bannon, J. H. Abraham, R. B. Seymour, P. H. Passman, P. H. Lilley, K. K. Parks, G. Braybrooke, N. D. Cook, A. L. Belden // J. Occup. Environ. Hyg. – 2020 – 17 (11–12). – P. 598–610. – Access mode: <https://doi.org/10.1080/15459624.2020.1836375> (date of appeal: 30.10.2023).

20. Khan K. Y. Bioavailability and bioaccessibility of Cd in low and high Cd uptake affinity cultivars of *Brassica rapa* ssp. *Chinensis* L. (Pakchoi) using an In

vitro gastrointestinal and physiologically-based extraction test. / K. Y. Khan, B. Ali, P. J. Stoffella, Y. Feng, X. Cui, Y. Guo, X. Yang // *Commun. Soil Sci.* – 2020. – Plan 51 (1). – P. 28–37. – Access mode: <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1695818> (date of appeal: 31.10.2023).

21. Meng C. Characterizing the spatio-temporal exposure and health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in an oilfield, China / C. Meng, M. Li, Q. Li, Y. Hu, Y. Li // *Hum. Ecol. Risk Assess.* – 2018. – 24 (4). – P. 971–990. – Access mode: <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1405337> (date of appeal: 31.10.2023)

22. Barker A. J. Environmental impact of metals resulting from military training activities: a review / A. J. Barker, J. L. Clausen, T. A. Douglas, A. J. Bednar, C. S. Griggs, W. A. Martin // *Chemosphere.* – 2021. – 265 p. – Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020> (date of appeal: 31.10.2023).

23. Rehman K. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences / K. Rehman, F. Fatima, I. Waheed, M. S. H. Akash // *J. Cell. Biochem.* – 2018. – 119 (1). – P. 157–184. – Access mode: <https://doi.org/10.1002/jcb.26234> (date of appeal: 08.11.2023).

24. Manish Kumar Mobilization of contaminants: Potential for soil remediation and unintended consequences / Manish Kumar, Nanthi Bolan, Tahereh Jasemizad, Lokesh P. Padhye, Srinidhi Sridharan, Lal Singh, Shiv Bolan, James O'Connor, Haochen Zhao, Sabry M. Shaheen, Hocheol Song, Kadambot H. M. Siddique, Hailong Wang, M.B. Kirkham, Jürg Rinklebe // *Science of the Total Environment.* – 2022. – Volume 839. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722034702?via%3Di> hub (date of appeal: 08.11.2023).

25. Кураєва І. В. Розподіл важких металів у системі «ґрунт–рослина» в ландшафтах природоохоронних територій / І. В. Кураєва, А. О. Сплодитель // *Geochemistry of Technogenesis.* – 2020. – № 3. – С. 79–89. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.079> (дата звернення: 08.11.2023).

26. Іващенко Т. Г. Визначення забруднюючих речовин ґрунту територій промислових підприємств та ідентифікація їх екологічної небезпеки /

Т. Г. Іващенко, І. Д. Пушкарьова // Вісник Полтавської державної аграрної академії. Технічні науки. – 2014. – № 4. – С. 102–105. – Режим доступу: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2014/04/20.pdf> (дата звернення: 08.11.2023).

27. Гупал В. В. Вміст важких металів у ґрунтах захисних лісових насаджень призалізничних територій / В. В. Гупал, І. Р. Чорнявська // Вісник Полтавської державної аграрної академії. Сільське господарство. Екологія. – 2018. – № 4. – С. 123-130.

28. Чорнявська І. Р. Поширення важких металів у ґрунтах захисних лісових насаджень призалізничних територій / І. Р. Чорнявська, В. В. Гупал // II міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасний рух науки», 28-29 червня 2018 р. – Дніпро : Міжнародний електронний науково-практичний журнал «WayScience», 2018. – С. 505–509.

29. Ткачук О. П. Вплив аміачної селітри на концентрацію важких металів у ґрунті / О. П. Ткачук // Науково-практичний журнал, Серія: Збалансоване природокористування. – 2016. – Випуск 2. – С.162–165.

30. Чайка О. Г. Дослідження вмісту важких металів у ґрунті на прилеглих територіях автозаправних станцій / О. Г. Чайка, О. О. Мацьків, О. В. Стокалюк, М. В. Руда // Науковий вісник НЛТУ України. – 2018. – т. 28, № 10. – С. 62–65. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/332884013\\_Doslidzenna\\_vmistu\\_vazkih\\_metaliv\\_u\\_grunti\\_na\\_prileglijh\\_teritoriah\\_avtozapravnih\\_stancij](https://www.researchgate.net/publication/332884013_Doslidzenna_vmistu_vazkih_metaliv_u_grunti_na_prileglijh_teritoriah_avtozapravnih_stancij) (дата звернення: 08.11.2023).

31. Андрусишина І.М. Порівняльна оцінка вмісту важких металів у ґрунтах різних міських агломерацій: методологічні підходи до моніторингу довкілля / І. М. Андрусишина, І. О. Голуб, В. Ф. Демченко, О. Г. Лампека // Довкілля та здоров'я. – 2020. – №4 (97). – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/porivnyalna-otsinka-vmistu-vazhkih-metaliv-u-gruntah-riznih-miskih-aglomeratsiy-metodologichni-pidhodi-do-monitoringu-dovkillya> (дата звернення: 08.11.2023).

32. Технології виробництва вибухових речовин: курс лекцій / укладачі: М. Ф. Буллер, В. А. Роботько. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 211 с.

33. Бойко В. В. Спеціальні вибухові технології в геоінженерії : Монографія / В. В. Бойко, А. Л. Ган, О. В. Ган // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 316 с.

34. Розподіл та накопичення важких металів в ґрунтово-рослинному покриві в умовах техногенного впливу // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. – 2013. – № 3 (2). – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/rozpodil-ta-nakopichennya-vazhkih-metaliv-v-gruntovo-roslinnomu-pokrivu-v-umovah-tehnogenogo-vplivu> (дата звернення: 09.11.2023).

35. Дудник Є. Г. Моделювання надходження важких металів у листову масу деревних рослин придорожніх смуг / Є. Г. Дудник, Г. І. Кравчук // *Colloquium-journal*. – 2021. – № 15 (102). – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelyuvannya-nadhodzhennya-vazhkih-metaliv-u-listkovu-masu-derevnih-roslin-pridorozhnih-smug> (дата звернення: 09.11.2023).

36. Купчик О. Ю. Визначення кореляції між вмістом важких металів у продуктах рослинництва та ґрунті при екологічному моніторингу / О. Ю. Купчик // *Науково-технічний журнал*. – 2016. – № 1 (13). – С. 85–91. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/76238325.pdf>. (дата звернення: 08.11.2023).

37. Крайнюков О. Оцінка впливу важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин / О. Крайнюков, І. Кривицька, Ю. Черкашина // *Молодий вчений*. 2020. – 4 (80). – С. 244–252. – Режим доступу: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-4-80-51> (дата звернення: 09.11.2023).

38. Сорокіна Л. Ю. Розподіл важких металів в системі «ґрунт-рослина» в ландшафтах території Національного природного парку «Нижньосульський» / Л. Ю. Сорокіна, А. О. Сплодитель // «Могилевський меридіан». – 2017. – Т. 17, вип. 3–4 (39–40). – С. 19–24.

39. Балюк С. А. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня / С. А. Балюк, В. В. Медведєв, Л. І. Воротинцева, В. В. Шимель // Вісник аграрної науки. – 2017. – № 8. – С. 5–11.

40. Ласло О. О. Відновлення порушених земель сільськогосподарського призначення за допомогою біоремедіації / О. О. Ласло // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. : Сільськогосподарські науки. – 2014. – Вип. 1. – С. 94–100. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnugpr\\_sg\\_2014\\_1\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnugpr_sg_2014_1_14) (дата звернення: 30.11.2023).

41. Дурсун Ш. Біоремедіація важких металів з ґрунту: огляд принципів і критеріїв використання / Ш. Дурсун, Л. Ю. Симочко, М. Хайсен // Агроекологічний журнал. Екологія. – 2020. – № 3. – С. 6–12. – Режим доступу: <http://journalagroeco.org.ua/article/view/211521> (дата звернення: 30.11.2023).

42. Сухарев С. М. Методичні вказівки до лабораторного практикуму з навчальної дисципліни «Техноекологія» для студентів III курсу спеціальності 101 Екологія / С. М. Сухарев, О. С. Глух, Л. Ю. Роман, О. Ю. Сухарева – Ужгород : Вид-во УжНУ «Говерла», 2022. – 62 с. – Режим доступу: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/52465/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BA%D0%B0%20%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F.pdf> (дата звернення: 30.11.2023).

43. Шевчик Л. З. Аналіз біологічних способів відновлення нафтозабруднених ґрунтів / Л. З. Шевчик, О. І. Романюк // Scientific Journal «ScienceRise: Biological Science». – 2017. – № 1 (4). – С. 31–39.

44. Кляченко О. Л. Екологічні біотехнології: теорія і практика : Навчальний посібник / О. Л. Кляченко, М. Д. Мельничук, Т. В. Іванова – Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. – 254 с.

45. Шуліпа, Є. О. Біотехнологічні рішення для ремедіації ґрунтової екосистеми / Є. О. Шуліпа // Екологічні біотехнології та біоенергетика : матеріали науково-практичного семінару присвяченого 120-річчю КПІ ім. Ігоря

Сікорського (м. Київ, 14 грудня 2018 р.). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С. 97–102. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/26595?mode=full> (дата звернення: 01.12.2023).

46. Кругліченко М. М. Забруднення ґрунтового покриву нафтою та нафтопродуктами на території Сумської області / М. М. Кругліченко, А. О. Корнус // Матеріали Всеукраїнської наукової конференції «П'яті Сумські наукові географічні читання», (9–11 жовтня 2020 р.). – Суми : СумДПУ, 2020. – С. 180–184. – Режим доступу: [https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/10154/1/%D0%9A%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%BB%D1%96%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE\\_%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%83%D1%81\\_%D0%97%D0%B0%D0%B1%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf](https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/10154/1/%D0%9A%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%BB%D1%96%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE_%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%83%D1%81_%D0%97%D0%B0%D0%B1%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf) (дата звернення: 01.12.2023).

47. Романюк О. І. Розробка фіторемедіаційних композицій для очистки ґрунтів, забруднених нафтою та її похідними / О. І. Романюк, І. Ю. Борецька, Л. З. Шевчик, І. В. Ощাপовський // Науково-практичний журнал. Екологічні науки. – 2022. – № 4 (43). – С. 94–99. – Режим доступу: <http://escoj.dea.kiev.ua/archives/2022/4/15.pdf> (дата звернення: 01.12.2023).

48. Борецька І. Ю. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур / І. Ю. Борецька, Н. М. Джура, О. І. Романюк // Науково-практичний журнал. Екологічні науки. – 2021. – № 6 (39). – С. 72–76. – Режим доступу: <http://escoj.dea.kiev.ua/archives/2021/6/11.pdf> (дата звернення: 01.12.2023).

49. Шевчик Л. З. Аналіз біологічних способів відновлення нафтозабруднених ґрунтів / Л. З. Шевчик, О. І. Романюк // Scientific Journal «ScienceRise:Biological Science». – 2017. – № 1 (4). – С. 31–39. – Режим доступу: <https://media.neliti.com/media/publications/310176-the-analysis-of-biological-ways-of-resto-c55f937d.pdf> (дата звернення: 01.12.2023).

50. Самохвалова В. Л. Біоремедіація системи «ґрунт – ґрунтова біота – рослина» при забрудненні важкими металами як фактору хімічної та

біологічної деградації / В. Л. Самохвалова, Т. О. Гринченко, І. М. Журавльова, О. В. Мандрика // *Ecology and noospherology*. – 2015. – Vol. 26, no. 3–4. – С. 80–95. – Режим доступу:

<https://dspace.hnpu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d254a5c4-6313-4eb2-bbec-40f656deef6e/content> (дата звернення: 01.12.2023).

51. Чайка Т. О. Біотехнології у відновленні родючості ґрунтів в Україні після війни / Т. О. Чайка, І. В. Короткова // Проблеми та досягнення сучасної біотехнології: матеріали III міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (24 березня 2023 р., м. Харків). – Електрон. дані. – Харків : НФаУ, 2023. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/371012290\\_Biotehnologii\\_u\\_vidnovlenni\\_roducosti\\_gruntiv\\_v\\_Ukraini\\_pisla\\_vijni\\_Biotechnologies\\_in\\_restoring\\_soil\\_fertility\\_in\\_Ukraine\\_after\\_the\\_war](https://www.researchgate.net/publication/371012290_Biotehnologii_u_vidnovlenni_roducosti_gruntiv_v_Ukraini_pisla_vijni_Biotechnologies_in_restoring_soil_fertility_in_Ukraine_after_the_war) (дата звернення: 01.12.2023).

ДОДАТОК А  
(обов'язковий)

**АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний педагогічний університет  
імені Володимира Гнатюка  
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка  
Хмельницький національний університет  
Державний університет Нью Йорка (США)  
Університет Мармара (Туреччина)  
Ряшівський університет (Польща)  
Університет Стефан дель Марє (Румунія)  
Щецинський університет (Польща)  
Тернопільський осередок УГТ  
Тернопільський осередок НТШ



**ПОДІЛЬСЬКІ ЧИТАННЯ – 2023. КОМУНІКАЦІЙНІ СТРАТЕГІЇ ДЛЯ  
РЕАЛІЗАЦІЇ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ІНІЦІАТИВ ТА ПРОЄКТІВ**

*Матеріали міжнародної науково-практичної конференції присвяченої  
30-річчю першого набору на спеціальність «Екологія, охорона навколишнього  
середовища та збалансоване природокористування»  
у Тернопільському національному педагогічному університеті  
імені Володимира Гнатюка*



2-3 листопада 2023 року  
м. Тернопіль

## Література:

1. Денисик Г. Природнича географія Поділля. Вінниця: ЕкоБізнесЦентр, 1998. 183 с.
2. Державне агентство водних ресурсів України. Державний облік водокористування. URL: <https://www.davr.gov.ua/derzhavnij-oblik-vodokoristuvannya> (дата звернення 25.09.2023).
3. Децентралізація. Офіційний сайт. URL: <http://decentralization.gov.ua>
4. Кузик І. Структура водокористування водогосподарської ділянки річки Збруч. «Професор Ольга Заставецька – вчена, педагог, організатор географічної науки» (до 70-ої річниці від дня народження вченої): збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції. Редакційна колегія: Заставецька Л.Б., Заставецький Т.Б., Мариняк Я.О., Стецько Н.П. Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2023. С. 184-188.
5. Кузик І., Мельник Ю. Водокористування як чинник формування екологічної безпеки басейну річки Нічлава. Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія. 2023. №1. С. 240-247. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.26>
6. Природні умови та ресурси Тернопільщини. За заг. ред. М.Я. Сивого, Л.П. Царика. Тернопіль: ТзОВ: «Терно-граф», 2011. 512 с.

## АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ УКРАЇНИ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

*Єфремова О.О., Репецький Д.В.*

[25efrem@gmail.com](mailto:25efrem@gmail.com)

*Хмельницький національний університет*

*Military activities cause large-scale and long-term degradation of the environment, primarily soil cover. Scientific developments in the field of monitoring and ecological and geochemical assessment of soil conditions in the context of military conflicts are fragmented, which necessitates solving the problem of geochemical analysis and assessment of the ecological state of territories and finding ways to restore disturbed lands. The article discusses the types of soil damage caused by military operations and the main ways of soil restoration.*

*Key words: military operations, soil damage, soil restoration.*

Військові дії та обстріли, які тривають в Україні з 24 лютого 2022 р., призводять до знищення і забруднення навколишнього середовища, що має серйозні наслідки для екології, економіки та здоров'я людей. Від снарядів та авіабомб утворюються вирви, створюються нові заміновані території, знищується важка військова техніка, що призводить до витоку нафтопродуктів, випалення землі та інших шкідливих наслідків. Загалом, пошкодження ґрунту внаслідок військових дій можна розподілити на механічні, фізичні та хімічні.

Механічні пошкодження виникають внаслідок вибухів та обстрілів, пересування важкої техніки та військ, будівництва захисних споруд, і полягають в ущільненні, заболочуванні та руйнуванні структури ґрунту. Відбувається знищення гумусового шару, зниження родючості та водоутримуючої здатності ґрунтів.

Фізичні пошкодження виникають внаслідок вібраційних, радіоактивних та теплових впливів. Вібрація призводить до ущільнення ґрунту, витискання води, просідання поверхні, утворення порожнин, зміни мікрорельєфу. Радіоактивний вплив наразі не фіксується, але не може повністю виключатися. Тепловий вплив зумовлює локальне підвищення температури, що викликає порушення термічного та водного режиму, зміну гранулометричного та агрегатного складу, що, в свою чергу, призводить до зниження біорізноманіття [1, 2].

Хімічний вплив виявляється у зміні природних фізико-хімічних параметрів ґрунту, збільшенні концентрації токсико-хімічних речовин, в першу чергу важких металів та їх сполук, порушення біохімічних та мікробіологічних процесів, знищенні рослинності.

Отже, військові дії мають серйозний негативний вплив на якість та продуктивність ґрунтового покриву, а відновлення природних екосистем та сільськогосподарських угідь після війни може вимагати значних зусиль та ресурсів. Тому необхідно здійснювати моніторинг ґрунтів і посівів до того часу, доки вплив забруднення на рослини і продукцію не буде відсутній.

Аналіз наслідків бойових дій перед вибором технології відновлення земельного покриву є важливою процедурою для визначення окремих заходів та ресурсів для відновлення пошкоджених територій. При цьому першочерговим постає питання безпеки території, тобто виявлення вибухонебезпечних об'єктів і, за необхідності, розмінування території. Далі необхідно ідентифікувати землі, пошкоджені бойовими діями та фактори впливу на них (переміщення військових, вибухи або інші бойові дії) [1]. Наступним є визначення типу впливу (хімічний, механічний, фізичний) та наслідків для земель. І вже після здійснюється оцінка рівня забруднення ґрунту внаслідок певного впливу.

На основі такого аналізу можна прийняти рішення щодо вибору оптимальної технології відновлення земель та розробки плану відновлення, включаючи заходи з очищення (детоксикації), рекультивациі та відновлення довкілля.

Детоксикація ґрунту – сукупність заходів і методів, що спрямовані на створення в забруднених ґрунтах таких умов, які послаблюють або повністю позбавляють ґрунт від дії токсичних забруднюючих речовин, а також забезпечують сприятливі умови для його самоочищення. Наразі на забруднених територіях доцільно рекомендувати застосовувати такі методи детоксикації:

- фізичні – видалення забрудненого шару ґрунту та його захоронення. Доцільним може стати для ділянок активних бойових дій із руйнуванням будівель, техніки тощо, коли видалення сміття без поверхневого шару ґрунту не можливе;
- хімічні – інактивація або зниження токсичної дії забруднювачів за допомогою вапнування, внесення органічних і мінеральних добрив тощо;
- біологічні – вирощування культур, які є стійкими до забруднення і здатні виносити з ґрунту токсичні речовини [3].

Рекультивациія та відновлення включають наступні практики: землеробство, стабілізацію, фітосанацію, компостування, хімічне вилугування (промивання), термічну десорбцію, хімічну екстракцію, хімічне окислення або відновлення та захоронення. Для поліпшення ситуації на забруднених ділянках вже можна використовувати основні агротехнічні прийоми такі, як зміна агротехнології. До змін агротехнології можна віднести: обробіток ґрунту, сівозміну, фіторе mediaцію, хімічну меліорацію, застосування мікробіологічних препаратів, системи удобрення та рекультивациія.

Обробіток ґрунту. Внаслідок вибухів та руху важкої військової техніки на полі окремі ділянки мають високу щільність верхніх горизонтів ґрунту. Проблему з ущільненням можна вирішити глибоким обробітком, глибину якого визначають на основі вимірів щільності та/або твердості. Плантажна оранка, глибоке меліоративне розпушування, щілювання – заходи агротехнічної меліорації, які спрямовані на збільшення потужності кореневмісного шару та поліпшення агрофізичних властивостей ґрунту. Такі заходи опосередковано можуть допомагати культурам рости в умовах підвищеної концентрації забруднюючих речовин [1].

Сівозміна. Хімічне забруднення ґрунтів безпосередньо впливає на умови росту і розвитку кореневої системи рослин. При підборі культур потрібно звернути увагу на два основні моменти: вплив забруднювача на посівні якості насіння, ріст культур та їхня урожайність; накопичення забруднювача в основній продукції.

На забруднених ґрунтах особливу агрономічну цінність мають культури, які можуть давати врожай за підвищеного вмісту важких металів та радіонуклідів, але при цьому їх

концентрація у зерні не перевищує максимально допустимі рівні. Одна із таких культур – кукурудза. А от сояшник – навпаки, має природну властивість накопичувати цезій та кадмій, причому концентрація останнього може перевищувати діючі обмеження. Найбільшу небезпеку являють рухомі форми важких металів, які є легкодоступними для рослин. Рухомість важких металів істотно залежить від цілого ряду агрохімічних та фізико-хімічних властивостей ґрунту та його гранулометричного складу. Основними з них є вміст органічної речовини, рН ґрунтового розчину та відсоток вмісту мулистий фракції. Виходячи з цього, більш перспективним напрямком детоксикації забруднених важкими металами ґрунтів є розроблення заходів, спрямованих саме на зниження рухомості важких металів, закріплення їх у ґрунті, що в свою чергу, призводить до зниження доступності токсикантів для рослин та їх накопичення в продукції агроценозів. Одним із таких заходів є вапнування – хімічний спосіб детоксикації забруднених важкими металами ґрунтів, який призводить до зниження рухомості поліютантів за рахунок утворення важкорозчинних комплексних сполук, а також сорбції їх оксидами і гідроксидами заліза і марганцю. Внесення вапнякових матеріалів збагачує ґрунт кальцієм, покращує його структуру, активує процеси окислення тощо. Дози  $\text{CaCO}_3$  слід розраховувати, виходячи з буферної здатності ґрунту, і диференціювати, залежно від ступеня забруднення ґрунту важкими металами, оскільки наразі не існує нормативів щодо обсягів внесення вапнякових матеріалів в ґрунт саме з метою його детоксикації [3].

Фіторе mediaція. Це комплекс методів очищення стічних вод, ґрунтів і атмосферного повітря з використанням зелених рослин. Забруднений ґрунт можна поступово відновити, висіваючи культури, які мають високий винос забруднювача і бажано значну біомасу. Як динамічно розвинений напрям відновлення властивостей, екологічних функцій та якостей ґрунту фіторе mediaція об'єднує значну кількість методів, які базуються на процесах: фіто стабілізації (імобілізації органічних і неорганічних забруднювачів шляхом адсорбції коренями рослин, часточками ґрунту або осадження в прикореневій зоні; передбачає перетворення поліютантів у нерозчинні, малорухомі форми і подальше підтримання їх у такому стані завдяки сполукам, що виділяються кореневою системою рослин у ґрунтовий комплекс; запобігає переміщенню поліютантів у ґрунті, ґрунтових водах або повітрі, зменшує ерозію, винос і вилугування, сприяє відновленню екосистем і біорізноманіття); фіто екстракції (поглинання забруднювачів кореневою системою рослин разом із поживними речовинами і транслокація їх у надземні органи; по завершенні вегетації й транслокаційних процесів надземні органи рослин скошуюють і піддають відповідній переробці); використовують для очищення ґрунтів і водойм, забруднених важкими металами й радіонуклідами); фітостимуляції (збільшує мікробний метаболізм у рослинній ризосфері, що важливо для процесу очищення); фітодеградації і фітотрансформації (розкладання ксенобіотиків до нетоксичних сполук, базується на значному потенціалі метаболізму і біорозмаїтті рослин); фітовипаровуванні (вилучення токсикантів із ґрунту рослинами і виділення в атмосферу летких неотруйних сполук); ризофільтрації (вилучення рослинами розчинених форм токсикантів із рідкої фази завдяки значній поглинальній здатності кореневої системи рослин); ризодеградації (розкладання ксенобіотиків у ризосферній зоні рослин за допомогою мікроорганізмів) [4].

Актуальними залишаються питання розроблення методів екологічної ре mediaції забруднених ґрунтів, пов'язаних зі здатністю різних фіторе mediaнтів оптимізувати та відновлювати природний стан (структуру та функції) ґрунту, швидко формувати потужну кореневу систему та надземну вегетативну масу, проявляти високий коефіцієнт біоаккумуляції. Широкий спектр видів рослин має потенціал для використання в біоенергетичних та фіторе mediaційних цілях на основі їх екосистемних властивостей для встановлення кращого зв'язку між фітотерапією ґрунту – відновлення та виробництва біопалива. Особливої уваги заслуговують енергетичні культури – рослини, які спеціально вирощують для використання як палива або ж для виробництва на їх основі біопалива. Вони здатні накопичувати неорганічні забруднювачі в кореневій системі та розкласти

стійкі органічні забруднювачі у ґрунті, тому ці види рослин є оптимальними для фітостабілізації та фітодеструкції. Найбільш поширеними енергетичними культурами є: міскантус, верба, тополя, світчграсс, сорго, еспарцет, ріжій, буркун тощо [4].

Мікробіологічні препарати. Мікробіота ґрунту також зазнає впливу воєнних дій. У випадку забруднення важкими металами мікробіологічні препарати можуть зменшити надходження токсичних елементів до рослини. Це дасть можливість рости і розвиватися культурі, а також стримати рівень забруднення врожаю у межах допустимого рівня. Якщо поле вигоріло, то у верхньому шарі ґрунту (до 5-10 см) відбувається повна або часткова стерилізація, і внесення мікробіологічних препаратів теж сприятиме швидшому відновленню мікрофлори. Також ці засоби можуть допомогти і з проблемою паливо-мастильного забруднення ґрунтів. Дослідження показали, що на ділянках, забруднених нафтопродуктами, окремі групи мікроорганізмів сприяли втрисі швидшій їх деструкції.

Хімічна меліорація. На кислих ґрунтах можна зменшити рухомість важких металів і радіонуклідів за рахунок внесення вапнякових матеріалів. При рН 6,5 спостерігається найменша розчинність і, відповідно, доступність важких металів. Кальцій є антагоністом не тільки для забруднювачів, тому при вапнуванні можуть блокуватися рухомі сполуки макро- і мікроелементів (фосфор, цинк, марганець тощо), що варто враховувати при побудові системи удобрення. На лужних ґрунтах для боротьби із забруднювачами варто проводити гіпсування. Для детоксикації надлишку важких металів також можна використати цеоліти. Так при їх застосуванні на кислих ґрунтах, забруднених свинцем, вдалося знизити вміст цього металу на 30 %. Серед інших матеріалів доведена ефективність базальтових туфів, які, як сорбенти, очищують ґрунти від радіонуклідів і важких металів.

Система удобрення. Найдієвіші добрива на порушених ґрунтах в ході воєнних дій – органічні. На ділянках, що забруднені важкими металами внаслідок вибухів, органічні сполуки утворюють із забруднювачами комплекси, які є малорухомими. На полях, які вигоріли, відбувається зниження вмісту гумусу, знищення мікробіоти і рослинних решток, а концентрації рухомих форм важких металів підвищуються. Органічні добрива можуть поступово виправити негативні наслідки пожеж. Фосфорні добрива мають здатність до детоксикації важких металів. В результаті взаємодії у ґрунті утворюються фосфати металів (свинцю, цинку та ін.), які є важкорозчинними сполуками і малодоступні для рослин. На кислих ґрунтах економічно доцільніше використання фосфоритного борошна. Внесення підвищених доз калійних добрив на тлі збалансованого азотного і фосфорного живлення сприяє меншому накопиченню цезію-137 в рослинах. Пов'язано це з тим, що цезій-137 є хімічним аналогом калію.

Рекультивация. Рекультивация сильно порушених ґрунтів здійснюється шляхом механічного загортання бульдозерами та грейдерами без урахування генетичних горизонтів. Це – груба рекультивация. В такому випадку відновлення ґрунту триватиме десятки років із необхідністю серйозних інвестицій в органічні добрива, меліоранти та ін. Зняття забрудненого шару із подальшим завезенням ґрунту хорошої якості – дорогавартісно. Тому, в тих випадках, коли ймовірні витрати не окупляться десятками чи сотнями років, доцільно законсервувати пошкоджені ділянки і дозволити природі запусити процес самовідновлення. Проте якщо рівень забруднення високий, а небезпечний забруднювач зможе (залежно від ґрунтово-кліматичних умов) легко мігрувати у підґрунтові води, то без заходів покращення не обійтисся, оскільки постає питання в інтересах екологічної безпеки держави.

Отже, пошук методів ефективного відновлення порушених ґрунтів вимагає вирішення питань методичного, технологічного і правового змісту та потребує розробки і проведення комплексу фізико-хімічних і біологічних заходів, спрямованих на зниження інтенсивності процесів подальшої деградації таких ґрунтів, а повне відновлення повоєнних територій є пріоритетною складовою для їх безпечного розвитку.

## Література:

1. Голубцов О., Сорокіна Л., Сплодитель А., Чумаченко С. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. 32 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary.pdf> (дата звернення 10.10.2023 р.).
2. Інформація про наслідки для довкілля від російської агресії в Україні 24 лютого – 18 березня 2022 року URL: <https://mepr.gov.ua/news/39062.html> (дата звернення 12.10.2023 р.).
3. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище. [Т.М. Мислива, П.П. Надточій, Л.О. Герасимчук та ін.]. За ред. Т.М. Мисливої. Житомир, 2011. 50 с.
4. Борецька І.Ю., Джура Н.М., Романюк О.І. Фіторе mediaція техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. Екологічні науки, 2021. № 6 (39). С. 72-76. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11>

### ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ МІСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

Єфремова О.О., Юрков Ю.Д.

[25efrem@gmail.com](mailto:25efrem@gmail.com)

Хмельницький національний університет

*The article describes the characteristics of surface waters of the Khmelnytskyi city territorial community. The qualitative and quantitative indicators of the community's surface waters as of 2021 are analyzed. The water quality of the Pivdennyi Buh River within the Khmelnytskyi City Territorial Community for 2012-2021 was assessed using the methodology of environmental assessment of surface water quality in the relevant categories, and the dynamics of water quality indicators over a ten-year period was determined. The possible sources of anthropogenic impact on natural waters are analyzed and the main environmental problems are identified.*

*Key words: surface water quality, environmental assessment, anthropogenic load, surface waters of the Khmelnytskyi city territorial community.*

Водні ресурси є одним з найважливіших, але в той же час найбільш вразливих компонентів навколишнього природного середовища, який здатний дуже швидко змінюватися під впливом господарсько-побутової діяльності людини. Постійне зростання антропогенного навантаження на гідросферу, зміна водного режиму та запасів поверхневих вод призводять до погіршення їх кількісних та якісних показників. Проблема раціонального використання водних ресурсів є актуальною для багатьох регіонів світу та України, в тому числі і для Хмельницької міської територіальної громади (МТГ).

Хмельницька міська територіальна громада – територіальна громада з адміністративним центром – м. Хмельницький, загальною площею – 492,821 км<sup>2</sup>. Утворена 12.06.2020 року шляхом об'єднання Хмельницької міської ради обласного значення та 6 старостинських округів: Богдановецької сільської ради Деражнянського району, Копистинської, Олешинської, Шаровечківської сільських територіальних громад та Пироговецької, Давидковецької сільських рад Хмельницького району [1].

Поверхневі водні об'єкти Хмельницької МТГ представлені р. Південний Буг (головна водна артерія), р. Кудрянка (Самець) і р. Плоска (праві притоки Південного Бугу), озером в Північному мікрорайоні, ставками в мікрорайонах Дубове та Ружична і

## ЗМІСТ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>СЕКЦІЯ I. ІСТОРІЯ, МЕТОДОЛОГІЯ ТА ПЕРСОНАЛІ<br/>МІЖДИСЦИПЛІНАРНИХ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>   | <b>5</b>  |
| Царик Л.П., Царик П.Л. ЗАСЛУЖЕНИЙ ПРИРОДООХОРОНЕЦЬ УКРАЇНИ<br>М.П.ЧАЙКОВСЬКИЙ ТА ЙОГО ВКЛАД У РОЗВИТОК ЗАПОВІДНОЇ СПРАВИ.....   | 5         |
| Новицька С.Р., Боднарчук М.Б. 30 РОКІВ ПОТОМУ.....  | 10        |
| Ковальчук І.П., Ковальчук А.І., Дубіс Л.Ф., Царик Л.П. НАУКОВІ ЗАСАДИ<br>ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РІЧКОВО-БАСЕЙНОВИХ СИСТЕМ.....   | 14        |
| Максименко Н.В., Шкаруба А.Д. ПРОЄКТ МІЖНАРОДНОГО ВИШЕГРАДСЬКОГО<br>ФОНДУ «ЗЕЛЕНО-БЛАКИТНА ІНФРАСТРУКТУРА ПОСТРАДІАНСЬКИХ МІСТ<br>- ВИКОРИСТАННЯ ДОСВІДУ V4» – ЗДОБУТКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ..... | 20        |
| Іванов Є.А., Біланюк В.І., Ваньо Б.Б., Войтків П.С. ПІДХОДИ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ<br>СТАНІВ І ФУНКЦІОНУВАННЯ ГРНИЧОПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ.....  | 23        |
| Нешатаєв Б.М., Корнус А.О. СОЦІАЛЬНА ГЕОЕКОЛОГІЯ ЯК НОВИЙ ІНТЕГРАЦІЙНИЙ<br>НАПРЯМ У ГЕОГРАФІЇ.....  | 28        |
| Царик П.Л., Оливко О.А. РЕКРЕАЦІЙНІ АСПЕКТИ КОМПЛЕКСНИХ<br>МІЖДИСЦИПЛІНАРНИХ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ Р. ДЖУРИН.....   | 32        |
| Чеболда І.Ю., Кузик І.Р. БІОРЕГІОНАЛІЗМ (ЕКОРЕГІОНАЛІЗМ) ЯК ІДЕЯ<br>ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ РЕГІОНІВ (НА ПРИКЛАДІ ЧУГАЛІВСЬКОГО СТАРОСТИНСЬКОГО<br>ОКРУГУ КРЕМЕНЕЦЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ)..... | 36        |
| Чернюк Г.В., Касіяник І.П., Матвійчук Б.В. МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СУЧАСНИХ<br>ПОНЯТЬ ПРО НООСФЕРУ.....   | 39        |
| <b>СЕКЦІЯ II. МІЖДИСЦИПЛІНАРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ<br/>ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ.....</b>  | <b>45</b> |
| Денисюк Г.І., Атаман Л.В., Буряк-Габриєль І.О., Стефанков Л.Л. НЕСПРИЯТЛИВІ МІКРО-<br>І МЕЗООСЕРЕДКОВІ ПРОЦЕСИ У МІСТЕЧКАХ ВІННИЧЧИНИ.....  | 45        |
| Zastavetska L.B., Zastavetskyi T.B. & Taranova N.B. THE PROBLEM OF DRINKING<br>WATER SCARCITY AND WATER POLLUTION IN GLOBAL CITIES AROUND THE WORLD.....                                    | 47        |
| Царик Л.П., Царик П.Л. ПРО ЕКОСТАН ВЕРХНЬОЇ ТЕЧІЇ РІЧКИ ДЖУРИН<br>І ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ЗАПОВІДНИХ ОБ'ЄКТІВ.....  | 50        |
| Кузишнін А.В. ПРОБЛЕМНІСТЬ ОЦІНКИ РІВНЯ ДОБРОБУТУ СІЛЬСЬКИХ<br>ПЕРИФЕРІЙНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД: МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД.....  | 53        |
| Любінський О.І., Любінська Л.Г. СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ, МОНИТОРИНГ<br>ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ.....  | 58        |
| Заблоцький Б.В., Дем'янчук П.М., Гавришок Б.Б., Гулик С.В. АНАЛІЗ І ОЦІНКА<br>АНТРОПОГЕННОЇ ПЕРЕТВОРНОСТІ ЛАНДШАФТІВ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ<br>(В РОЗРІЗІ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД).....       | 63        |
| Давибіда Л.І., Базюк І.І. ОЦІНКА ЗМІН ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ<br>НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ У 2021-2022 РОКАХ ЗА ДАНИМИ АНАЛІЗУ<br>СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ SENTINEL-5P.....                  | 68        |
| Федорчук І.В., Козак М.І. ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЯЛИНИ ЗВИЧАЙНОЇ<br>В УМОВАХ ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ СМТ. МИРОПІЛЬ.....  | 71        |
| Касіяник І.П., Касіяник Л.В. ГЕОТУРИСТИЧНИЙ КОМПОНЕНТ<br>ТУРИСТИЧНО-РЕКРЕАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ МІСТА КАМ'ЯНЕЦЬ-ПОДІЛЬСЬКИЙ.....  | 76        |
| Шевченко С.М., Кирилюк О.І. ВПЛИВ АНТРОПОГЕННИХ ФАКТОРІВ НА ОСОБЛИВОСТІ<br>ФОРМУВАННЯ ІХТІОФАУНИ ДНІСТРОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА.....  | 79        |
| Барна І.М. МІНІ- ТА МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ПОЗИЦІЇ ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ<br>ЗАГАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ.....   | 84        |
| Стецько Н.П. СУЧАСНИЙ СТАН МАЛИХ РІЧОК У МЕЖАХ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....  | 87        |
| Рудакевич І.Р. ТЕХНОГЕННА АВАРІЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ RENOWBOARD<br>У МІСТІ ТЕРНОПІЛЬ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ.....   | 91        |
| Кузик І.Р., Бишюра Л.О. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ВОДОКОРИСТУВАННЯ<br>АДМІНІСТРАТИВНИХ РАЙОНІВ ПОДІЛЬСЬКОГО РЕГІОНУ.....  | 95        |
| Єфремова О.О., Репецький Д.В. АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРУШЕНИХ<br>ЗЕМЕЛЬ УКРАЇНИ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ.....   | 99        |