

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та
екології**

**Кафедра екології, збалансованого природокористування та захисту
довкілля**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

на тему: «АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ВПЛИВУ ВОЄННИХ ДІЙ НА
НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ»

Виконала: здобувачка вищої освіти
за освітньою програмою Екологія
спеціальності 101 Екологія
ступеня вищої освіти магістр
групи 101Еко_мд

Королькова Анастасія Олександрівна

Керівник: Тараненко Анна Олексіївна,
к.с.-г.н., доцент

Рецензент: Гордєєва Олена Федорівна,
к.с.-г.н., доцент

Полтава – 2024 року

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| <i>ВСТУП</i> | 4 |
| <i>РОЗДІЛ I НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ БОЙОВИХ ДІЙ НА ДОВКІЛЛЯ</i> | 7 |
| <i>1.1. Вплив бойових дій на стан атмосфери</i> | 7 |
| <i>1.2. Вплив бойових дій на стан водних ресурсів</i> | 9 |
| <i>1.3. Вплив бойових дій на біорізноманіття та природо-заповідний фонд України</i> | 11 |
| <i>1.4. Вплив бойових дій на земельні ресурси</i> | 13 |
| <i>Висновки до розділу</i> | 17 |
| <i>РОЗДІЛ II ВІДНОВЛЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ</i> | 20 |
| <i>2.1. Оцінка негативного впливу воєнних дій на земельні ресурси</i> | 20 |
| <i>2.1.1. Хімічний аналіз ґрунту</i> | 20 |
| <i>2.1.2. Геологічні та геохімічні дослідження</i> | 21 |
| <i>2.1.3. Фізичні дослідження ґрунту</i> | 22 |
| <i>2.1.4. Біологічний аналіз ґрунту</i> | 23 |
| <i>2.1.5. Картографування та ГІС-аналіз</i> | 24 |
| <i>2.2. Розробка способів відновлення ґрунтів</i> | 25 |
| <i>2.3. Напрями відновлення родючості ґрунтів</i> | 28 |
| <i>2.3. Міжнародний досвід відновлення родючості забруднених внаслідок військових дій ґрунтів</i> | 43 |
| <i>Висновки до розділу</i> | 51 |
| <i>РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ</i> | 54 |
| <i>3.1 Вартість рекультивациі</i> | 54 |
| <i>3.2 Економічні наслідки несвоєчасного очищення</i> | 55 |

| | |
|--|-----------|
| <i>3.3 Економічні вигоди від рекультивованих земель: перспективи повернення до сільськогосподарського використання</i> | <i>57</i> |
| <i>Висновки до розділу.....</i> | <i>58</i> |
| <i>ВИСНОВКИ</i> | <i>60</i> |
| <i>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</i> | <i>63</i> |

ВСТУП

Актуальність теми. Військові дії завдають значної шкоди довкіллю: знищуються ліси, забруднюються ґрунти, вода і повітря, руйнуються екосистеми. Відновлення цих ресурсів є життєво необхідним для збереження біорізноманіття та цілісності природних систем. Воєнні конфлікти також руйнують сільськогосподарські угіддя, лісові та інші природні ресурси, що забезпечують економічний розвиток країни. Вибухи, пожежі, рух та знищення військової техніки, руйнування будівель - спричиняють викид важких металів і токсичних речовин. Також бойові дії прискорюють зміну клімату. Забруднення територій після воєнних дій створює загрозу для людей. Його наслідки можуть відчуватися десятиліттями через забруднене повітря, воду та отруєні ґрунти. Ефективне відновлення довкілля є важливим для забезпечення здорових умов життя. На ліквідацію екологічних наслідків війни можуть знадобитись десятиліття. Таким чином, відновлення довкілля після військових дій є не лише екологічним, а й соціальним, економічним і навіть політичним питанням, що робить цю тему особливо актуальною для сучасного світу.

Об'єктом дослідження є довкілля і земельні ресурси України.

Предметом дослідження є екологічні збитки завдані довкіллю України під час війни.

Метою кваліфікаційної роботи є визначення ефективних методів відновлення земельних ресурсів та компенсація збитків що були нанесені земельному фонду України у період війни.

Методи дослідження: літературний пошук, теоретичний аналіз літературних даних, аналітичні дослідження, статистичний збір, обробка і аналіз матеріалу.

Завдання кваліфікаційної роботи:

1. Визначити основні види забруднень земельних ресурсів, спричинених військовими діями.
2. Виконати огляд сучасних технологій та практик відновлення пошкоджених земель (фіторе mediaція, біоре mediaція, агрономічні заходи).

3. Провести порівняльний аналіз ефективності різних підходів до відновлення ґрунтів.

У кваліфікаційній роботі узагальнено та проаналізовано шкоду, яку завдали довкіллю України протягом періоду повномасштабної війни.

Застосування методики оцінки шкоди, завданої земельним ресурсам України через військові дії, дозволяє зафіксувати екологічну катастрофу, яка в подальшому вимагатиме відновлення природного середовища.

Особистий внесок здобувача: Проведено аналіз впливу бойових дій на земельний фонд України, визначено ризики та наслідки цього впливу на територіях. На основі отриманих даних розроблено рекомендації щодо зменшення екологічної шкоди земельному фонду, сприяння відновленню природного середовища та збереження його стану в майбутньому. Ці заходи спрямовані на мінімізацію негативних наслідків війни для екології та підвищення здатності країни адаптуватися до кліматичних змін.

Апробація результатів роботи. Результати роботи апробовані на студентській науковій конференції Полтавського державного аграрного університету, 15-16 травня 2023 року, VI Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції (Полтава 27 травня 2024, Полтава 12 грудня 2024).

Публікації:

1. Диченко О.Ю., Королькова А.О. Екологічні ризики війни для українського довкілля. Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: матеріали VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Полтава 27 травня 2024). С. 36-39.

2. Тараненко А. О., Бочаров Д.В, Королькова А.О., Прядко В. Г. Аналіз екологічної стійкості лісових екосистем полтавської області. *Scientific Progress & Innovations*, 2024, №4, прийнято до друку.

3. Тараненко А.О., Королькова А.О. Вплив бойових дій на земельні ресурси. Ефективне функціонування екологічно-стабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку: агроекологічний, соціальний та

економічний аспекти: матеріали VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Полтава 12 грудня 2024). С. 27-29.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається із 69 сторінок тексту. Зміст роботи викладено у 2 розділах. Містить 5 рисунків. Список використаної літератури становить 63 джерела.

РОЗДІЛ І

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ БОЙОВИХ ДІЙ НА ДОВКІЛЛЯ.

1.1. Вплив бойових дій на стан атмосфери.

Україна підтримує кліматичні цілі ЄС у зв'язку із чим ратифікувала Паризьку кліматичну угоду (2016р.). Основна мета кліматичної політики України – скоротити викиди парникових газів на 65% до 2030 р. та досягти кліматичної нейтральності до 2060 р.

Військові дії на території України призводять до пожеж на промислових та інфраструктурних об'єктах, у житловому секторі й природних екосистемах, а також викиди летких сполук у результаті пошкодження підприємств, викликають значне зростання вмісту парникових газів в атмосфері. За попередніми оцінками Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, через підвищене споживання паливно-мастильних матеріалів військовою технікою, збільшився вплив військових дій на локальний клімат, хоча точні масштаби цих змін зараз важко визначити.



Рис.1 Пожежа на полі пшениці у Миколаївській області.[1]

Серед промислових об'єктів, що зазнають обстрілів, виділяються теплові електростанції, виробничі й складські приміщення підприємств різних виробничих потужностей. Часто пошкоджуються резервуари, в яких

зберігаються небезпечні леткі речовини. Унаслідок обстрілів регулярно виникають пожежі, що призводить до значних викидів в атмосферу. Особлива небезпека таких пожеж в тому, що на складах у переважній більшості зберігаються різноманітні матеріали, під час їх згорання виникає непередбачуване поєднання летких сполук вплив якого на довкілля важко визначити.



Рис.2 Влучання у сільськогосподарську техніку.[2]

Пошкодження об'єктів енергетичної інфраструктури спричиняють не лише викиди в атмосферу, але і відключення електропостачання. Для підтримки роботи установ в переважній більшості використовуються бензинові та дизельні генератори. У приватному секторі також зросло використання твердого палива для обігріву приміщень, що збільшує обсяг продуктів згорання в повітрі.

Пожежі в природних екосистемах, спричинені обстрілами, становлять особливу небезпеку через їх руйнівний вплив на навколишнє середовище, складність у гасінні та додаткові ризики для рятувальників і пожежників. Такі пожежі часто виникають внаслідок попадання снарядів, вибухів або використання запальної зброї, що призводить до ураження великих ділянок лісів, степів або інших природних територій. Оскільки зараз пожежі часто

виникають в зонах бойових дій, пожежники стикаються з серйозними труднощами: з підвищених загроз від вогню, додається небезпека потрапляння під обстріли, вибухи, а також на заміновані території.

Через бойові дії доступ до зони пожежі може бути обмеженим, що значно ускладнює організацію рятувальних робіт і збільшує час до початку гасіння. Це, у свою чергу, дає можливість пожежі поширюватися на великій площі, що призводить до втрати значних масивів лісу та інших природних ресурсів, а також знищує ареали існування багатьох видів флори та фауни.

Крім того, гасіння пожежі на таких територіях часто потребує значної кількості ресурсів, останні стандартні методи боротьби з вогнем можуть бути малоефективними або навіть небезпечними. Ситуація посилює високі температури від вибухів та ризик подальших військових атак, що змушує пожежників працювати в умовах підвищеної обережності та з додатковим захистом.

Таким чином, пожежі в природних екосистемах, які виникають через обстріли, є не лише складними для ліквідації, але й становлять серйозну загрозу для життя та здоров'я пожежників і збільшують втрати ресурсів екосистеми. Хоча наразі важко оцінити точні обсяги та склад викидів у повітря через воєнні дії, очевидно, що воєнна агресія має негативний вплив на атмосферу як прямо, так і опосередковано [3, 4, 5, 6, 7, 8].

1.2. Вплив бойових дій на стан водних ресурсів.

Ведення бойових дій на значній території України спричинило серйозне пошкодження водних ресурсів, особливо в південних регіонах з низьким природним водозабезпеченням та у східних, де вже відбувалось значне промислове навантаження на водні ресурси. Руйнування очисних споруд, дамб та порушення в роботі служб постачання й очищення водопровідних вод завдають найбільшої шкоди. Внаслідок цього неочищені стоки тепер надходять у водойми, зокрема в зонах інтенсивних бойових дій.

Небезпека довготривалого характеру виникає через порушення артезіанських вод, які раніше були законсервовані. Доступ до них мали

приватні власники та промислові підприємства, але через руйнування ці водоносні горизонти тепер піддаються забрудненню. Одного джерела забруднення достатньо, щоб небезпечні речовини поширилися по всьому горизонту.

У наші річки й озера влучають ракети, а також води забруднені нафтопродуктами та іншими небезпечними відходами. У води прифронтової зони потрапляють тіла. Ці умови створюють складні комбінації небезпечних мікроорганізмів та забруднюючих речовин.



Рис.3. Бронетехніка-амфібія затонула в Харківській області під час перетину водного шляху.[9]

Мастильні матеріали й паливо з пошкодженої військової техніки порушують хімічний баланс води. Потрапляння техніки у воду небезпечно, адже окислення металу забруднює воду, а залишки пального розносяться течією, створюючи додаткові екологічні ризики.

Війна чинить негативний вплив на гідросферу України, спричиняючи забруднення водних ресурсів, втрату водно-болотних угідь та зменшення запасів води. Ці фактори можуть мати тривалі екологічні наслідки та

потребувати значних зусиль для відновлення гідрологічного балансу в країні [10, 11, 12, 13].

1.3. Вплив бойових дій на біорізноманіття та природо-заповідний фонд України.

Географічне розташування та кліматичні особливості України забезпечили її багатство ландшафтів, рослинного та тваринного світу. На території України зосереджено 35% біорізноманіття Європи.

Постійні обстріли, пожежі, хімічне, фізичне та мінеральне забруднення середовищ проживання призвели до масової загибелі диких і домашніх тварин. Більше 80 видів перебувають на межі зникнення, і, на жаль, через обмежені можливості в умовах війни відсутня можливість врятувати їх усіх.



Рис.4. Лісові пожежі на Кінбурнській косі.[14]

Забруднені землі, вигорілі ліси та уражені бойовими діями екосистеми залишаються сприятливим середовищем для інвазійних видів, які швидко заселяють цю територію, витісняючи рідкісних і зникаючих представників флори та фауни що втрачають сприятливі умови для виживання. Збільшення кількості інвазійних видів загрожує подальшою внутрішньою

біорізноманітністю, адже вони не тільки конкурують з місцевими видами за ресурси, а й змінюють структуру та функціонування екосистем.

Для рідкісних видів, які знають прямого або опосередкованого впливу військових дій, виникає додаткова небезпека через знищення їхніх природних середовищ існування та міграційних шляхів, що руйнує усталені екологічні зв'язки. Так зникнення одних видів позбавляє місцеву фауну кормової бази, прихистку та важливих міграційних коридорів, якими користуються види під час сезонних переселень.

Водночас рослинний покрив зазначає значні втрати через пересування військової техніки, обстріли та вибухи, що призводить до масової загибелі рослин, серед яких багато рідкісних і зникаючих видів. Втрата цінних видів рослин, зокрема тих, які знаходяться під загрозою зникнення, веде до деградації цілих екосистем, знижуючи стабільність і родючість ґрунту, обмежуючи природне відновлення лісів та інших природних територій.

Додатково з'являється ризик виникнення пожежі. У сухих умовах вогонь поширюється швидко, завдаючи шкоди біорізноманіттю. На тимчасово окупованих територіях ДСНС не може оперативно діяти та гасити пожежі.

Одним із наслідків війни є руйнування природних заповідних територій. Через бойові дії під загрозою знищення опинилися близько 900 об'єктів природно-заповідного фонду, що охоплюють 1,2 мільйона гектарів, або 27% у всій площі заповідників України. Втрата ще однієї заповідної ділянки є трагедією, оскільки зникають унікальні види рослин і тварин, які знаходилися під охороною, а також руйнуються унікальні екосистеми, відновлення яких майже неможливе.

В окупації перебувають 10 національних природних парків та 8 природних заповідників, серед яких: парк "Джарилгацький", біосферний заповідник "Асканія-Нова", Азово-Сиваський національний природний парк, Чорноморський біосферний заповідник (розташований у Херсонській і частково Миколаївській областях), парк "Олешківські піски".

Під загрозою опинилися 2,9 мільйона гектарів території Смарагдової мережі, які потребують захисту на європейському рівні адже ці території відіграють ключову роль у збереженні біорізноманіття та стабілізації клімату.

Отже, військові дії спричиняють ланцюгову реакцію негативних наслідків для екологічного балансу, що впливає на окремі види, так і на екосистеми загалом. Відновлення природного середовища після військових дій потребує комплексного підходу, щоб забезпечити біорізноманітність та збереження стійкості екосистем [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24].

1.4. Вплив бойових дій на земельні ресурси.

Україна є великою аграрною країною, а виробництво та експорт сільськогосподарської продукції займає значну частину її економіки. Тисячі снарядів, підірвана та залишена в полях військова техніка створюють джерело забруднення ґрунтів та ґрунтових вод важкими металами (залізом, алюмінієм, міддю, свинцем та їх сполуками).

Якщо роками орні землі пошкоджувались від нераціонального сільського господарства, то військові дії можуть зробити їх абсолютно непридатними для сільськогосподарського використання.

Прямий вплив бойових дій на ландшафти та ґрунти проявляється у зміні поверхні території, фізичному (уламки, осколки, нагрівання у результаті пожеж) та хімічному забрудненні, зміні фізико-хімічних властивостей та руйнуванні біологічного компонента ґрунтів. У місцях вибухів і бойових дій з'являються воронки, які руйнують структуру ґрунту, знижують його стабільність і змінюють властивості, що спричиняють подальшу деградацію. Це локальне ущільнення та ризик ерозії верхнього шару ґрунту під впливом вітру чи води.

Внаслідок військових конфліктів у зонах інтенсивних бойових дій часто відбувається поховання великої кількості тіл, які загинули внаслідок бойових дій, або ж тіла, які не були ідентифіковані. Це призводить до перетворення таких територій на значні місця захоронення. В результаті цього процесу, ці райони стають не лише свідками трагедій, але й наражаються на серйозні

екологічні та соціальні наслідки. По-перше, території, де були поховані тіла, можуть стати джерелом небезпечних патогенів та забруднюючих речовин, оскільки процеси розкладання можуть призводити до вивільнення небезпечних речовин у ґрунт і підземні води. Це може мати негативний вплив на здоров'я людей, які проживають неподалік, а також на екосистему в цілому. У результаті, такі території стають небезпечними для використання, зокрема для сільськогосподарського виробництва. По-друге, наявність місць масових поховань також ускладнює відновлення цих земель. Використання таких земель для вирощування сільськогосподарських культур у найближчій перспективі може бути категорично заборонене через необхідність збереження безпеки та здоров'я населення. Це рішення є важливим не лише з екологічної, але й з етичної точки зору, оскільки земля, що стала останнім прихистком для багатьох, має бути збережена з повагою до пам'яті загиблих. Таким чином, території, де відбувалися бойові дії та де поховані жертви, вимагають особливого підходу до управління, а також розробки стратегій для їх подальшого відновлення. Це включає в себе комплексний екологічний моніторинг, оцінку ризиків для здоров'я та довкілля, а також відповідні законодавчі заходи, що забороняють використання таких земель для сільськогосподарських цілей, поки не буде забезпечено їх безпечне очищення та відновлення.

Особливістю позиційних військових дій є риття окопів та створення інших оборонних споруд, що призводить до порушення ландшафту та руйнування верхнього шару ґрунту, а також рух важкої техніки, яка пошкоджує структуру ґрунту та залишає забруднення паливними і мастильними речовинами.

Механічний вплив деформує ґрунтовий покрив, що призводить до порушення структури ґрунтів під час пересування військової техніки, маневрів військ, будівництва оборонних споруд, а також під час бомбардувань і розмінування території. Внаслідок цього спостерігаються ущільнення, заболочування та засмічення території територій бойової діяльності.

Об'єм вивернутого ґрунту від розривів снарядів *

| Калібр снаряду | Маса вибухової речовини всіх використаних снарядів даного калібру, кг | Об'єм вивернутого ґрунту, м ³ |
|----------------|---|--|
| 82 | 1736,8 | від 2084,16 до 2605,2 |
| 120 | 13875 | від 16650 до 20812,5 |
| 152 | 58429 | від 70114,8 до 87643,5 |
| 220 | 2132 | від 2558,4 до 3298 |
| Всього: | 76172,8 | від 91407,36 до 114259,2 |

*Джерело [25]

Основним механічним впливом на ґрунт є ущільнення, яке призводить до пошкодження гумусового шару. Це має деякі негативні наслідки, такі як порушення водного балансу ґрунту та сприяння розвитку вітрової і водної ерозії. Руйнування структури ґрунту здійснюється через зсув частинок одного шару окремо під впливом військово-техногенного навантаження.



Рис. 5 Механізм впливу вибухів боєприпасів на довкілля [26]

Рівень шкідливого впливу вибухів і воронки та швидкість їх природного відновлення залежать від типу ґрунту, типу боєприпасів та складу вибухової речовини. Сухі, піщані і пухкі ґрунти, які мають слабкий рослинний покрив та розташовані в посушливих регіонах, зазнають більше руйнівних наслідків.

Прикладом швидкої деградації ландшафтів і ґрунтів у посушливих зонах є Олешківські піски, де вплив призвів до значних екологічних змін.

Вибухи та детонаційні боєприпаси вивільняють небезпечні хімічні речовини, як тротил чи гексоген, що забруднюють навколишнє середовище. Разом із залишками вибухових матеріалів у докільля потрапляють і інші токсичні продукти розпаду та компоненти боєприпасів, зокрема важкі метали. З часом боєприпаси руйнуються, гільзи піддаються корозії, а небезпечні речовини можуть просочуватися в ґрунти і підземні води, створюючи загрозу для здоров'я людей, тварин і рослин. [27, 28, 29].

Таблиця 2

Кількість хімічних елементів, що потрапляють в ґрунт від снарядів

| Калібр снаряду, мм | Кількість воронок даного калібру | Маса заліза, т | Маса вуглецю, т | Маса сірки, т | Маса міді, т |
|--------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|
| 82 | 4342 | 12,50 | 0,20 | 0,23 | 0,09 |
| 120 | 2775 | 47,95 | 0,75 | 0,90 | 0,35 |
| 152 | 8347 | 312,51 | 4,88 | 5,86 | 2,28 |
| 220 | 41 | 3,90 | 0,06 | 0,07 | 0,03 |

**Джерело [25]*

Масове мінування території є також однією з найбільш серйозних проблем, що виникають унаслідок військових конфліктів. За офіційними даними, площа, що підлягає мінуванню, може досягати до 15% території України. Ця проблема має численні негативні наслідки, які впливають не лише на безпеку людей, але й на довкілля та економіку країни. По-перше, масове мінування створює постійні загрози для життя і здоров'я місцевого населення. Міни та вибухонебезпечні залишки боєприпасів (ВЗБ) можуть залишатися активними впродовж десятиліть, навіть після закінчення бойових дій. Це призводить до численних випадків травмування та загибелі мирних жителів. В Україні вже зафіксовано багато трагічних інцидентів, пов'язаних із детонацією мін.

По-друге, мінування територій обмежує доступ до землі, що ускладнює сільськогосподарське виробництво та використання природних ресурсів. Великі площі земель залишаються неприступними для ведення сільського господарства, що негативно впливає на продовольчу безпеку країни. Додатково, це ускладнює відновлення інфраструктури, оскільки будівельні роботи не можуть бути проведені без попередньої розмінування території.

Мінування також має серйозний екологічний вплив. Вибухи можуть призводити до руйнування природних середовищ існування, спричиняти ерозію ґрунтів та забруднювати водні ресурси. Вибухонебезпечні залишки можуть містити токсичні речовини, які потрапляють у довкілля, негативно впливаючи на екосистеми та здоров'я людей, що мешкають поблизу.

Вирішення проблеми масового мінування потребує системного підходу, включаючи ефективні стратегії розмінування. Це передбачає не лише технічні заходи, спрямовані на очищення територій від вибухонебезпечних предметів, але й забезпечення належної інформаційної підтримки для населення, щоб люди могли безпечно пересуватися територією. Також важливим є залучення міжнародних організацій, які можуть надати технічну та фінансову допомогу у розмінуванні, а також проведенні навчань та інформаційних кампаній для підвищення обізнаності населення про небезпеку мін [30, 31, 32, 33, 34, 35].

Висновки до розділу

На жаль, військова агресія принесла нові виклики як для населення, так і для природних ресурсів України. Окрім руйнувань міст та численних людських жертв, постійні обстріли завдають серйозної шкоди довкіллю: вибухи, пожежі, бомбардування, знищення промислових об'єктів та інфраструктури призводять до забруднення повітря і води, втрати рослинного покриву та унікальних екосистем. Через воєнну агресію в природне середовище потрапили шкідливі й небезпечні речовини, втрачено родючі землі, значно змінено ландшафти, знищено рослинний і тваринний світ, виключно з видами, занесеними до Червоної книги України.

Аналіз літературних джерел свідчить, що екологічні наслідки військових дій можуть бути згруповані за категоріями: забруднення ґрунтів і водних ресурсів, порушення біогеохімічного балансу територій, руйнування об'єктів водопостачання, енергетики та газового господарства, знищення лісових і сільськогосподарських угідь, втрати природних та заповідних зон, а також загроза здоров'ю людей. До того ж викиди в атмосферу від вибухів і вогневих дій спричиняють забруднення повітря токсичними речовинами.

Важливо також зазначити, що зміни кліматичних умов є наслідком вирубки лісів та зниження рослинного покриву, що призводить до деградації ґрунтів і зниження їх родючості. Втрата лісів не лише зменшує природні площі, які здатні поглинати вуглекислий газ, але й сприяє збільшенню ерозії, що негативно впливає на структуру ґрунтів. Внаслідок цього родючість ґрунтів знижується, що у свою чергу впливає на сільськогосподарське виробництво та забезпечення продовольчої безпеки.

Крім того, військові дії завдають серйозної шкоди біорізноманіттю. Руйнування природних оселищ, викликане бойовими діями, веде до зниження чисельності і різноманіття видів тварин і рослин. Це не лише зменшує екосистемні послуги, які ці види надають, але й загрожує стійкості екосистем у довгостроковій перспективі.

Також слід зазначити проблему накопичення відходів і забруднювачів на територіях, де розташовані війська. Військові бази, склади та інші об'єкти часто не обладнані належними системами для утилізації відходів, що призводить до їх скупчення. Цей фактор може викликати тривалі екологічні проблеми, а також негативно впливати на здоров'я місцевих жителів, оскільки небезпечні речовини можуть потрапляти в ґрунт і водні ресурси. Таким чином, сукупність цих факторів свідчить про серйозну екологічну загрозу, що виникає внаслідок військових дій, яка вимагає термінового вирішення та реалізації заходів для відновлення екосистем і збереження природних ресурсів.

Бойові дії здатні мати непередбачувані та тривалі наслідки для навколишнього середовища, які можуть відчуватися десятиліттями навіть після завершення конфлікту. Війна завдає непоправної шкоди не лише людському населенню, а й природним екосистемам, створюючи екстремальні умови, що ведуть до численних екологічних катастроф.

Забруднення створюють серйозні загрози для здоров'я людей і місцевих екосистем, оскільки токсичні речовини можуть тривалий час залишатися в природі, впливаючи на флору і фауну, а також на якість води, яку споживають громади. Відновлення природного середовища після таких екологічних катастроф є складним і довготривалим процесом, що потребує значних зусиль і ресурсів. Тому необхідно вже на етапі проведення військових дій враховувати їх екологічні наслідки та впроваджувати заходи для мінімізації шкоди.

Таким чином, усвідомлення серйозності екологічних наслідків військових дій є критично важливим для забезпечення стійкого розвитку і збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь. Важливо, щоб на міжнародному рівні були розроблені чіткі механізми контролю та регулювання, які б дозволяли зменшувати екологічні ризики в зонах конфліктів і сприяли б відновленню екосистем після завершення бойових дій.

РОЗДІЛ II

ВІДНОВЛЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ

2.1. Оцінка негативного впливу воєнних дій на земельні ресурси

За оцінками Української природоохоронної групи, приблизно третина території України з моменту повномасштабного вторгнення Росії потрапила в зону активних бойових дій, що спричинило або підвищило ризик системного руйнування поверхневого шару ґрунтів та забруднення. Це масштабна екологічна катастрофа, яка почалася задовго до 24 лютого. Ще до повномасштабної війни Україна мала значні площі земель, що деградували через інтенсивне сільськогосподарське використання, внаслідок якого землі виснажувалися без належного збереження. Воєнні дії лише поглиблюють цю проблему, пришвидшуючи процеси деградації ґрунтів. За даними Державної екологічної інспекції, лише за перші чотири місяці російської агресії шкода, завдана землі та ґрунтам, склала 80,5 млрд грн. Насамперед у післявоєнний період необхідно провести оцінку стану ґрунтів. Для цього в Україні можуть бути використані різноманітні методи та підходи. Проби ґрунту для досліджень відбираються з різних зон, що отримали вплив військових дій, на різних глибинах і в різних точках постраждалих територій. Для забезпечення точності й надійності аналізу необхідно виділити забір зразків за належними протоколами та методиками. Рекомендовано провести процес забору під керівництвом фахівців у галузі ґрунтознавства або екології.

2.1.1. Хімічний аналіз ґрунту

Даний метод дозволяє визначити рівень забруднення ґрунтів шкідливими речовинами, зокрема важкими металами та токсичними хімічними сполуками. Етапи хімічного аналізу включають:

- Визначення рН ґрунту: Оцінка кислотності або лужності, що впливає на доступність поживних речовин для рослин і активність мікроорганізмів.

- Перевірка на вміст важких металів: Виявлення важких металів (свинець, кадмій, мідь, цинк та ін.), які можуть накопичуватися через військові дії. Це важливо для оцінки наявних загроз здоров'ю людей та рослинного покриву.
- Аналіз вмісту органічних речовин: Визначення вмісту органічних компонентів, таких як гумус та продукти розкладання, які впливають на структуру ґрунту, утримання вологи й доступність поживних елементів.
- Визначення рівня забруднення токсичними речовинами: Оцінка наявності хімічних сполук, таких як пестициди, гербіциди, паливо, масла та інші речовини, що можуть потрапити в ґрунт у результаті військових дій. Це дозволяє визначити рівень забруднення та потенційні ризики для довкілля й здоров'я.
- Аналіз кількості поживних речовин: Вимірювання основних макро- та мікроелементів, таких як азот, фосфор, калій, кальцій, магній тощо, для оцінки родючості ґрунту та його здатності підтримувати рослинність.

2.1.2. Геологічні та геохімічні дослідження

Ці дослідження мають на меті визначити склад і властивості горизонтів, геологічну структуру та можливість гідрогеологічних проблем. Основні аспекти геологічних та геохімічних досліджень:

- Геохімічний склад ґрунту: Геохімічні дослідження визначають хімічний склад ґрунтів, включаючи вміст і співвідношення кількості важких металів, органічних і неорганічних речовин. Це дозволяє оцінити рівень забруднення та деякі ризики для екосистеми і здоров'я людей.
- Геохімічний аналіз води: Водні ресурси піддаються впливу війни, що з часом, може негативно позначитися на якості ґрунтів. Геохімічний аналіз визначає взаємодію на рівні забруднення, вміст хімічних речовин і наявні небезпеки для ґрунтів і екосистем від забруднених поверхневих та підземних вод.
- Геологічний склад ґрунту: Геологічні дослідження сприяють встановленню складу та властивостей різних геологічних утворень, на яких

розташовані ґрунти. Це охоплює вивчення складу геологічних структур і розподілу ґрунтових горизонтів.

- Виявлення пошкоджень та зсувів: Геологічні дослідження завданої шкоди ґрунтам, зсуви та інших геологічних змін внаслідок військових дій. Цей напрямок вивчає розвиток пошкоджень і ризику для подальшого відновлення. Геологічні та геохімічні дослідження проводяться з використанням різних методів, включаючи буріння, збір проб ґрунту та води, а також лабораторний аналіз хімічного складу та інші методи. Зібрані дані допомагають оцінити стан ґрунтів, визначити рівень забруднення та розробити ефективні заходи відновлення.

2.1.3. Фізичні дослідження ґрунту

Цей аналіз дає змогу оцінити фізичні характеристики ґрунту (текстура, структура, щільність, вміст вологи). Це допомагає визначити ступінь ущільнення ґрунту, а також вплив рослинних насаджень і будівництва на його фізичні властивості. Основні аспекти фізичного аналізу ґрунту включають:

- Текстура: Визначення складу різних фракцій основи (пісок, глина, супісок). Це має велике значення для оцінки здатності ґрунту утримувати вологу та розподіляти поживні речовини.
- Структура: Аналіз частинок ґрунту та встановлення структурних одиниць (гранули, агрегати). Вимірювання структурної стійкості ґрунту що дозволяє оцінити його стабільність і рівень пошкоджень.
- Густина: Вимірювання маси ґрунту на одиницю об'єму. Це дає можливість оцінити ступінь ущільнення та пористість ґрунту, які впливають на утримування вологи і повітропроникність.
- М'якість ґрунту: Визначення здатності ґрунту збереження своєї форми після стиснення. М'якість є показником структурної стійкості та дренажу ґрунту.
- Водопроникність та утримання вологи ґрунтом: Вимірювання швидкості, з якою вода проникає через ґрунт, а також визначення його

здатності утримувати вологу. Це важливо для оцінки фільтрації води та планування зрошувальних систем і заходів з водокористування.

- **Повітропроникність:** Вимірювання здатності ґрунту пропускати повітря. Це впливає на доступність кисню для кореневої системи рослин та дихання мікроорганізмів.

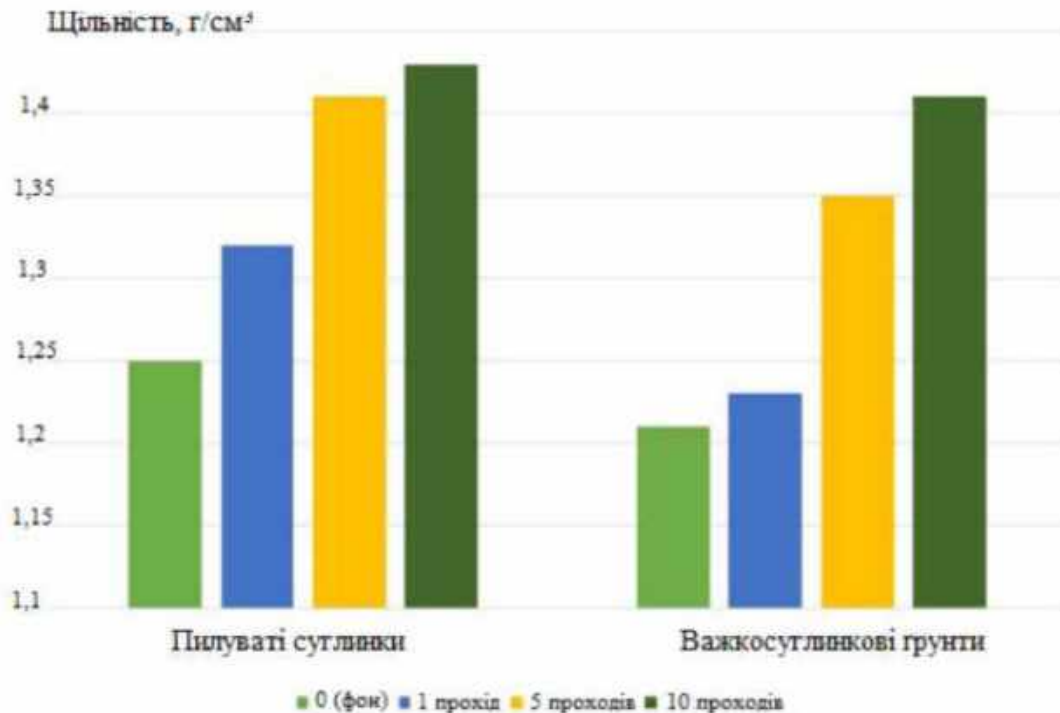


Рис. 6. Ущільнення різних типів ґрунтів від проходження танку M1A1 [36]

Усі перераховані параметри фізичного аналізу сприяють розумінню структури, властивостей та виявлення проблем ґрунтів, які можуть виникнути через військові дії. Це дозволяє розробити відповідні стратегії для відновлення та рекультиваци ґрунту.

2.1.4. Біологічний аналіз ґрунту

Біологічний аналіз оцінює наявність та різноманіття мікроорганізмів (бактерій, грибів, флори і фауни) в ґрунті, що свідчить про його біологічну активність та потенціал відновлення. Основні аспекти біологічного аналізу включають:

- **Мікробіологічний аналіз:** Визначення кількості та різноманітності мікроорганізмів (бактерії, гриби та віруси). Це дозволяє оцінити біологічну активність ґрунту та його здатність до розкладу органічних речовин.

- Фізіологічний аналіз рослин: Оцінка стану та здоров'я рослин, їх росту, розвитку та врожайності. Це дозволяє визначити токсичні ефекти впливу на рослини та оцінити придатність ґрунту для сільськогосподарського виробництва.
- Фітопатологічний аналіз: Виявлення хвороботворних мікроорганізмів і шкідників рослин у ґрунті. Це важливо для оцінки впливу на рослинний покрив і виявлення загроз для сільськогосподарських культур.
- Екологічний аналіз: Дослідження розподілу та різноманітності живих організмів у ґрунті, зокрема тварин, мікроорганізмів та рослин. Це свідчить про екологічну стійкість ґрунту та його здатність підтримувати біологічне різноманіття.

Біологічний аналіз ґрунту за допомогою різних методів, таких як збір проб ґрунту, лабораторні дослідження, молекулярні методи аналізу та моніторингу в природних умовах. Отримані дані допоможуть визначити вплив військових дій на ґрунт і розробити стратегії для його відновлення біорізноманіття та рекультивациі.

2.1.5. Картографування та ГІС-аналіз

Використання географічних інформаційних систем (ГІС) і картографування дозволяє створити детальну карту пошкоджених ґрунтів, а також візуалізувати дані для подальшого аналізу та ухвалення рішень щодо відновлення. Існує кілька способів застосування ГІС для аналізу ґрунтів:

- Аналіз забруднення: ГІС може інтегрувати дані про забруднення ґрунтів, включаючи результати хімічного аналізу, для створення карт забруднення. Це дозволяє оцінити масштаби забруднення та визначити основні джерела забруднення.
- Створення цифрових карт: ГІС-системи дозволяють створювати цифрові карти, які ілюструють розподіл різних типів ґрунтів, їх властивості та негативний вплив. Це остаточно дозволяє визначити простір поширення забруднення ґрунтів та виявити окремі вразливі зони.

- Моніторинг змін : ГІС фіксує проведення повторних аналізів та порівняння даних, що сприяє відстеженню змін у стані ґрунтів протягом тривалого часу. Це дозволяє оцінити ефективність проведених рекультиваційних заходів і виявити тенденції змін.
- Моделювання розповсюдження забруднення : ГІС можуть використовуватися для моделювання поширення забруднення ґрунтів на основі географічних та екологічних факторів. Це дозволяє прогнозувати, як забруднення може розповсюджуватися, а також ідентифікувати потенційно постраждалі території.
- Планування та ухвалення рішень : ГІС пропонує інструменти для аналізу різних сценаріїв і ухвалення рішень рекультивації ґрунтів після військових дій. Вони можуть оцінювати ефективність різних стратегій і визначати найбільш оптимальні варіанти.

ГІС-аналіз є комплексним методом оцінки стану ґрунтів після бойових дій, поєднуючи географічні, хімічні, біологічні та фізичні дані. Це дозволяє остаточно зрозуміти масштаб пошкодження, оцінити його вплив і розробити ефективні стратегії для рекультивації та відновлення ґрунтів.

2.2. Розробка способів відновлення ґрунтів

Відновлення ґрунтів в Україні після війни є ключовим завданням для відновлення природного середовища та забезпечення сталого розвитку країни. У зв'язку з ризиком посилення ерозії ґрунтів, що може виникнути після військових дій, важливо вжити заходів для її запобігання та контролю. Це може включати встановлення антиерозійних споруд, таких як тераси, системи утримання води та висаджування дерев і рослинності на схилах, що сприяє стабілізації ґрунтів і запобігає змиванню родючого шару.

Терасування - це використання терас або штучних платформ на схилах, яке дозволяє зменшити крутість схилів і контролювати водний потік, що сприяє зниженню темпів водної ерозії ґрунтів.

Недостатній дренаж може призвести до ущільнення та деградації. Встановлення дренажних систем допоможе усунути надлишок вологи та

покращити структуру ґрунту. Ці відновлювальні методики покращують структуру ґрунту і прискорюють відновлення його родючості. Проте важливо визначити особливі умови та тип ґрунтів в кожній конкретній місцевості, після чого можуть знадобитися індивідуальні підходи та корекції в методах відновлення.

Висаджуючи дерева, кущі, трав'янистість рослин та іншу рослинність на схилах, можна зменшити ризик ерозії. Коренева система рослин укріплює ґрунт, знижує швидкість стікання води та стабілізує схили. Будівництво гребель, канав, розвідних каналів та інших гідротехнічних споруд також дозволяє контролювати рух води та запобігати її негативному впливу на ґрунти. Ці структури сприяють утриманню води, регулюють водний потік та зменшують ерозію [37].

Накладання шару мульчі на поверхню ґрунтів зменшує прямий вплив дощу на ґрунт і знижує ризик ерозії. Мульча може бути виготовлена з соломи, листя або інших органічних матеріалів.

Розробка контурних ліній на схилах сприяє рівномірному розподілу води та запобігає утворенню прямих потоків, які можуть викликати ерозію. Використання агрономічних технік, орієнтованих на захист ґрунту, таких як мінімальна обробка, стрічковий обробіток і сівозміна забезпечать збереження структури та родючості ґрунту.

Ці методи захисту від ерозії можуть використовуватися як окремо, так і в комбінації, незалежно від місцевих умов і характеру ураження. Важливо виконати наукові рекомендації індивідуально для кожної постраждалої від бойових дій території для досягнення ефективного відновлення ґрунтів.

Покращення структури є критичним аспектом відновлення ґрунтового покриву після війни. Хороша структура забезпечує дренаж, водо- та повітропроникності, а також родючість. Додавання компосту, перегною або інших органічних матеріалів покращує структуру ґрунту, оскільки ці матеріали містять корисні мікроорганізми, які сприяють формуванню гранул і покращують загальні властивості ґрунтів.

Висівання рослин, таких як конюшина, люпин або люцерна, також покращує відновлення структури ґрунту. Рослини мають глибокі корені, які проникають у ґрунт і допомагають покращити його структуру.

Ущільнення ґрунтів може статися через рух важкої техніки. Щоб запобігти цьому, важливо обмежити проїзд техніки.

Надмірна обробка ґрунтів є серйозною проблемою, яка може призвести до їх значного пошкодження та деградації. Часте перекопування, обробка важкою технікою та агресивні методи обробки можуть призвести до ущільнення ґрунтів, що заважає нормальному розвитку кореневої системи рослин, знижує водо- та повітропроникність і відповідно - родючість.

Ущільнення ґрунтів має основним негативним наслідком зменшення обсягу пор, що заважає проходженню повітря та води, важливих для росту рослин. Це може призвести до погіршення умов життєдіяльності для мікроорганізмів важливих для підтримання здоров'я рослин. Як результат, рослини стають більш вразливими до стресу, знижує їх урожайність, а також стійкість до хвороб і шкідників.

Тому важливо використовувати методи відновлення, які зменшують ризик ущільнення ґрунтів. Серед таких методів варто визначити мінімальну обробку, яка зменшує глибину перекопування та частоти обробітку. Використання спеціального знаряддя, що не ущільнює ґрунти, а обробка за допомогою безвідвальних систем може також допомогти зберегти природну структуру.

Крім того, важливо дотримуватися сівозміни та використання покривних культур, які можуть покращити структуру ґрунту та зменшити його ерозію. Важливим аспектом є також навчання фермерів стійким методам обробки, які можуть допомогти у відновленні та підтримці родючості. Такі підходи не лише захищають ґрунт від пошкоджень, але й сприяють довгостроковій продуктивності агроєкосистеми.

Забезпечення освіти та навчання фермерів, сільських громад і вищої громадськості щодо методів відновлення ґрунтів та сталого землекористування є критичною кількістю для успіху відновлення після війни.

Підтримка органічного сільського господарства та використання стійких агротехнологій, які зменшують споживання хімічних добрив та пестицидів, також сприяють відновленню ґрунтів і збереженню їх родючості.

Моніторинг та контроль рівня забруднення дозволить запобігати подальшому пошкодженню токсичними речовинами. Розробка та впровадження стратегій, що забезпечують якість ґрунтів, включаючи безпечну утилізацію військової техніки та матеріалів, є кроком у процесі відновлення ґрунтів.

2.3. Напрями відновлення родючості ґрунтів.

Згідно з Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства від 26 квітня 2013 року № 283 «Про затвердження Порядку консервації земель» та статтями 171–172 Земельного кодексу України, визначено організаційні основи збереження деградованих та малопродуктивних земель, господарське використання яких є екологічно небезпечним і економічно неефективним. Це стосується також техногенно забруднених ділянок, де неможливо отримати екологічно чисту продукцію, а перебування людей може стати загрозою для їхнього здоров'я. Забруднюючі речовини, що спричинили забруднення таких ділянок, класифіковані за 4 групами небезпеки, базуючись на гранично допустимих (ГДК) та орієнтовно допустимих концентраціях (ОДК) хімічних речовин у підставі. [38, 39, 40, 41].

Консервація земель проводиться на еродованих, перезволожених землях із підвищеною кислотністю чи засоленістю, а також на забруднених хімічними речовинами та іншими шкідливими елементами, які становлять загрозу для здоров'я людей; землях із радіаційною небезпекою, радіоактивним забрудненням, а також уражених важкими металами та іншими хімічними елементами. Під час консервації земель заборонено змінювати цільове призначення ділянки та проводити будь-які роботи, окрім тих, що передбачені проектами консервації. Зазвичай рекультивация земель, пошкоджених вибухами, проводиться для повернення їх у сільське господарство після обстеження та розмінування, за допомогою механічного загортання скребками

бульдозерів та грейдерів. Такий метод не враховує внутрішню структуру ґрунту, що призводить до грубої рекультивації. Відновлення природної родючості після такого втручання може зайняти десятки років, залежно від обсягу руйнувань, та потребуватиме значних фінансових вкладень, без яких буде складно вирощувати стійкі, якісні та безпечні для споживачів сільськогосподарські культури.

Згідно із вже наведеною інформацією пропонується певний порядок дій для відновлення родючості ґрунтів:

- 1) Розмінування території;
- 2) Оцифрування всіх пошкоджених ділянок за допомогою супутникового/БПЛА/наземного моніторингу;
- 3) Відбір зразків у зоні враження та ділянки навколо;
- 4) Аналіз на вміст забруднюючих речовин;
- 5) Прийняття рішення щодо можливості подальшого цільового використання;
- 6) Очищення ділянок від джерел забруднення;
- 7) Відновлення ділянок, пошкоджених вибухами [42].

Відновлення ділянок, пошкоджених вибухами та з наявністю глибоких вирв, може відбуватися наступними методами:

- Засипка ґрунтовою масою з дотриманням природного складу шарів, де верхній шар (20–30 см) повинен бути найбільш родючим. Хаотичне засипання призведе до низької продуктивності ділянок для сільського господарства та споживатиме додаткові заходи.
- Залишення для природного відновлення. Відсутність рослинного покриву може спричинити прискорення ерозії, проте з часом рослинний покрив і родючість ґрунтів відновлюється природним шляхом.

При використанні ділянки під пасовиська рекомендовано такі кроки:

- 1) Провести розмінування території.
- 2) Виконати оцифрування уражених ділянок за допомогою супутникового або BPLA-моніторингу зі зв'язкою з системою координат.

- 3) Відібрати зразки ґрунтів в зоні уражень окремо від навколишніх ділянок.
- 4) Провести аналіз зразків на вміст забруднюючих речовин.
- 5) Прийняття рішення щодо можливості подальшого використання території.
- 6) Очистити ділянки від джерела забруднення.
- 7) Відновлення ґрунтів після вибухів включає:
 - Для неглибоких вирв (до 0,5 м): засипка залишками ґрунту на місці вибуху та вирівнювання поверхні.
 - Для глибоких вирв (понад 0,5 м : засипка з наступним висіванням суміші бобово-злакових трав на кілька років поспіль. У перший рік землю варто переорати й засіяти, а в наступні роки підсівати без оранки.

Доцільно удобрювати ґрунти органічними добривами (тваринницькі відходи, перегній, мінеральні добрива) та вносити біопрепарати на основі мікроорганізмів перед першим посівом. Це сприяє відновленню корисної мікрофлори, зміцненню кореневої системи рослин та покращенню структури ґрунтів.

Якщо планується використання території під посіви сільськогосподарських культур, потрібно зарівняти вирви та переорати ґрунт. Бажано провести простий пошаровий аналіз ґрунтів на глибині до одного метра з інтервалом у 20 сантиметрів, щоб забезпечити ґрунт рухомими формами азоту, фосфору, калію, а також реакцію середовища (рН).

При підвищеній кислотності необхідно провести вапнування, а при лужності – гіпсування, що запобігає проникненню важких металів через кореневу систему в рослини і плодах. За результатами аналізу доцільно внести мінеральні та органічні добрива. Важливо також збагатити ґрунт мікробіотою через щорічне внесення біопрепаратів. У перші 1–3 роки можна висівати суміш ячменю та еспарцету як культурний вирівнювальний посів. Також можливе вирощування культур, стійких до накопичення важких металів, таких як технічні культури (бавовна, льон). При виявленні ознак хвороби на рослинах варто звернутись до біологів для консультацій.

Якщо територія додатково забруднена залишками нафтопродуктів, шлаків тощо, після вирівнювання необхідно відібрати проби ґрунту для визначення вмісту токсичних сполук у верхньому шарі та оцінки придатності цієї ділянки для вирощування культур. Паралельно, щоб не втрачати час, можна під оранку внести біопрепарат та висіяти суміш бобово-злакових трав. Подальші рішення щодо відновлення родючості та використання земельних ділянок залежать від результатів аналізу.

Важливим чинником агроєкосистем, що впливає на родючість ґрунту і розвиток рослин, є мікробіота. Мікроорганізми — найбільш чисельний та різноманітний компонент. Ґрунтові мікроорганізми забезпечують безліч екологічних функцій, основні з яких полягають у забезпеченні певних етапів кругообігу біогенних елементів і підтримці гомеостазу біогеоценозу. Вони також знають негативний вплив під час військових дій, наприклад, внаслідок вибухів, які викликають теплову та вогневу дію, або через пожежі на полях. Крім того, залишки сірчаного порошку, що виділяються внаслідок стрільби або вибухів, у контакті з опадами можуть перетворюватися на сірчану кислоту, що знищує мільйон організмів, які створюють покривний шар ґрунту [43, 44, 45].

Перспективним добривом для відновлення родючості ґрунтів, пошкоджених військовими діями, є біовугілля, спеціально підготовлене деревне вугілля. Його внесення покращує фізико-хімічні властивості ґрунту, підвищує рН з 3,9 до 5,1 і посилює адсорбційні властивості, що сприяє видаленню надлишкових речовин, які уповільнюють розвиток кореневої системи рослин. Біочар сприяє підвищенню врожайності, збільшенню мікробної біомаси, покращенню бульбоутворення в рослин, а також збагаченню ґрунту фосфором, калієм, азотом та вуглецем порівняно з контролем.

Додавання кремнієвмісних сумішей спочатку викликає певний "дисбаланс" у мікробному ценозі, проте згодом стабілізує і активізує діяльність мікроорганізмів. Перебудова функціональної структури мікробного

ценозу ґрунту зумовлена наявністю кремнієвмісних компонентів, що підтверджується не лише зміною чисельності окремих груп ґрунтових мікроорганізмів, але й напрямком розвитку мікробіологічних процесів у ґрунті.

Додавання кремнієвмісних сумішей у ґрунт сприяє зниженню його фітотоксичності та збільшенню концентрації кальцію, що підвищує вміст цього елемента в рослинах. Інакше проявляється дія кремнієвмісних сумішей на магній: у закисленому ґрунті вміст магнію в рослинах зростає, тоді як у засоленому — знижується. Також доведено, що кремнієві сполуки сприяють надходженню до рослин калію, що покращує здатність коренів поглинати катіони мікроелементів. В умовах закислення суміші з кремнієм сприяють накопиченню цинку в рослинах, а в умовах засолення — марганцю. Виявлено також, що кремнієвмісні суміші знижують надходження важких металів до рослин.

Дослідження показали, що у разі значного забруднення пестицидами і важкими металами мікроорганізми ґрунту в перші 5 днів проявляють активізацію дихання та нітрифікаційної активності, що свідчить про адаптивну відповідь. Через місяць спостерігається зростання вмісту рухомих форм азоту, фосфору і калію, що підтверджує здатність мікробного ценозу самостійно компенсувати негативний вплив забруднень. Встановлено, що дихальна та нітрифікаційна активність ґрунту не знижується навіть при 100-кратному перевищенні природного фону свинцю та кадмію, хоча целюлозоруйнівна активність падає на 5–15%.

Для реабілітованих ґрунтів було запропоновано також використовувати комбінацію біогумусу та глауконіту у співвідношенні 50–90 % біогумусу та 10–50 % глауконіту. Це сприяє відновленню структури ґрунту та покращенню його фізико-хімічних властивостей.

Дослідження показали, що мікробіота ґрунту не здатна зв'язувати важкі метали, оскільки ці елементи є токсичними для мікроорганізмів і значно ускладнюють їхню життєдіяльність. Це означає, що мікробні колонії не

можуть безпосередньо нейтралізувати шкідливий вплив важких металів на рослини і ґрунт. У такій ситуації оптимальним підходом є зменшення потрапляння важких металів у рослини. Це дозволяє зберегти життєздатність рослин і отримати продукцію, що відповідає вимогам безпеки, встановленим діючими стандартами.

Ще один ефективний метод очищення ґрунтів від важких металів — це внесення сорбуючих матеріалів, які здатні значно покращити агрофізичні властивості ґрунтів і сприяти оздоровленню навколишнього середовища. Відомо, що природні алюмосилікати, такі як вулканічні туфи, мають іонообмінні властивості, що дозволяє їм поглинати та утримувати різні речовини, у тому числі токсичні елементи. Такі матеріали можна використовувати як сорбенти для важких металів та інших токсинів. Дослідження показують, що базальтові туфи, зокрема, є перспективними для меліорації. Вони здатні поглинати та утримувати катіони важких металів і радіонуклідів, що знижує їхню концентрацію у ґрунті і, відповідно, зменшує ризик їх потрапляння до рослин. Це сприяє поліпшенню екологічної ситуації та підвищенню безпеки агропродукції.

Базальтовий туф є унікальним природним сорбентом, який демонструє високий рівень вибіркової у поглинанні іонів та молекул різних речовин. Це дає змогу ефективно застосовувати його в очищенні ґрунтів від забруднень, оскільки він здатний виділяти й поглинати як радіоактивні ізотопи, так і важкі метали. Завдяки високій механічній і хімічній стійкості базальтовий туф зберігає свої властивості навіть після тривалого використання, що робить його довговічним та економічно вигідним рішенням. Його іонообмінна селективність до різних хімічних елементів залишається стабільною, що дозволяє туфу виконувати функцію сорбенту у широкому спектрі екологічних задач.

Дослідження підтверджують, що 1 кг базальтового туфу може адсорбувати до 100 г аміаку і 400 г різноманітних хімічних сполук, що є показником його високої сорбційної здатності. Домішки оксидів заліза,

гематиту, кальциту, слюди, кварцу, плагіоклазів і хлоритів у складі туфу значно розширюють його сорбційні властивості, а також підвищують потенціал обміну катіонами. Важливою особливістю туфу є здатність до вибіркової адсорбції радіоактивних ізотопів, таких як цезій-137 (на рівні 99,5 %) і стронцій-90 (на рівні 97 %), що робить його дуже ефективним у поглинанні і радіоактивних забруднень.

Окрім радіонуклідів, базальтовий туф також здатний поглинати важкі метали та пестициди. Це дозволяє використовувати його для покращення родючості ґрунтів, підвищення якості сільськогосподарської продукції та зниження екологічних ризиків. Завдяки здатності до поглинання токсичних елементів, туф допомагає відновити екологічний баланс і покращити стан ґрунтів у забруднених зонах.

Рекомендоване використання базальтового туфу передбачає його рівномірне розподілення на сільськогосподарських ділянках із забрудненим ґрунтом. Зазвичай застосовується фракція 0,2–0,5 мм у кількості 6–10 тонн на гектар, залежно від рівня забруднення. Після розподілення туф загортають у ґрунт на глибину 10–12 см, де він починає виконувати свою сорбційну функцію. Окрім очищення ґрунту, базальтовий туф сприяє покращенню агрофізичних характеристик, таких як вологоємність, що важливо для збереження вологи та покращення загальної структури ґрунту.

Базальтовий туф є економічно вигідним матеріалом, оскільки запаси цього мінералу у природі надзвичайно великі. Особливо перспективні його родовища у Рівненській області, де прогнозовані ресурси становлять сотні мільйонів тонн. Базальтові туфи залягають неглибоко, що дозволяє добувати їх відкритим способом, знижуючи собівартість видобутку. Наприклад, тільки в межах наявних кар'єрів на Рівненщині, при глибині розробки до 10 м, загальний обсяг базальтового туфу перевищує 20 млн тонн.

Дослідження [46, 47, 48] підтвердили ефективність внесення базальтового туфу на дерново-підзолистих ґрунтах для зниження вмісту радіонуклідів у вирощуваній продукції. Застосування цього природного

сорбенту сприяє зменшенню накопичення радіоактивних ізотопів у сільськогосподарських культурах та їх побічній продукції в понад два рази. Крім того, використання базальтового туфу позитивно впливає на фізико-хімічні властивості ґрунту, підвищуючи його пористість і здатність утримувати вологу, що важливо для забезпечення оптимальних умов росту культур. Також туф збагачує ґрунт необхідними мікроелементами, які сприяють покращенню здоров'я рослин та їх продуктивності.

Окрім цього, запатентовано фіторемедіаційний метод очищення ґрунтів від важких металів. Метод базується на здатності певних рослин (фіторемедіантів) накопичувати важкі метали, що дає змогу поступово очищати забруднені ґрунти. Процес передбачає посів злакових культур, таких як пшениця або кукурудза, на забруднених територіях. Рослини вирощуються протягом щонайменше 30 днів, після чого зелену масу скошують і утилізують, щоб видалити накопичені забрудники з ґрунту. Цей метод є особливо економічно вигідним для степових регіонів, де спостерігається нестача вологи, оскільки злакові добре адаптовані до таких умов.

Фіторемедіаційна схема очищення ґрунтів від важких металів включає такі основні етапи:

1. Оцінка рівня забруднення — визначення концентрацій важких металів у ґрунті для вибору оптимальної стратегії очищення.
2. Розробка схеми застосування рослин-фіторемедіантів — враховуються специфічні особливості злакових культур, оптимальні строки висіву, щільність посадки та тривалість вирощування. Вибір культур (пшениця або кукурудза) та чергування їх висіву можуть змінюватися залежно від рівня забруднення ґрунту та характеристик регіону.

Залежно від рівня перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) важких металів, підходи до вирощування культур також змінюються. Якщо концентрація забрудників перевищує допустимі значення до 1,5 разів, рослини вирощують до стадії кущіння. У разі більш високого забруднення тривалість вегетації скорочують до появи некротичних змін у рослинах. Також

рекомендується ущільнювати посадки: при вирощуванні кукурудзи міжряддя зменшують до 20–25 см, що підвищує здатність рослин до поглинання забрудників.

Після початку пожовтіння нижніх листків або при загальмуванні ростових процесів зелену масу скошують і утилізують. За сприятливих умов росту для пшениці можливе скошування із подальшою вегетацією, що дозволяє повторно використовувати фітомасу для очищення. Однак ефективніше проводити повторний посів із наступним скошуванням і утилізацією, що дозволяє досягти кращих результатів очищення ґрунту від важких металів.

Для оцінки ефективності запропонованого методу очищення ґрунтів від важких металів було проведено лабораторний експеримент. Дослідження здійснювалися на зразках ґрунту з різним рівнем забруднення важкими металами, щоб визначити здатність запропонованої методики знижувати концентрацію шкідливих речовин у ґрунті. Основним завданням було порівняти кількісний вміст важких металів у контрольному зразку, на який не впливали жодні обробки, та у дослідних зразках, що піддавався обробці відповідно до розробленого методу.

На першому етапі експерименту підготовлені зразки ґрунту були розділені на дві групи: контрольна та дослідна. Контрольний зразок зберігався в умовах, максимально наближених до природних, без внесення сорбентів чи рослин-фіторемедіантів. Дослідний зразок, у свою чергу, обробляли з урахуванням запропонованих методичних рекомендацій, які включали внесення базальтового туфу (або іншого сорбенту) та висів фіторемедіантів (злакових культур), таких як пшениця або кукурудза.

Протягом певного часу зразки перебували у заданих умовах з регулярним контролем за рівнем вологості, температури, а також освітлення. По завершенні встановленого періоду експозиції, що був достатнім для накопичення рослинами забруднювачів та їх утримання у сорбенті, обидва зразки піддавалися лабораторному аналізу.

Аналіз полягав у визначенні кількості важких металів у кожному зразку методом атомно-абсорбційної спектроскопії. Визначення концентрацій важких металів у ґрунтах і рослинах було здійснене за допомогою методу атомно-абсорбційної спектрометрії, що використовує як полум'яну, так і безполуменеву атомізацію. Цей метод є надзвичайно чутливим та дозволяє точно визначати концентрацію таких елементів, як свинець, кадмій, цинк та мідь, у ґрунті, навіть незначні концентрації металів, що робить ідеальним для дослідження забруднених середовищ.

Результати експерименту були оформлені у вигляді таблиці 3, яка містить порівняльні дані щодо вмісту важких металів у контрольному та дослідному зразках. В таблиці наведено показники концентрації кожного металу.

Отримані результати продемонстрували ефективність обраного методу: у дослідному зразку відмічено значне зменшення концентрації важких металів, що підтверджує доцільність застосування такого підходу для відновлення забруднених ґрунтів.

Таблиця 3

*Вміст важких металів у досліджених ґрунтах**

| Номер зразка ґрунту | Вміст важких металів, мг/кг | | | | |
|-----------------------|-----------------------------|------|-------|------|-------|
| | Zn | Cu | Cd | Hg | Pb |
| 1 | 36,32 | 5,30 | 13,86 | 0,08 | 48,3 |
| 2 | 3,22 | 2,89 | 0,62 | 0,05 | 18,56 |
| Контроль | 1,01 | 0,41 | 0,30 | 0,08 | 6,24 |
| Допустимі рівні (ГДК) | 23,0 | 3,0 | 0,7 | 0,25 | 20,0 |

*Джерело: [49].

У ході дослідження виявлено, що в дослідному зразку ґрунту № 1 відзначалося перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) для цинку, міді, кадмію та свинцю. Це відомо про серйозне забруднення, яке може негативно вплинути на рослинність і, в подальшому, на продовольчу безпеку. У дослідному зразку ґрунту № 2 концентрації міді, кадмію та свинцю були близькими до ГДК, що викликає менш критичний, але все ще небезпечний

рівень забруднення. Натомість у контрольному зразку не має перевищення вмісту важких металів, що підтверджує його чистоту і придатність для використання в агрономічних дослідженнях.

Для подальшого вивчення впливу змін на рослинність була сформована шість експериментальних груп ґрунтів, у кожній з яких містилося по 1 кг матеріалу. Групи поділили на дві дослідні та дві контрольні, після чого ґрунт засипали в ємності розміром 0,5 × 0,1 м. У кожній групі висівали по 30 зерен кукурудзи або пшениці, які вирощували в умовах фітотрону до 50-ї доби вегетації. Вирощування закінчилося через значний розвиток некрозу на рослинах у дослідних ґрунтах, що свідчили про токсичність умов.

Результати експерименту показали, що вирощування кукурудзи та пшениці у забруднених важкими металами ґрунтах призвело до різної здатності цієї культури до вибору накопичення металів залежно від рівня забруднення. Це означає, що різні рослинні види можуть по-різному реагувати на забруднення, що має значення для подальшого вибору культури, які можуть бути використані для фітореємедіації. Дані про накопичення важких металів пшеницею представлені в таблиці 4, яка містить інформацію про кількість та типи металів, що накопичилися в рослинах, а також їх відношення до загального вмісту у ґрунті. Цей результат є важливим для оцінки ризиків, пов'язаних із споживанням рослин, вирощених на пошкоджених землях.

Таблиця 4

*Вміст важких металів у пшениці, вирощеній на досліджуваних ґрунтах**

| Номер зразка ґрунту | Вміст важких металів, мг/кг | | | | |
|-----------------------|-----------------------------|-------|------|-------|--------|
| | Zn | Cu | Cd | Pb | Hg |
| 1 | 117,70 | 46,02 | 8,22 | 10,71 | < 0,01 |
| 2 | 94,18 | 21,51 | 3,15 | 7,15 | < 0,01 |
| Допустимі рівні (ГДК) | 50,0 | 30,0 | 0,3 | 5,0 | 0,1 |

**Джерело: [49].*

Встановлено, що пшениця демонструє здатність накопичення значних кількостей цинку, міді та кадмію, як у ґрунтах з високим вмістом важких

металів, так і на землях, забруднених у концентраціях, близьких до гранично допустимого значення (ГДК). Це свідчить про те, що пшениця може функціонувати як біоіндикатор забруднення, адже чого її коренева система активно поглинає ці метали з ґрунту.

Дослідження показали, що навіть при незначних концентраціях важких металів у ґрунтах, пшениця здатна накопичувати їх у своїх тканинах, що підкреслює важливість контролю за вмістом цих елементів в агросистемах. Таке вибіркоче накопичення може вплинути не тільки на здоров'я рослин, але й на безпеку харчових продуктів, після накопичених металів в харчовому ланцюзі.

Щодо кукурудзи, дані про її здатність до накопичення важких металів представлені в таблиці 5. Спостереження показали, що кукурудза також демонструє підвищене накопичення цинку, кадмію та свинцю на обох дослідних ґрунтах. Це вказує на те, що кукурудза має подібну до пшениці здатність до накопичення важких металів, що робить її небезпечною для споживання, якщо вона вирощується на забруднених землях.

Таблиця 5

*Вміст важких металів у кукурудзі вирощеній на досліджуваних ґрунтах**

| Номер зразка ґрунту | Вміст важких металів, мг/кг | | | | |
|-----------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|
| | Zn | Cu | Cd | Pb | Hg |
| 1 | 83,5 | 27,82 | 18,24 | 34,67 | < 0,01 |
| 2 | 100,12 | 13,17 | 1,07 | 36,53 | < 0,01 |
| Допустимі рівні (ГДК) | 50,0 | 30,0 | 0,3 | 5,0 | 0,1 |

**Джерело: [49].*

Отже, наведені досліджені свідчать культури, пшениця та кукурудза, можуть ефективно накопичувати важкі метали у своїх тканинах. На основі отриманих результатів, доцільно рекомендувати використовувати пшеницю для фітореMediaції ґрунтів, оскільки вона в першу чергу ефективно очищає їх від цинку та міді. Кукурудза, у свою чергу, виявляє вищу здатність до накопичення кадмію та свинцю. Це відкриває можливості для застосування

даних культур у різних схемах очищення, залежно від конкретних типів забруднення ґрунтів.

Розглянутий фітореMediaційний метод демонструє значну ефективність у контексті очищення ґрунтів від важких металів, навіть за умов недостатньої зволоженості степової зони. Однак важливо відзначити, що ефективність накопичення важких металів у пшениці та кукурудзі змінюється у залежності від типу та рівня забруднення. Це дозволяє розробляти індивідуалізовані підходи до очищення ґрунтів, які враховують специфіку їх забруднення.

Загалом, результати цих досліджень підкреслюють необхідність моніторингу вмісту важких металів у ґрунтах і рослинах, а також необхідні розробки стратегій для зменшення їх накопичення у сільськогосподарських культурах. Це особливо актуально в контексті підвищення екологічної безпеки та здоров'я населення, зниження споживання рослин, що містять небезпечні концентрації важких металів, може призвести до серйозних проблем зі здоров'ям [49].

В останні роки зростає інтерес до біологічних методів очищення ґрунтів від важких металів, які відрізняються високою ефективністю та безпекою для навколишнього середовища. Методи біоремедіації базуються на природних процесах, у яких різні групи живих організмів здатні розкласти або накопичувати забруднювачі, такі як важкі метали, радіонукліди, азотні, фосфорні та органічні сполуки.

Ефективність біологічних методів очищення суттєво залежить від відновлення життєздатності та види різноманітності природного мікробіоценозу. Однак варто врахувати, що процес очищення забруднених ґрунтів за допомогою біоремедіації може бути досить повільним і тривалим. Це потребує належного моніторингу та планування, щоб забезпечити оптимальні умови для активації природних механізмів самоочищення ґрунту. Відповідно до концептуальної моделі біоремедіації забруднених важкими металами ґрунтів, використання біологічних методів ремедіації техногенно

пошкоджених ґрунтів передбачає застосування комплексу підходів, які можна поділити на кілька основних груп:

- **Методи біодеградації:** Ці методи залучають специфічні мікроорганізми, котрі здатні розкласти або перетворити забруднювачі в менш токсичні форми. Мікроорганізми, які залучені до біоремедіації, сприяють перерозподілу токсичних елементів, а також активізують природні механізми відновлення ґрунтів, що зменшує рівень забруднення.
- **Методи біонакопичення:** У цих методах застосовують рослини, які накопичують забруднювачі у своїй біомасі, або впливають на перерозподіл токсичних речовин у ґрунтовому профілі. Це досягається завдяки одночасному впливу на біологічну складову (мікроорганізми, рослини) та мінеральну основу, що сприяє підвищенню екологічної стабільності ґрунту. Збільшує вміст органічних речовин, які зв'язуються з глинистими мінералами, покращує структурні характеристики ґрунту, а також його трофічний, газовий режими та загальні властивості.
- **Біотоксикація і деконтамінація:** Залучаються методи розширення популяції ґрунтових мікроорганізмів і використання рослин-фітомеліорантів, які сприяють знешкодженню важких металів або зменшують їх токсичність для екосистеми.

Ці методи біоремедіації є ефективними та безпечними для навколишнього середовища. Їх застосування дозволяє не лише очистити ґрунти від важких металів, але й відновити їх екологічні функції за рахунок біологічних властивостей використаних організмів [50, 51].

Для моніторингу забруднення та інших токсичних речовин розроблено кондуктометричний біосенсор. Прилад має селективну чутливість до цих важких металів завдяки ферментній системі інвертазу – мутаротази – глюкозооксидази, що дозволяє швидко і точно визначати вміст шкідливих речовин у водних розчинах. Також створено мультибіосенсор, який включає ферменти ацетилхолінестеразу, бутирилхолінестеразу, уреазу та інші, які

допомагають виявляти важкі метали, пестициди і гербіциди у зразках різних об'єктів довкілля.

Крім того, було запропоновано рішення для контролю ґрунтів, які використовують для вирощування кормових культур, призначених для виготовлення комбікормів. Цей метод забезпечує збагачення корму органічними сполуками селену та пектиномісними речовинами, що сприяє зниженню ризику розвитку серцево-судинних та онкологічних захворювань у людей, які споживають продукти птахівництва (яйця, м'ясо, субпродукти), вирощені на такому кормі. .

Ці технологічні рішення в галузі біоремедіації значно підвищують ефективність відновлення ґрунтів від забруднень та допомагають покращити безпеку екосистем.

[52, 53, 54].

Отже, відновлення ґрунтів, забруднених важкими металами внаслідок техногенних процесів, за допомогою біологічних методів є перспективним і швидко розвивається в галузі екологічної науки. Біологічні методи ремедіації мають низку важливих переваг, таких як екологічна безпека та збереження природного фізико-хімічного складу ґрунтів. Вони показують високу ефективність, особливо при низьких концентраціях забруднювачів [57, 58, 59].

Перспективи розвитку методів біоремедіації в напрямку очищення ґрунтів від важких металів включають такі завдання:

1. Проведення аналізу існуючих методів і технологій біоремедіації з використанням найбільш ефективних рішень.
2. Організація систематичного моніторингу забруднених ґрунтів для дослідження змін їхнього складу та функціонування та для планування заходів з очищення.
3. Наукове обґрунтування підбору рослин та розробка систем сівозмін, які найкраще підходять для фіторемедіації при різних рівнях і типах забруднення.

4. Розробка нових мікробних і ферментних препаратів, вивчення їх впливу на ґрунти, здатність сприяти біодеградації важких металів та створення технологій для очищення ґрунтів.

5. Проведення еколого-економічного аналізу ефективності біоремедіаційних методів, що забезпечує раціональне та ефективне управління земельними ресурсами.

Розвиток таких підходів може стати основою для створення надійної системи екологічного відновлення ґрунтів і захисту навколишнього середовища.

2.3. Міжнародний досвід відновлення родючості забруднених внаслідок військових дій ґрунтів.

Дослідження показують, що воєнні дії мають негативний і тривалий вплив на екосистеми, особливо на ґрунтовий покрив. Пошкоджені території потребують детального вивчення та індивідуальних підходів до відновлення для кожної ділянки. Рекомендується створювати програми заходів, адаптовані під особливості конкретної території. Один із найбільш ефективних шляхів відновлення – це вилучення таких ділянок із сільськогосподарського та іншого господарського обігу з подальшою передачею їх до природно-заповідного фонду.

Крім традиційних методів видалення важких металів з ґрунтів, перспективним підходом є фітоекстракція, тобто використання рослин, здатних накопичувати забруднювачі у своїх тканинах. Серед основних методів детоксикації ґрунтів, які відзначили вплив воєнно-техногенних забруднень, ефективним є внесення органічних добрив, використання природних і синтетичних сорбентів, а також застосування мінеральних добрив. Кожен із цих методів має свої переваги й різні впливи на ґрунтову екосистему, що дозволяє створити комплексні програми відновлення, що враховують потреби конкретної території.

Доцільно також отримати досвід зарубіжних країн у післявоєнному відновленні ландшафтів. Наприклад, у В'єтнамі воронки, залишені після

бомбардувань, були переобладнані як рибні ферми, що забезпечило нове використання пошкоджених територій. У зоні між Південною та Північною Кореєю, як відомо, як демілітаризована зона, відбулася природна сукцесія, і зараз ця територія стала фактично резерватом біорізноманіття, де мешкають тисячі видів флори і фауни.

Країни Європи також включили колишні мілітаризовані зони до екологічної мережі, такі як Natura 2000. Данія, наприклад, відділила 45% своїх постраждалих територій, Нідерланди — 50%, а Бельгія — 70% для природоохоронних потреб. Подібний підхід був застосований у Південній Кореї після війни 1950–1953 років, що довело ефективність перетворення таких територій на екологічні резервати.

Таким чином, інтеграція колишніх воєнних зон у природоохоронні території та застосування відновлювальних технологій може стати дієвим інструментом екологічного відновлення й збереження біорізноманіття на пошкоджених ділянках. (55)

Українська Природоохоронна Група (UNCG) пропонує для найбільших постраждалих територій створити спеціальні «червоні зони» на прикладі Франції. Після Першої світової війни Франція запровадила аналогічні зони, наприклад, на землях Верденської битви 1916 року. На площі понад 1200 км² французька влада оголосила ці території «повністю зруйнованими», заборонивши доступ і ведення будь-якої сільськогосподарської діяльності. Згодом, після багаторічного очищення, площу критично забрудненої зони скоротити до 100 км². Природна регенерація без впливу людини поступово відновлює екосистему, а вибухові воронки стали частиною унікального ландшафту регіону подібного підходу в Україні буде відповідати вимогам національного законодавства щодо збереження земель та боротьби з опустелюванням. Крім того, Європейська стратегія захисту біорізноманіття до 2030 року передбачає відведення 30% сільськогосподарських земель в ЄС під екологічне відновлення та природоохоронні цілі. Це дозволити українські

території як важливу частину європейської ініціативи збереження екосистеми.
(56)

Україна вже має значний досвід у створенні подібних зон. Прикладом є зона відчуження Чорнобильської АЕС, де раніше велося інтенсивне сільськогосподарське виробництво, але після аварії ці землі були виведені з обігу. Сьогодні Чорнобильська зона є однією з найбільших зелених зон Європи, яка перетворилася на біосферний заповідник, що став домом для багатьох видів рослин і тварин, утворюючи унікальну природну спадщину. Тому український досвід може стати основою для подальших екологічних ініціатив в Європі, спрямованих на відновлення й збереження біорізноманіття на постраждалих територіях.

Цікавим і перспективним є підхід, який дозволяє трансформувати пошкоджений рельєф полів у новий ландшафт з елементами природних оазисів, здатних приносити значну користь для сільського господарства. Така трансформація відбувається в інтеграції екологічних елементів, що роблять аграрні території більш стійкими та продуктивними у довгостроковій перспективі.

Наприклад, у Німеччині практикується створення малих лісових насаджень, живих огорож і мікроболіт посеред аграрних ландшафтів. Лісосмуги й болотисті зони, розташовані в межах і в середині полів, розвивають роль мікрокліматичних регуляторів. Завдяки їм підтримується стабільний рівень вологості та знижується коливання температури, що дозволяє сільськогосподарським культурам краще адаптуватися до змін клімату. Такі «зелені оазиси» також сприяють підвищенню біорізноманітності, потім залишають місце проживання для корисних комах, птахів та дрібних тварин, що створює природний баланс в агроекосистемах і сприяє боротьбі зі шкідниками.

Крім того, ці елементи природного ландшафту мають значну естетичну цінність, надаючи територіям привабливий вигляд, що може сприяти розвитку агротуризму та інших екологічних ініціатив. Такий підхід не лише забезпечує

екологічну стійкість, а й розкриває ландшафтний потенціал як ресурси для рекреаційного і туристичного використання, що може принести додатковий дохід та популяризувати збереження природних територій у сільськогосподарському контексті.

В умовах України можна адаптувати цей підхід, змінивши вирви від вибухів на природні осередки. Такі осередки символічно відображають процес «зцілення» земель, ушкоджених війною, і водночас підвищують стійкість сучасного агровиробництва. Запропоновано облаштувати вирви як «острови» лісів та водою — штучні ставки чи копанки. Через кілька років ці малі лісові насадження, чагарники та водойми в поєднанні з лісосмугами створюють природні мікроекосистеми, що надають важливі екосистемні послуги для агровиробників [57].

Основні переваги такого підходу для агроландшафтів наступні:

- Запобігання ерозії ґрунту. Лісосмуги та невеликі ліси допомагають зменшити швидкість вітру, зменшуючи ризик ерозії ґрунтів. У поєднанні з лісосмугами це дозволяє зменшити швидкість вітру.
- Стабілізація мікроклімату на полях. Завдяки деревним і водним елементам мікроклімат поля стає більш стабільним: реалізується вологість повітря, вологоутримуючі властивості ґрунтів, а випаровування знижується. Це особливо важливо для захисту посівів під час посушливих періодів, покращуючи загальні умови вирощування культури.
- Зниження чисельності шкідників. Природні осередки слугують місцем для гніздування сотень комахоїдних птахів, які зменшують кількість шкідників. Різноманіття комах-запилювачів також зростає за рахунок присутності таких осередків: кількість безхребетних, зокрема диких бджіл, хижих жуків, павуків та мурах, зростає. Це забезпечує природну біологічну регуляцію шкідників, зменшуючи потребу в хімічних засобах захисту рослин.
- Підвищення родючості ґрунту. Завдяки впровадженню деревних і природних елементів в аграрні ландшафти, посилюються процеси обміну речовин у ґрунті, що збільшують вміст гумусу і збільшили пористість. Листя

дерев і рослинний покрив збагачують ґрунти поживними речовинами, повертаючи хімічні елементи, що особливо актуально для районів Лісостепу та Степу, де це повернення може бути значним. Ці природні елементи мають важливу роль у формуванні родючого шару, покращуючи структуру і забезпечуючи стале живлення для рослин.

— Депонування вуглецю. Деревні рослини в агроландшафтах сприяють накопиченню органічного вуглецю, який зберігається у ґрунті та рослинному покриві. Змішані деревостани з густим підліском депонують у середньому 0,6–1,1 т/га вуглецю, а також виробляють удвічі більше кисню, ніж звичайні агроландшафти. Це робить агролісомеліоративні насадження компонентом для зменшення викидів вуглекислого газу та покращення якості повітря в регіоні, що є особливо актуальним у контексті зміни клімату.

— Зниження рівня хімічного забруднення. Деревні насадження забезпечують природну фільтраційну функцію, абсорбуючи та зв'язуючи хімічні елементи в різних шарах ґрунту. Це сприяє очищенню як ґрунтів, так і ґрунтових вод, що особливо важливо для регіонів, забруднених через сільськогосподарську чи промислову діяльність. Деревина можуть виступати як бар'єр, який зменшує рух хімічних забрудників, запобігаючи їх подальшому розповсюдженню в екосистемі.

Природні оазиси на території полів позитивно впливають на їхнє загальне «здоров'я», активізуючи процеси обігу поживних речовин. Це, в поєднанні з механічними властивостями рослин, які зменшують вітрову ерозію, а також захистом ґрунтів, може сприяти збільшенню врожайності на 20–30 %, що аналогічно ефекту, який надають полезахисні лісосмуги. Таким чином, впровадження лісових насаджень та природних елементів в агроландшафтах надає широкий спектр екосистемних послуг, що також включає підвищення родючості ґрунтів, депонування вуглецю та очищення середовища від хімічних речовин, сприяючи екологічній стійкості та довготривалій продуктивності аграрних територій.

Бомбові кратери згодом можуть бути перетворені на пташині двори або рибні ставки. Оголені пагорби мають потенціал швидко заростати зеленим покривом, достатнім для випасу худоби або вирощування сільськогосподарських культур. Проте, важливо зазначити, що така природна рослинність вже не відновлює продуктивність ґрунтів, яка була втрачена внаслідок вибухів, що знищили його профіль, або через забруднення, викликане розсіюванням шкідливих залишків боєприпасів.

Для ефективного відновлення таких територій необхідно вжити кілька заходів:

1. Обстеження: Важливо залучити уповноважених військових фахівців для перевірки вирв та прилеглих територій на наявність нерозірваних снарядів і для прибирання металобрухту.
2. Створення природних оазисів:
 - «Острови» лісу: Висадка місцевих видів дерев і кущів, таких як терен, шипшина, глід, ліщина, дуб, клен, ясен та дика груша.
 - Створення ставків: Дно воронки слід застелити природними матеріалами, наприклад, глиною, для утримання води.
3. Висадка рослин:
 - На околицях воронок варто висаджувати верболозу та очерет.
 - Дерев та кущів необхідно висаджувати за схемою: високорослі види розташовуються ближче до центру, а кущі та трави — ближче до країв.

В результаті війни навколишнє середовище і майбутні покоління позбавлені важливої спадщини, оскільки знищення родючості ґрунтів, яка формувалася протягом тисячоліть, потребує тривалого часу для відновлення.

Існує позитивний досвід відновлення земель на території військово-повітряної бази Біл (Beale Air Force Base) у штаті Каліфорнія, США, який може слугувати корисним прикладом для інших проектів з очищення забруднених земель. В рамках цієї ініціативи було вилучено 17 тисяч тонн забрудненого верхнього ґрунту з метою видалення небезпечних речовин, зокрема свинцю та поліциклічних ароматичних вуглеводнів, які суттєво погіршували якість

грунту. Цей крок дозволив уникнути майбутніх штрафів та значних екологічних витрат для військової бази.

Проект відновлення, реалізований у рамках відповідної військової програми, включав низку важливих заходів:

- 1) Утилізація забрудненого ґрунту: Приблизно 16 тисяч тонн забрудненого ґрунту було утилізовано на спеціалізованому полігоні як безпечні відходи, в той час як ще 1,5 тисячі тонн визнано небезпечними відходами і були оброблені відповідно до норм безпеки.
- 2) Засипка очищених ділянок: Після вилучення забрудненого ґрунту очищені ділянки були заповнені приблизно 10,5 тисячі ярдів кубічних (близько 8028 м³) удобреного ґрунту. Це забезпечило сприятливі умови для подальшого росту рослинності.
- 3) Захист від ерозії: Для запобігання ерозії ґрунту та стоку осаду було встановлено 27 тисяч погонних футів (приблизно 8229,6 м) рулонів волокна. Це стало важливим заходом для підтримки якості води в прилеглих територіях.
- 4) Гідропосівна мульча: На свіжий ґрунт було нанесено гідропосівну мульчу на площі 16 акрів (приблизно 6,5 га), що сприяло відростанню рослинності і відновленню природного покриву.
- 5) Обмеження доступу худоби: Для забезпечення ефективності процесу відновлення були встановлені електричні огорожі, які забороняли доступ худоби на території, що підлягали відновленню.

Цей досвід показує, що комплексний підхід до очищення забруднених земель може бути успішно реалізований і приносить позитивні результати, сприяючи відновленню екосистеми та збереженню навколишнього середовища.

Важливим аспектом усіх заходів з відновлення родючості ґрунтів є необхідність постійного моніторингу їх ефективності. Цей моніторинг повинен включати в себе аналіз адміністративних методів управління, розробку планів коригувальних дій, оцінку витрат і очікуваної рентабельності,

а також вивчення довгострокових наслідків для екосистем. Такий підхід дозволить забезпечити результативність впроваджених заходів та сприяти більш ефективному використанню ресурсів. [58, 59].

Крім того, існує нагальна потреба у детальному правовому регулюванні співпраці між Збройними Силами України та Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів у контексті екологічного моніторингу. Слід передбачити, що компетенція військових екологів ЗСУ має охоплювати не лише періоди мирного часу, а й час воєнних дій. Це означає, що військові екологи повинні мати можливість здійснювати забір проб води, ґрунту і повітря для якісного аналізу екологічного фону території, що піддається воєнним діям.

Отримана інформація є критично важливою для формування ефективного плану дій, спрямованого на захист населення від негативного впливу шкідливих речовин та запобігання потенційним негативним наслідкам. Стан довкілля в зоні проведення воєнних дій має регулярно оновлюватися, принаймні раз на тиждень, в рамках єдиної сучасної системи екологічного моніторингу України, яка наразі потребує розробки. Варто зазначити, що забруднення, що виникає під час воєнних дій, має тенденцію поширюватися на значно більші території, ніж сама зона конфлікту. Тому систематичний моніторинг є необхідним для оперативного реагування на екологічні виклики, що постають у таких ситуаціях.

Висновки до розділу

Підсумовуючи результати нашого дослідження, варто відзначити, що наслідки воєнних дій для навколишнього середовища часто недооцінюються. Це зумовлено тим, що втрата людських життів і руйнування інфраструктури, безумовно, стоять на першому плані в короткостроковій перспективі. Однак війна також створює серйозні перешкоди для зусиль, спрямованих на покращення складної екологічної ситуації. Так, діяльність і інвестиції, які були націлені на відновлення екосистем, збереження біорізноманіття, покращення

управління природоохоронними територіями, а також пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптацію до них, зазнають серйозних труднощів.

Воєнні дії, особливо тривалі конфлікти, призводять до значної деградації ґрунтової екосистеми, яка відбувається, зокрема, через непомірне накопичення важких металів. Ці небезпечні елементи здатні мігрувати з ґрунту в підземні води, викликаючи забруднення природного середовища за межами безпосередньої зони бойових дій. У районах, де відбуваються інтенсивні бої, родючість ґрунтів знижується внаслідок зміни їх фізико-хімічних властивостей, таких як зменшення вмісту макроелементів і органічної речовини, а також підвищення лужності.

Війни та збройні конфлікти впливають на ґрунти як безпосередньо через фізичні пошкодження, так і опосередковано, через зміни у звичках людей і використання природних ресурсів. Відновлення ґрунтів є складним процесом, який вимагає глибокого розуміння і використання складних біофізичних і соціально-економічних взаємодій, що впливають на них. Погіршення важливих властивостей ґрунту може бути достатньо тривалим і настільки значним, що призведе до суттєвого зниження продуктивності та інших важливих функцій ґрунту. Відновлення цих функцій може зайняти багато сотень років, що підкреслює критичну важливість вжиття заходів для запобігання та мінімізації негативних екологічних наслідків війни.

Висновки до розділу

Ці методи можуть бути застосовані як окремо, так і в комбінації, незалежно від конкретних цілей дослідження, доступних ресурсів та особливостей досліджуваної території. Використання різноманітних підходів дозволяє отримати більш повну картину стану ґрунтів і вибір варіантів для подальших дій.

Кожен з методів (фізичний, хімічний, біологічний, геологічний та геохімічний) може надавати цінну інформацію. Наприклад, хімічний аналіз може надати інформацію про забруднення, тоді як фізичний аналіз дозволяє оцінити структуру та властивості ґрунтів. Якщо призначено визначення

конкретного забруднення, можна зосередитися на хімічному аналізі. Але для всебічної оцінки екосистеми краще використовувати комбінацію кількох методів.

Поєднання різних підходів дозволяє отримати більш точні та повні результати. Наприклад, спільне застосування фізичних і біологічних аналізів дозволяє визначити фізичні властивості ґрунтів впливають на біологічну активність. Це також допоможе зрозуміти, як забруднення, впливає на здоров'я рослин і мікроорганізмів.

Важливо проводити систематичні дослідження, адже стан ґрунтів може змінюватися під впливом різних факторів, таких як погодні умови, сільськогосподарська діяльність, природні катастрофи та військові дії. Повторні аналізи можуть змінити динаміку і дозволять краще зрозуміти наскільки ефективно відбуваються процеси рекультивації.

Систематичний підхід до моніторингу змін у стані ґрунтів дозволяє оцінити, максимальну ефективність вжитих рекультиваційних заходів. Це може включати порівняння даних до і після проведення заходів, а також визначення відхилень від очікуваних результатів. Залежно від отриманих результатів, необхідно вносити корективи у стратегії відновлення.

Загалом, поєднання різних методів дослідження дозволяє досягти більш комплексного підходу до аналізу стану ґрунтів. Такий багатогранний підхід не лише забезпечує глибше розуміння чинників, що впливають на якість і родючість ґрунтів, але й дозволяє виявити специфічні проблеми, пов'язані з їх деградацією внаслідок бойових дій. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню ефективності запроваджених методів відновлення, адже на основі зібраних даних можна адаптувати та оптимізувати стратегії рекультивації, враховуючи унікальні умови кожної конкретної території.

Завдяки інтеграції різних дослідницьких підходів, таких як геологічний, екологічний, хімічний і біологічний аналізи, можна отримати всебічну картину, яка відображає не лише сучасний стан ґрунтів, а й їх потенційні можливості для відновлення. Це забезпечує можливість розробки

цілеспрямованих і дієвих заходів, які враховують специфічні потреби ґрунтів, постраждалих від військових дій. Таким чином, комбінування різноманітних методів дослідження є ключовим елементом у процесі відновлення родючості та здоров'я ґрунтів, забезпечуючи більш стійкий і ефективний підхід до їх рекультивації.

РОЗДІЛ 3

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ

3.1 Вартість рекультивациї.

Основні фактори, що впливають на вартість відновлення земельних ділянок:

1. Тип забруднення є ключовим фактором, який визначає спосіб очищення, складність робіт та їх вартість. Забруднення ґрунтів може бути:

- Фізичне - включає в себе пошкоджене обладнання, будівлі, боєприпаси, що не розірвалися, тощо. Таке забруднення традиційно вимагає механічного видалення за допомогою спеціалізованої техніки.
- Хімічне - важкі метали (свинець, кадмій, ртуть), нафтопродукти, хімічні добрива або пестициди. Хімічне забруднення складніше очистити, оскільки воно вимагає спеціальних технологій, таких як, наприклад, біоремедіація, хімічна нейтралізація або термічне очищення.

2. Рівень забруднення та площа пошкодження. Чим вищий рівень забруднення і більша площа, тим більший обсяг робіт і використання ресурсів необхідний для очищення:

Ґрунт з високою концентрацією нафтопродуктів вимагає інтенсивних методів, таких як екстракція, що збільшує загальні витрати. Якщо забруднення охоплює велику територію, як у випадку військових дій, для проведення робіт потрібні додаткове обладнання, час і персонал.

Рівень забруднення також впливає на тривалість робіт. Для відновлення помірно пошкоджених ґрунтів може знадобитися місяць, а для сильно пошкоджених - роки.

3. Географічне розташування забрудненої території також має значний вплив на витрати. Складні природні або соціально-економічні умови, такі як віддаленість, обмежений доступ до ресурсів або робота в зоні бойових дій, можуть значно збільшити витрати.

У районах зі складним рельєфом (наприклад, гірських або водно-болотних) вартість робіт може бути в 1,5-2 рази вищою через використання спеціального обладнання.

Кліматичні умови, такі як сильна спека або мороз, можуть ускладнити роботу і збільшити витрати на надання працівників і обладнання. У зонах бойових дій потрібні додаткові заходи з розмінування, що суттєво впливає на загальну вартість заходів.

Таблиця 6

Порівняння витрат для різних типів забруднення

| <i>Тип забруднення</i> | <i>Метод очищення</i> | <i>Орієнтовна вартість, \$/тонна</i> | <i>Тривалість процесу</i> |
|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Нафтопродукти | Хімічний, біоремедіація | 100–500 | Від кількох місяців до року |
| Важкі метали | Фіторемедіація, хімічний | 200–800 | До кількох років |
| Радіоактивні речовини | Захоронення, механічна | 1000–5000 | Довгостроково |
| Побутові відходи | Механічна | 50–200 | До кількох місяців |

**Джерело: [60].*

Можливості скорочення фінансових витрат:

- Інтеграція декількох методів: поєднання дешевших і дорожчих підходів для оптимізації витрат;
- Інноваційні технології: використання нових методів (наприклад, наноматеріалів) для зменшення обсягів реагентів і часу роботи;
- Підтримка міжнародних організацій: залучення грантів та програм допомоги. [60]

3.2 Економічні наслідки несвоєчасного очищення

Несвоєчасне очищення забруднених територій може мати серйозні екологічні та економічні наслідки, які впливають як на природне середовище, так і на соціально-економічний добробут населення. Основними аспектами є:

✓ Втрата продуктивності земель:

Забруднені ґрунти стають непридатними для сільськогосподарського використання, що призводить до зниження врожайності та втрати продовольчого потенціалу. Наприклад, для відновлення природного балансу землі, забрудненої важкими металами або хімікатами, можуть знадобитися десятиліття. Це збільшує вартість імпорту продовольства та зменшує доходи фермерів.

✓ Забруднення водоносних горизонтів:

Забруднення ґрунту може поширюватися у водоносні горизонти, збільшуючи витрати на очищення питної води. Наприклад, вартість видалення таких забруднювачів, як нітрати і пестициди може сягати сотень мільйонів доларів щорічно. У Великобританії в 1996 році було підраховано, що очищення води від таких забруднень коштує близько 230 мільйонів фунтів стерлінгів щорічно, а в США вартість очищення тільки від азоту оцінюється в 340 мільярдів доларів на рік.

✓ Поширення токсичних речовин:

Забруднювачі, такі як пестициди, важкі метали або органічні хімікати, можуть мігрувати на сусідні території, завдаючи шкоди екосистемам і збільшуючи масштаб проблеми. Це може призвести до екоцидних ефектів, включаючи втрату біорізноманіття.

✓ Збільшення витрат на рекультивацію:

Екологічні збитки, спричинені запізнілим реагуванням, можуть перевищувати початкові витрати на відновлення у 5-10 разів. Наприклад, відновлення деградованих земель, за якими не проводився своєчасний догляд, може вимагати значно більше ресурсів і часу.

✓ Соціальні наслідки:

Забруднені території можуть спричиняти серйозні захворювання серед населення. Хронічні захворювання, пов'язані з впливом токсичних речовин, лягають довгостроковим тягарем на системи охорони здоров'я і знижують продуктивність робочої сили. За оцінками, втрати продуктивності, пов'язані з

хворобами, можуть сягати до 1,9% ВВП у країнах із середнім і низьким рівнем доходу.

Ця інформація підкреслює важливість своєчасного очищення та відновлення забруднених територій для мінімізації впливу на навколишнє середовище та зменшення майбутніх економічних витрат. [61, 62, 63]

Ефективне очищення ґрунтів вимагає значних фінансових вкладень, але це інвестиції в майбутнє екосистем та економіки. Вибір методу залежить від типу забруднення, але пріоритетом має бути довгострокова екологічна безпека та відновлення продуктивності земель.

3.3 Економічні вигоди від рекультивованих земель: перспективи повернення до сільськогосподарського використання.

Відновлення земель, що постраждали від бойових дій або забруднення, має значний потенціал для економічного розвитку, особливо в сільськогосподарському секторі. Інвестиції у відновлення таких земель забезпечують довгострокові вигоди як для довкілля, так і для економіки. Важливі аспекти цих переваг можна розділити на кілька основних категорій.

1. Підвищення продуктивності сільського господарства.

Відновлені землі можна знову використовувати для вирощування сільськогосподарських культур, що сприяє збільшенню виробництва. Це є ключовим фактором для забезпечення продовольчої безпеки в регіоні:

- Після рекультивації врожайність земель може зрости на 30-50%, залежно від початкового стану та впроваджених агротехнологій.
- Відновлені землі залишаються придатними для вирощування високоякісних культур з високим експортним потенціалом.

2. Зменшення залежності від імпорту.

Збільшення сільськогосподарського виробництва на рекультивованих землях може зменшити залежність країни від імпорту продовольства. Це сприяє розвитку місцевих фермерських господарств.

3. Заощадження на альтернативних витратах

Необроблені та деградовані землі є економічним тягарем, оскільки їх утримання коштує дорого (наприклад, заходи із запобігання ерозії або посиленій контроль за забруднювачами). Рекультивація таких земель дозволяє уникнути цих додаткових витрат і перетворити їх на актив, що приносить дохід.

4. Розвиток місцевих громад.

Відновлені сільськогосподарські землі стають джерелом створення робочих місць у регіонах. Зростання зайнятості в сільському господарстві підвищує добробут місцевих громад. Крім того:

- Повернення земель до господарського обігу розвиває інфраструктуру;
- У довгостроковій перспективі це знижує рівень міграції з сільської місцевості до міст.

5. Збільшення експортного потенціалу.

Підвищення продуктивності сільського господарства дозволяє країнам збільшити експорт продовольства, що важливо для забезпечення валютних надходжень. На відновлених землях можна вирощувати зернові, олійні, овочі та фрукти, які користуються великим попитом на міжнародному ринку.

6. Екосистемні послуги.

Рекультивовані землі відновлюють свою здатність виконувати екосистемні функції, такі як збереження біорізноманіття, регулювання кругообігу води, поглинання вуглецю та запобігання деградації інших екосистем. Це має не лише екологічний, а й економічний ефект, оскільки здорові екосистеми підтримують сталий розвиток сільськогосподарського сектору. [63]

Висновки до розділу

Економічні вигоди від реабілітації забруднених земель значні. По-перше, рекультивована земля може бути повернута в сільськогосподарське використання, забезпечуючи постійний потік доходу від вирощування сільськогосподарських культур. Наприклад, земля, рекультивована після нафтового або хімічного забруднення, може бути використана для виробництва сільськогосподарської продукції. Це відновлює родючість ґрунту

та повертає його в економіку, зменшуючи потребу у великомасштабному імпорті сільськогосподарської продукції.

По-друге, рекультивация земель зменшує економічні витрати, пов'язані з довгостроковими екологічними проблемами, такими як забруднення водоносних горизонтів, що може збільшити витрати на очищення питної води для населення. У довгостроковій перспективі витрати на реабілітацію ґрунту набагато нижчі, ніж витрати на відновлення водних ресурсів, оздоровлення людей і відновлення екосистем, постраждалих від забруднення.

ВИСНОВКИ

У цій роботі детально аналізуються екологічні наслідки, викликані повномасштабним вторгненням в Україну. Протягом більш ніж двох років воєнних дій країна переживає значну екологічну кризу, яка має серйозні наслідки для навколишнього середовища. Підриви мостів, обстріли промислових підприємств і руйнування важливої інфраструктури спричиняють масштабні негативні впливи.

Війна в Україні завдає істотної шкоди екологічній ситуації в країні. Різноманітні аспекти конфлікту, такі як руйнування промислових об'єктів і житлової інфраструктури, а також забруднення, спричинене витоками паливно-мастильних матеріалів та небезпечних хімічних речовин, призводять до значного погіршення якості довкілля. Вода, повітря та ґрунти зазнають серйозного забруднення, що загрожує не лише здоров'ю людей, але й екосистемам, які зазнають значних стресів.

Ґрунтовий покрив та водні ресурси України зазнають значний тиск через ерозію, забруднення паливно-мастильними матеріалами, уламки снарядів і вплив важкої техніки, що руйнує структуру ґрунтів та забруднює токсичними речовинами.

Обстріли та будівництво траншей руйнують родючий шар ґрунту, пересування важкої техніки ущільнює його структуру, а теплове та вібраційне пошкодження бойових дій завдає шкоди ґрунтовій біоті. З кожним днем ситуація стає критичною: деградація та забруднення лише посилюється.

Хімічне забруднення токсичними речовинами негативно впливає на якість ґрунту та знижує його родючість. Крім того, підтоплення шахт, яке відбувається внаслідок військових дій, створює додаткові ризики для підземних вод і екосистем, що можуть призводити до серйозних екологічних катастроф. Використання військової техніки, зокрема її вплив на природні ресурси, також сприяє знищенню природного середовища та деградації земель.

Водночас війна завдає шкоди біорізноманіттю, руйнуючи природоохоронні зони та знищуючи середовища існування багатьох видів. Руйнування об'єктів природно-заповідного фонду та природоохоронних зон призвело до втрати унікальних екосистем, знищення рослинного покриву та тваринного світу, а також порушення природного балансу й екосистемних процесів. Відновлення екологічної ситуації після війни потребує комплексного підходу та впровадження спеціальних заходів.

Таким чином, воєнні дії в Україні мають комплексний і тривалий вплив на екологічну ситуацію, що вимагає термінових заходів для оцінки, моніторингу та відновлення пошкоджених екосистем. Необхідно розробити стратегії, спрямовані на зменшення негативних наслідків війни для навколишнього середовища та забезпечення стійкого відновлення країни в майбутньому.

Однак перед тим, як розпочати відновлення, необхідно провести аналіз наявності забруднюючих речовин, що дозволяють забезпечити оптимальні способи очищення. В умовах триваючого конфлікту повне обстеження постраждалих ґрунтів є неможливим, тож першочерговими є розмінування та відновлення деокупованих територій. На цьому етапі важливо розробити теоретичні та законодавчі основи для майбутньої рекультивациі земель.

Плани відновлення України передбачають проекти систематичного моніторингу стану ґрунтів та консервації забруднених і деградованих територій. Наразі ці питання обговорюються в робочих групах при Міністерстві аграрної політики та Міністерстві екології та природних ресурсів. Варто зазначити, що ще до початку повномасштабної війни український уряд планував консервацію деградованих земель, а нині така необхідність є ще актуальнішою для збереження тих ділянок, які найбільше постраждали внаслідок військових дій. Сподіваємось, що такі ініціативи будуть реалізовані на практиці. Адже стан ґрунтів має вирішальне значення не лише для продовольчої безпеки, а й для вирішення екологічних проблем та протидії зміні клімату.

Економічні вигоди від рекультивації можуть включати зменшення витрат на відновлення екологічної катастрофи, відновлення сільськогосподарської продуктивності та покращення загальної екосистеми. Враховуючи ці аспекти, витрати на рекультивацію забруднених земель, хоча й високі на початкових етапах, можуть принести значні економічні вигоди у вигляді підвищення продуктивності землі, зниження витрат на очищення води та покращення здоров'я населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Росіяни продовжують палити український хліб: на Миколаївщині вигоріло поле пшениці. URL: <https://tsn.ua/ato/rosiyani-prodovzhuyut-paliti-ukrayinskiy-hlib-na-mikolayivschini-vigorilo-pole-pshenici-foto-2120245.html>
2. На Харківщині російська ракета влучила у працюючий трактор. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/na-harkivsini-rosijska-raketa-vlucila-u-pracuuj-traktor>.
3. Іванюта С.П., Якушенко Л.М. Аналітична доповідь: Європейський зелений курс і кліматична політика України. URL: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.12>
4. Постанова КМУ від 13.03.2022 р. № 303. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/303-2022-%D0%BF#Text>
5. Мелень-Забрамна О.М. Шутяк С.В. воєнні дії на сході України - цивілізаційні виклики людству: підручник. Львів: Львівський Національний Університет ім. Івана Франка 2015. . URL: https://epl.org.ua/wp-content/uploads/2015/07/1817_WEB_EPL_Posibnuk_ATO_Cover_Ukrainian.pdf
6. м Кардаш Д.М., Лазебна О.М. Наслідки впливу військових дій на навколишнє середовище: матеріали науково-практичної конференції "Екологічні наслідки військових дій" м. Київ, 17-18 квітня 2018 р. Київ: Національний Педагогічний Університет ім. М.П. Драгоманова 2018. URL: <https://prf.edu.ua/wp-content/uploads/2020/12/2018-04-17->
7. Рудько Г.І Плахотій С.А Гібридна війна та її екологічні наслідки для Донецького гірничо-промислового регіону : матеріали науково-практичної конференції "Екологічні наслідки військових дій" м. Київ, 17-18 квітня 2018 р. Київ: Національний Педагогічний Університет ім. М.П. Драгоманова 2018.
8. Єрмаков В.М., Луньова О.В. Технічні рекомендації щодо зменшення ризику катастроф та вразливості населення в східній Україні Київ, 2021.
9. Радіо свобода. «Військова здобич»: захоплена ЗСУ російська техніка (фотосвідчення). URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/foto-viyna-zsu-tekhnika-rosiyi/32029970.html>

10. Козій О.І., Петрук М.П., Витрикуш Н.М., Вахула О.М. Діоксинова проблема сміттєспалювання. Вісник Національного університету «Львівська політехніка», № 868, 2017.
11. Томільцева А.І., Яцик А.В., Мокін В.Б. Екологічні основи управління водними ресурсами: навч. посіб. К.: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017.
12. Рабченюк О.О., Хоменчук В.О., Курант В.З. Ферум у водних екосистемах: форми знаходження, біологічне значення та токсичність для риби. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Сер. Біологія*, 2016. № 3–4 (67). с. 107–119.
13. Grygoriy Kolomytsev, Dariia Shyriaieva, Olexiy Vasyliuk. The impact of fires in the zone of antiterrorist operation in Ukraine: assessment using RS and GIS data // *Materiały konferencyjne GIS DZIŚ* (Kraków, 17 — 18 listopada 2014). Krakow 2014, P.42-43
14. Окупанти знищують унікальний заповідник під Херсоном: фото путінського злочину. URL: <https://www.rbc.ua/ukr/styler/okkupanty-unichtozhayut-unikalnyy-zapovednik-1652295165.html>
15. Процько Я.І. Вплив нафти та нафтопродуктів на ґрунтовий покрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, № 2. 2010. с. 25-37.
16. Superagronom.com. Еродованість ґрунтів України. - URL: <https://superagronom.com/karty/erodovanist-gruntiv-ukrainy>
17. Блага А.Б., Загороднюк І.В., Короткий Т. Р. та інші. На межі виживання: знищення довкілля під час збройного конфлікту на сході України. Київ, Кит, 2017.- 88 с
18. Mitigating the Environmental Impacts of Explosive Ordnance and Land Release. Mine action review policy brief no.1 2021. – 28 с
19. Держекоінспекції Сумської області URL: <http://deisumy.gov.ua>.
20. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні 2021 року - Міністерство екології та природних ресурсів України

URL: <https://menr.gov.ua/docs/natsionalna-dopovid-pro-stand-navkolyshnogoprirodnogo-seredovishcha-v-ukraini-za-2021-rik>.

21. Сімонов Є.О. Про екологічні наслідки війни. Робоча група з екологічних наслідків війни в Україні. UWEC випуск 2. Українською – 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/362230122_Zurnal_pro_ekologicni_nasli_dki_vijni_Ukraine_War_Environmental_Consequences_Work_Group_UWEC_Vi_pusk_2_Ukrainskou .

22. Василюк О. В., Ширяєва Д. В. Пожежі в зоні АТО як фактор впливу на біорізноманіття. Тези доповідей Конференції молодих дослідників зоологів (м. Київ, Інститут зоології НАН України, 14 листопада 2014 р.

23. Галета В. Олексій Василюк: Загалом через пожежі втрачено 25 відсотків заповідних територій Донбасу. *Пожежна і техногенна безпека*, № 5, 2015. .

24. Vasyliuk O.V., Nekrasova O.D., Shyriaieva D.V., Kolomytsev G.O. A review of major impact factors of hostilities influencing biodiversity in the eastern Ukraine (modeled on selected animal species) // *Vestnik zoologii*, 49(2). — 2015. 145— 158 С.

25. Воєнні дії на сході України – цивілізаційні виклики людству. Львів: ЕПЛ, 2015. 136 с.

26. Василюк О., Колодежна В. Якою має бути доля пошкоджених вибухами українських територій? URL: <https://uncg.org.ua/iakoju-maie-buty-dolia-poshkodzhenykh-vybukhamy-ukrainskykh-terytorij>

27. Посібник для України «Вибухові боєприпаси», GICHD, 2022. 220 с. URL: https://www.gichd.org/fileadmin/AMAT/_uploads/GICHD_Ukraine_Guide_2022_Second_Edition_in_Ukrainian.pdf

28. Герасименко О. І., Герасименко К. О., Антонов А. Г. Судова медицина. Київ КНТ, 2016. Видання третє. URL: <https://jurkniga.ua/contents/sudova-medicina-pidruchnik-dlya-vnz.pdf?srsltid=AfmBOoqOdheVBu7Y6fvPAT0FH0tYmLzxBvOqOPCHC95lr6srzUcMYrju>

29. Українська природоохоронна група: Якою має бути доля пошкоджених вибухами українських територій?. URL: <https://uncg.org.ua/>
30. Сидоришина Ю.Г., Калінін І.В. Негативний вплив військових дій на Екологічний стан нашої планети: матеріали науково-практичної конференції "Екологічні наслідки військових дій" м. Київ, 17-18 квітня 2018 р. Київ: Національний Педагогічний Університет ім. М.П. Драгоманова 2018. URL:
31. Волошин О.Г., Волоштан Н.О. Еколого-Епідемічні наслідки воєнних дій: матеріали науково-практичної конференції "Екологічні наслідки військових дій" м. Київ, 17-18 квітня 2018 р. Київ: Національний Педагогічний Університет ім. М.П. Драгоманова 2018. URL:
32. Паньків З.П. Земельні ресурси: Навчальний посібник. Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008.
33. Паньків З.П., Наконечний Ю.І. Земельні ресурси. Практикум: навчальний посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 194с.
34. Личман В. Лазебна О.М. Вплив військових дій на природу та формування Белігеративних ландшафтів: матеріали науково-практичної конференції "Екологічні наслідки військових дій" м. Київ, 17-18 квітня 2018 р. Київ: Національний Педагогічний Університет ім. М.П. Драгоманова 2018.
- 35.** Пошкоджена земля: як відновити родючість ґрунту після бомбардувань та пожеж? (28.07.2022). URL: <https://www.agrilab.ua/poshkodzhena-zemlya-yak-vidnovyty-rodyuchist-gruntu-pislya-bombarduvan-ta-pozhezh>
36. Луньова О.В. Розвиток наукових основ управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств центрального району Донбасу: матеріал консорціуму зменшення ризиків м. Київ. Київ 2021.
37. Порядок консервації земель від 19.01.2022 р. № 35. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/35-2022-%D0%BF#Text>
38. Земельний кодекс України від 25 жовт. 2001 р. № 2769-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>

39. Klotzbücher T., Leuther F., Marxen A., Vetterlein D., Horgan F.G., Jahn R. Forms and fluxes of potential plantavailable silicon in irrigated low land rice production (Laguna, the Philippines). *Plant and Soil*. 2015. Vol. 393. Issue 1–2. P. 187–191.
40. Заіменко Н. В. Впровадження новітньої технології хімічної та фітомеліорації кислих та засолених ґрунтів. *Nauka innovation*, 2016.
41. Пошкоджена земля: як відновити родючість ґрунту після бомбардувань та пожеж?
42. Самосват І. «Шанс на порятунок існує». Як війна на сході впливає на ґрунти та що з цим робити. URL: <https://shotam.info/terytoriia-donbasu-mozhe-peretvorytysia-na-pusteliu-yak-viyna-na-skhodi-vplyvaie-na-grunty-tashcho-z-tsym-robyty>
43. Dragišić Maksimović J., Zang J., Zeng F. H., Živanović B. D., Shabala L., Zhou M., Shabala S. Linking oxidative and salinity stress tolerance in barley: can root antioxidant enzyme activity be used as a measure of stress tolerance. *Plant and Soil*. 2013. Vol. 365, Issue 1–2. P. 141–155.
44. Руденко І., Тронь О. Поля у вогні. Експерти розповіли, як впливає війна на родючість українських земель. URL: <https://suspilne.media/307620-pola-u-vogni-eksperti-rozpovili-ak-vplivae-vijna-na-roducist-ukrainskih-zemel>
45. Гевко Р. Б., Долженчук В. І., Брошак І. С., Дзядикевич Ю. В., Гевко Б. Р. Спосіб очищення ґрунтів від радіонуклідів, важких металів і пестицидів: пат. 112025 UA. опубл. 25.11.2016, Бюл. № 22.
46. Арімов Е. А. Природні мінеральні сорбенти, їх активація та модифікація. Ташкент: Фин., 1970. 254 с.
47. Туфи Рівненщини та їх використання в сільськогосподарському виробництві області. Інформаційний листок. Рівне : Рівненський державний центр науково-технічної та економічної інформації. 2002. № 07. 5 с.
48. Фіторемедіаційний спосіб очищення ґрунтів від важких металів : пат. на корисну модель 76416 UA. / О. П. Корж, І. Г. Савченко, Н. О. Гура ; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.

49. Білик Т. І., Штика О. С., Авдєєва А. О., Падалка А. О. Біодоступність забруднюючих речовин у водному та ґрунтовому середовищах. *Вісник Національного авіаційного університету*, 2008. № 2 (35). С. 78–80.
50. Самохвалова В. Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. Біологічні студії. 2014. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bist_2014_8_1_21
51. Кондуктометричний біосенсор для визначення концентрації іонів важких металів у водних розчинах: пат. 25456 UA. / О. О. Солдаткін, С. В. Дзядевич, О. П. Солдаткін, Г. В. Єльська ; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.
52. Агроекологічний препарат «біокольчуга»: пат. 26085 UA. / С. М. Абрамов, В. І. Сопельник ; опубл. 10.09.2007, Бюл. № 14.
53. Спосіб управління міграцією біоелементів у системі «ґрунт – корми – організм курей-несучок – людина»: пат. 56958 UA. / Л. Г. Засипка, Л. О. Тарасенко, І. В. Макаріхіна, П. С. Ніков, М. П. Любчак, Л. В. Степанова, В. В. Бабієнко ; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2.
54. Шаміна Т. Про еколого-геохімічний стан українських ґрунтів зон впливів воєнної діяльності та перспективи їхнього відновлення. URL: <https://uncg.org.ua/dotsilnyj-ta-najprostishyj-shliakh-dlia-vidnovlenniazabrudnenykh-bojovymy-diiamy-terytorij-peredacha-ikh-dopr-yrodno-zapovidnoho-fondu-fakhivchynia-v-haluziheokhimii-landshaftiv-anastasiia-splodytel>
55. В Україні планують запровадити «червоні зони» для відродження ґрунтів, постраждалих внаслідок війни. URL: <https://superagronom.com/news/16385--v-ukrayini-planuyut-zaprovaditi-chervoni-zoni-dlya-vidrojdennya-gruntivpostrajdalih-vnaslidok-viyni>
56. Петрович О. З. Полезахисні лісосмуги в контексті впровадження концепції екосистемних послуг. Екосистеми, їх оптимізація та охорона. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21

REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21
P03=FILA=&2_S21STR=ecooo_2014_11_6

57. Beale completes soil restoration project. URL:
<https://www.beale.af.mil/News/ArticleDisplay/Article/667254/beale-completes-soil-restoration-project>.

58. Restoration Efforts on US Military Sites. URL:
<https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/58961/3.2.Petersen.pdf?sequence=1&isAllowed=y> .

59. How Much Does it Cost for Site Remediation? URL:
<https://www.inogenalliance.com/blog-post/how-much-does-it-cost-site-remediation>

60. Environmental, health and socio-economic impacts of soil pollution. URL:
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fe5df8d6-6b19-4def-bdc6-62886d824574/content/src/html/chapter-04-4.html>

61. Ткачук А.І, Богомаз-Назарова С.М. Основи охорони праці: навч. посіб. Кропивницький: ПП "Центр оперативної поліграфії "Авангард".2017.

62. Голінько В.І Основи Охорони праці : підручник. Дніпро, Національний Гірничий Університет 2014. 55с. 20. Ткачук А.І, Богомаз-Назарова С.М. Основи охорони праці: навч. посіб. Кропивницький: ПП "Центр оперативної поліграфії "Авангард". – 2017.