

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



Чорноморський національний університет
імені Петра Могили

Кафедра управління земельними ресурсами

ГЕРМАН АНДРІЙ ЮРІЙОВИЧ

«Деградація земель в районах в зоні військових дій та
головні напрямки їх відновлення»

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти другого (магістерського) рівня
галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»
за освітньо-професійною програмою «Землеустрій та кадастр»

Науковий керівник:
Чорний С.Г., д-р с.-г. наук, професор

Рецензент:
ФОП Селін В.Г.

Миколаїв - 2024

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ВІЙСЬКОВІ ДІЇ ТА СТАН ЗЕМЕЛЬ.....	7
1.1. Деградація земель під час війн ХХ сторіччя.....	7
1.2. Засоби відновлення земель.....	19
1.2.1. Рекультивація.....	19
1.2.2. Меліорація.....	21
1.2.3. Ремедіація.....	26
1.2.4. Агролісомеліорація.....	28
1.2.5. Інженерно-технічні заходи.....	31
РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ НА СТАН ЗЕМЕЛЬ.....	34
2.1. Механічна та фізична деградація ґрунтів.....	36
2.2. Хімічна, фізико-хімічна та пірогенна деградація ґрунтів.....	43
2.2.1. Хімічна.....	43
2.2.2. Фізико-хімічна.....	47
2.2.3. Пірогенна деградація ґрунтів.....	50
2.3. Біологічна деградація ґрунтів.....	53
2.4. Деградація лісосмуг і вітро-ерозійна небезпека території.....	57
РОЗДІЛ 3. ГОЛОВНІ НАПРЯМКИ ВІДНОВЛЕННЯ ЗЕМЕЛЬ, ЯКІ ПОСТРАЖДАЛИ В РЕЗУЛЬТАТІ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ.....	63
3.1. Оптимізація структури земельних угідь, посівних площ.....	63
3.2. Рекультивація земель.....	69
3.4. Ренатуралізація земель.....	76
3.5. Відновлення забруднених земель.....	80
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ В ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ	
4.1. Нормативно-правова база охорони праці.....	88
4.2. Особливості організації охорони праці під час відновлювальних робіт на землях.....	94

ВИСНОВКИ.....	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	99

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Таблиця – табл.

Агроекологічні групи – АЕГЗ

Тротил – TNT

Гексоген – RDX

Октоген – HMX

Поліароматичні вуглеводні – ПАВ

Поліхлоровані біфеніли – ПХБ

Гранично допустима концентрація – ГДК

Колоїдний комплекс ґрунту – ККГ

Кодекс законів про працю України – КЗпП

ВСТУП

Актуальність дослідження. Військові конфлікти створюють значні екологічні та соціально-економічні проблеми, особливо відчутні в галузі землекористування. Руйнування природних ландшафтів, забруднення ґрунтів і деградація земель стають критичними наслідками, які суттєво впливають на екологічну стійкість та продуктивність ґрунтів. Зокрема, російсько-українська війна призвела до масштабного порушення земельного покриву, що вимагає особливої уваги та розробки ефективних методів відновлення. Актуальність теми підкріплюється необхідністю відновлення земельного потенціалу для забезпечення стійкого розвитку сільськогосподарського сектору та екологічної стабільності в Україні.

Мета дослідження. Метою роботи є дослідження впливу військових дій на деградацію земель в Україні та визначення основних напрямків їх відновлення, що забезпечить екологічну та економічну стійкість сільськогосподарських угідь.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати основні види деградації ґрунтів, спричинені військовими діями, зокрема, у контексті російсько-української війни.
2. Вивчити історичні приклади деградації земель під час конфліктів ХХ століття для визначення порівняльних даних.
3. Дослідити методи відновлення, що застосовувалися раніше, та оцінити їхню ефективність.
4. Розробити рекомендації щодо рекультивації, ренатуралізації та оптимізації структури постраждалих територій.
5. Визначити оптимальні підходи до відновлення хімічно і біологічно забруднених земель.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є земельні ресурси в зонах військових дій, які зазнали фізичних, хімічних та біологічних пошкоджень унаслідок конфлікту.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є процеси деградації земельних ресурсів під впливом військових дій та методи їх екологічного і функціонального відновлення.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використано системний аналіз, що дозволяє вивчити взаємозв'язок між типами деградації та специфікою ґрунтів. Застосовано методи порівняльного аналізу для оцінки наслідків деградації, а також монографічний метод для дослідження попередніх прикладів відновлення земель, постраждалих від військових дій.

Наукова новизна. У Комплексному підході Було проведено комплексне дослідження впливу російсько-українського конфлікту на деградацію ґрунтів що охоплює механічну, хімічну та біологічну деградацію та розроблено рекомендації щодо відновлення земель, які адаптовані до сучасних українських реалій та екологічних стандартів.

Практичне значення. Результати дослідження можуть бути використані органами державної влади, екологічними організаціями та аграрними підприємствами для розробки заходів з відновлення земель. Це сприятиме відновленню земельного фонду України, забезпеченню стійкого розвитку аграрного сектору та зниженню ризиків екологічних криз у майбутньому.

Особистий внесок. Наукові положення, висновки і рекомендації, що виносяться на захист, є самостійною науковою пропозицією, в якій викладено авторські розробки щодо розвитку та узагальнення теоретико-методичних основ щодо обґрунтування відновлення земель, які постраждали внаслідок військових дій, на основі європейського досвіду. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в роботі використані лише ті ідеї та розробки, які отримано автором особисто.

Обсяг та структура кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 109 сторінок, з них 90 сторінки – основного тексту. Список використаних джерел нараховує 80 найменування.

РОЗДІЛ 1. ВІЙСЬКОВІ ДІЇ ТА СТАН ЗЕМЕЛЬ

1.1. Деградація земель під час війн ХХ сторіччя

Аналізуючи глобальний досвід впливу військових конфліктів на стан земель, доцільно звернутися до історичних прикладів, які ілюструють екологічні наслідки воєн ХХ століття. У першому розділі буде розглянуто теоретичні аспекти деградації земель під час бойових дій, що дозволить краще зрозуміти масштаби та характер цих проблем.

Початок ХХ століття став епохою стрімких технологічних змін та загострення міжнародних конфліктів. Перша світова війна, що спалахнула в 1914 році, та Друга світова війна, яка розпочалася у 1939 році, не лише двічі перекроїли політичну карту світу, але й кардинально змінили методи ведення бойових дій. Нові військові технології – кулемети, потужна артилерія та хімічна зброя у Першій світовій, а також танки, авіація та ядерна зброя у Другій – перетворили ці конфлікти на найкривавіші в історії людства на той час, встановлюючи нові, трагічні рекорди жертв та руйнувань.

Але не лише людство постраждало від цього руйнівного конфлікту. Земля, яка віками годувала нас, теж зазнала нищівного удару. Там, де колись колосилися поля, залишилися лише вирви від бомб та отруєний ґрунт. Ліси, що давали прихисток тисячам видів, перетворилися на пустки. Річки та озера, колись повні життя, стали мертвими від хімікатів та паливних розливів.

Дослідження показують, що забруднення ґрунтів важкими металами, токсичними сполуками та іншими небезпечними речовинами створило довготривалі екологічні проблеми[1, с. 7]. Особливо помітними стали наслідки двох світових війн, які перетворили родючі землі Європи на непридатні для використання території.

Ґрунти Європи постраждали від Першої світової війни, особливо коли йшлося про забруднення важкими металами, які в деяких випадках були небезпечними отрутами, такими як гірчичний газ[2]. Однак слід уточнити, що рівень забруднення базувався на кількості артилерії, випущеної в різних районах[1]. Дослідження, проведені в різних частинах Європи, надають вражаючі

докази цього забруднення. Наприклад, група дослідників на чолі з Мейрвенне провела детальне вивчення ґрунтів навколо Іпра, місця трьох великих битв (1914, 1915 та 1917 років)[1, с. 7]. Результати показали значне підвищення концентрації міді та свинцю в ґрунті. Якщо фоновий рівень міді в землі зазвичай становить 17 мг/кг, то третина досліджених зразків перевищувала цей поріг, а 1,2% зразків мали концентрацію міді понад 200 мг/кг.

Важливо відзначити, що рівень забруднення суттєво відрізнявся залежно від місця. У зонах бойових дій спостерігалася підвищена частота зразків з концентрацією міді від 10 до 60 мг/кг[1, с. 7]. Території за межами зони бойових дій мали менше зразків з високим вмістом міді, але деякі ділянки все ж показували підвищені рівні. Ці дані підкреслюють локальний характер забруднення та його тісний зв'язок з інтенсивністю бойових дій.

Найбільш гострою проблема забруднення ґрунтів стала у Франції, де уряд визначив так звану "Zone Rouge" у Франції. Ця територія, охоплювала понад 1200 квадратних кілометрів що простягалася від Лілля на півночі Франції до південного заходу від Нансі, була оголошена непридатною для проживання через сильне забруднення ґрунту та наявність нерозірваних боєприпасів [3]. На цих територіях проводяться роботи з розмінування територій та відновлення природного балансу.

Червона зона. Під час Першої світової війни територія навколо Вердена стала ареною одного з найкривавіших боїв в історії, що тривала 303 дні і забрала життя близько 300 000 солдатів[4]. Ця територія отримала назву "Червона зона" через величезну кількість боєприпасів, які залишилися в землі, і їх впливу на землю, що була забруднена важкими металами, такими як свинець і миш'як, у концентраціях, що перевищують норму в десятки разів.

Військові дії призвели до безпрецедентного руйнування сільськогосподарських угідь. Після першої світової у Франції було сплюндровано 7% території [5] країни, постраждало понад 3,337 мільйона гектарів[5] у 10 департаментах, де 4 тисячі муніципалітетів були повністю або частково спустошені.

У 1919 році французький уряд запровадив систему класифікації постраждалих територій, створивши "Zone Rouge" (Червону зону). Спочатку ця зона охоплювала територію 1200 км². В результаті застосування різноманітних видів озброєння, земля була забруднена важкими металами, такими як свинець і миш'як, у концентраціях, що перевищують норму в десятки разів. Ґрунт тут кислий і забруднений настільки, що, як повідомляється, там можуть рости лише три види рослин [6].

Землі були класифіковані за рівнями забруднення[5]:

- Червоні зони - це зони, що відповідають лінії фронту армій, де було зосереджено основну шкоду. Ґрунти тут найбільш забруднені, а автомобільна, залізнична та промислова інфраструктура, а також мости, порти та канали, загалом повністю зруйновані.
- Жовті зони – це райони, які на короткий час постраждали від бойових дій.
- Зелені зони – це зони, які характеризуються середнім рівнем шкоди. Тут розташовувалися або розміщувалися армії, склади боєприпасів і техніки.
- Сині зони – це зони, які не були зруйновані.

У ґрунтах червоних зон виявлено критичні рівні забруднення (табл1.1):

Таблиця 1.1
Забруднення ґрунтів червоної зони

Елемент	Перевищення норми
Миш'як	у 300 разів
Свинець	критичний рівень
Ртуть	значне перевищення

Французька компанія Sécurité Civile, якій доручено їх вивезти, підрахувала, що за нинішніх темпів може знадобитися до 700 років, щоб повністю очистити територію Франції від усіх залишків снарядів і гранат часів Першої світової

війни[7]. Щороку в зоні продовжують знаходити та знешкоджувати кілька тонн снарядів, що не розірвалися. На полі битви під Верденом навіть через 85 років після закінчення війни все ще видно воронки від артилерійських снарядів[8].

Після закінчення війни французький уряд вживав заходів для очистки території. Уряд Франції зіткнувся з серйозною проблемою відновлення цих земель, оскільки багато територій були забруднені залишками боєприпасів і були вражені ерозією.

Відновлення цих «червоних зон» вимагало значних зусиль з боку держави та міжнародних організацій. Перш ніж розпочати агрономічні роботи, необхідно було провести детальний аналіз ґрунтів і видалити небезпечні залишки. Згодом, шляхом систематичного очищення, площу особливо ураженої зони вдалося зменшити до 100 км²[9]. Проте навіть через століття після війни обмеження в Червоній зоні продовжують діяти. Деякі ділянки повернули у використання для сільськогосподарської діяльності, але перша промислова ферма на очищеній території з'явилася лише у 1929 році[3]. За століття, що минуло з часу ПСВ, обмеження в Червоній зоні продовжують діяти, хоча її територія значно скоротилася.

Порушення ґрунту стало іншим значним наслідком війни. Широкомасштабне будівництво траншей на Західному фронті призвело до значних змін у структурі ґрунтового покриву. Копання траншей призвело до змішування ґрунтових горизонтів, що порушило природні процеси ґрунтоутворення (педогенез) та змінило фізичні та хімічні властивості ґрунту на великих територіях.

Окремою проблемою стало забруднення ґрунтів внаслідок використання хімічної зброї. Приблизно 5% усіх артилерійських снарядів містили хімічну зброю, переважно гірчичний газ. Дослідження Мейрвенне виявило підвищений вміст миш'яку в ґрунтах навколо полів битв, особливо на місцях спалювання боєприпасів[1]. Забруднення гірчичним газом створило довгострокові ризики для здоров'я людей та загрози ґрунтовим водам, які зберігаються "протягом багатьох десятиліть".

Наслідки застосування хімічної зброї. Застосування хімічної зброї у світових конфліктах XX століття мало катастрофічні наслідки як для людства, так і для навколишнього середовища. Під час Першої світової війни Німеччина ініціювала масштабне використання бойових отруйних речовин у військових цілях. Зокрема, у квітні 1915 року поблизу бельгійського міста Іпр німецькі війська вперше здійснили першу масову газову атаку з використанням хлору, спричинивши загибель близько 1 100 солдатів союзників.

Подальший розвиток хімічної зброї включав розробку більш токсичних сполук, таких як фосген та іприт. Фосген був відповідальним за 85% смертей від хімічної зброї під час Першої світової війни[10]. Хімічні атаки стали важливим елементом німецької військової стратегії, викликаючи паніку серед ворожих солдатів та ускладнюючи оборонні операції противника. Загалом, хімічна зброя (використана всіма сторонами, не лише Німеччиною) спричинила близько 1,3 мільйона поранених, включаючи 100 000 вбитих[11]. Проте використання хімічної зброї мало неоднозначні наслідки, часто впливаючи і на власні війська через зміну напрямку вітру, а також викликало міжнародний осуд. Після Першої світової війни міжнародні зусилля з регулювання та заборони хімічної зброї досягли кульмінації у Женевському протоколі 1925 року [12]. Однак, під час Другої світової війни, незважаючи на ці обмеження, хімічні речовини продовжували розроблятися, накопичуватися і готуватися до потенційного використання. Хоча технології хімічної війни значно прогресували, фактичне застосування було помітно обмеженим порівняно з Першою світовою війною[13]. Зокрема, японські війська активно використовували хімічну зброю проти своїх азійських противників, зокрема, проти військ Гоміндану та китайських комуністичних сил [14]. Це призвело до утворення довготривалих осередків забруднення ґрунтів токсичними сполуками, які мали серйозні наслідки для навколишнього середовища.

В'єтнам та екоцид. Однак, справжній масштаб екологічних наслідків військового використання хімічних речовин став очевидним під час війни у В'єтнамі (1959-1975). Цей конфлікт став першим в історії, де екоцид - навмисне

руйнування природного середовища - був використаний як систематичний метод ведення бойових дій [15].

На відміну від обмеженого використання хімічної зброї проти людей у Другій світовій війні, у В'єтнамі хімічні речовини були спрямовані на знищення рослинності та екосистем з метою позбавлення противника укриття та ресурсів, що завдало непоправної шкоди природному середовищу регіону, наслідки якої відчуються й донині.

Густі тропічні ліси у В'єтнамі забезпечували ідеальні умови для укриття партизан, стали головною перешкодою для американських військ. Не маючи досвіду ведення бойових дій у таких умовах, США вдалися до радикальних заходів. Між 1961 і 1971 роками збройні сили США розгорнули масштабну кампанію з використання хімічних речовин[16]. Метою було позбавити супротивника природних укриттів та ресурсів. Найвідомішою з цих речовин став "Агент Оранж", який являв собою потужну суміш дефоліантів та гербіцидів. Літаки розпилювали цю речовину над джунглями та сільськогосподарськими угіддями, знищуючи рослинність та забруднюючи ґрунти. Масштаби цієї екологічної війни вражають: понад 45 мільйонів літрів хімікатів було розпорошено над В'єтнамом [17]. Ця тактика мала подвійну мету: покращити видимість для виявлення противника та підірвати продовольчу базу в'єтнамців, знищуючи посіви рису та інші сільськогосподарські культури.

Наслідки цієї кампанії виявилися катастрофічними і довготривалими. За оцінками В'єтнамського Червоного Хреста, від 2,1 до 4,8 мільйона в'єтнамців зазнали впливу "Агента Оранж"[18]. Наприкінці війни майже чверть усієї країни постраждала від кампанії дефоліації. У підсумку В'єтнам постраждав від застосування хімічної зброї більше за будь-яку іншу країну в світі.[19].

У кінці 1990-х канадські дослідники взяли проби ґрунту, води, і що мешкають в ній риб і качок, а також зразки людських тканин. Вони виявили, що в заражених областях концентрація діоксину в ґрунті перевищувала норму в 13 разів, а в жирових тканинах людського організму - в 20 разів[20]. Небезпечна кількість залишкового діоксину в землі перешкоджає нормальному росту

сільськогосподарських культур і дерев, продовжуючи отруювати харчовий ланцюг[21].

Природні захисні споруди В'єтнаму також були ослаблені. У частинах центрального та південного В'єтнаму, які вже були схильні до екологічної небезпеки, такої як часті тайфуни та повені в низинних районах, а також посухи та нестача води у високогір'ї та дельті Меконгу, обприскування гербіцидами призвело до втрати поживних речовин у ґрунті[22].

Майже 50 відсотків мангрових чагарників країни, які захищають берегові лінії від тайфунів і цунамі, були знищені[23].

Це, в свою чергу, спричинило ерозію [24], поставивши під загрозу ліси [25] у 28 річкових басейнах. Як наслідок, на численних вододільних ділянках посилювалися підтоплення.

Основні наслідки екологічної війни у В'єтнамі включали:

- Масове знищення тропічних лісів
- Понад 20% території Південного В'єтнаму було оброблено хімікатами
 - Близько 5 мільйонів акрів лісів було знищено, що призвело до втрати біорізноманіття
 - Зникли цілі екосистеми, включаючи унікальні види флори і фауни.

Війна у В'єтнамі стала трагічним прикладом того, як екологічна війна мала наслідки для природного середовища та населення країни. Масштабне застосування хімічних речовин призвело до знищення мангрових лісів (500 тис. Га), уражено 60% (близько 1 млн га) джунглів і 30% (понад 100 тис. Га) рівнинних лісів В'єтнаму, що спричинило втрату біорізноманіття та зникнення цілих екосистем[26]. Забруднення ґрунтів токсичними речовинами, створило довготривалі токсичні зони, де концентрація шкідливих речовин у 6-30 разів перевищувала допустимі норми. Порушення природних екосистем включало знищення мангрових лісів, що призвело до ерозії берегової лінії, зміни

гідрологічного режиму річок. Сільськогосподарські землі зазнали значної деградації, що вплинуло на економіку регіону.

Екологічна катастрофа, спричинена війною у В'єтнамі, стала жорстоким уроком для міжнародної спільноти щодо довготривалих наслідків військових дій на навколишнє середовище. Однак, незважаючи на цей досвід, подальші конфлікти продовжували завдавати значної шкоди екосистемам. Яскравим прикладом цього стали югославські війни 1990-х років, які, хоча й відрізнялися за масштабом та методами ведення бойових дій від в'єтнамського конфлікту, також призвели до серйозної деградації земель. У той час як у В'єтнамі основною причиною екологічних руйнувань було масове застосування хімічних речовин, у колишній Югославії деградація земель відбувалася внаслідок інтенсивних бойових дій, бомбардувань та загального ігнорування екологічних норм та відсутності ефективних природоохоронних заходів в умовах збройного конфлікту.

Югославські війни, що тривали з 1991 по 2001 рік, мали катастрофічні наслідки не лише для населення регіону, але й для навколишнього середовища. Особливо сильно постраждали земельні ресурси, які зазнали масштабної деградації внаслідок бойових дій, бомбардувань та загального нехтування екологічними нормами під час конфлікту.

Основні причини деградації земель.

Перше – це бомбардування та військові операції.

Найбільш очевидним і безпосереднім фактором деградації земель стали масштабні бомбардування та інтенсивні бойові дії. Особливо руйнівною була операція НАТО проти Федеративної Республіки Югославія в 1999 році. Протягом 78 днів авіація альянсу здійснила понад 34 000 бойових вильотів, під час яких було скинуто від 22 000 до 79 000 тонн боєприпасів[27]. Ці цифри вражають своїм масштабом, але за ними криється справжня екологічна катастрофа.

Кожна бомба, кожна ракета, що падала на землю Югославії, залишала після себе глибокі рани в ландшафті. Вибухи утворювали величезні воронки, які не лише спотворювали природний рельєф, але й знищували верхній родючий шар ґрунту. Цей шар, який формується протягом сотень і тисяч років, є основою для

життя рослин і всієї екосистеми. Його втрата означає довготривале порушення природного балансу та значне зниження родючості земель.

Крім того, вибухи боєприпасів призводили до забруднення ґрунтів важкими металами та іншими токсичними речовинами. Ці забруднювачі не лише отруювали землю, але й проникали в ґрунтові води, поширюючи свій згубний вплив на великі території. Особливу небезпеку становило використання боєприпасів зі збідненим ураном, які залишали після себе радіоактивне забруднення, наслідки якого будуть відчуватися протягом багатьох років.

Бойові дії також призводили до руйнування природних ландшафтів та екосистем. Ліси, які є легенями планети та домівкою для багатьох видів тварин і рослин, страждали від пожеж, викликаних бомбардуваннями. Знищення рослинного покриву призводило до ерозії ґрунтів, порушення водного балансу та зміни мікроклімату цілих регіонів.

Друге - руйнування промислових об'єктів.

Іншим важливим фактором деградації земель стало цілеспрямоване руйнування промислових об'єктів. Стратегія НАТО передбачала знищення економічного потенціалу Югославії, і це призвело до атак на численні заводи, фабрики та енергетичні установки. За час конфлікту було пошкоджено або повністю знищено 78 промислових об'єктів та 42 енергетичні установи[28]. Особливо небезпечними були атаки на хімічні та нафтохімічні підприємства, яких постраждало понад 20.

Вибухи та пожежі на хімічних заводах призводили до викиду в атмосферу токсичних речовин, які потім осідали на землю, забруднюючи ґрунти та водойми. Особливо небезпечними були діоксини – надзвичайно токсичні сполуки, які утворювалися при горінні хлорвмісних речовин. Ці сполуки здатні зберігатися в навколишньому середовищі протягом десятиліть, накопичуючись у харчових ланцюгах та спричиняючи серйозні проблеми зі здоров'ям у людей та тварин.

Атаки на нафтопереробні заводи та сховища нафтопродуктів призводили до масштабних розливів нафти. Нафта, потрапляючи в ґрунт, утворювала плівку, яка перешкождала нормальному газообміну та водному режиму ґрунту. Це

призводило до загибелі ґрунтових організмів та рослин, порушення природних процесів самоочищення ґрунту.

Особливою була ситуація в промисловому комплексі Панчево, передмісті Белграда. Бомбардування цього об'єкту призвело до викиду в навколишнє середовище величезної кількості токсичних речовин, включаючи 1400 тонн етилендихлориду, 800 тонн 33% розчину соляної кислоти, 3000 тонн натрового луґу та невизначену кількість ртуті. Ці речовини потрапили в ґрунт та воду, створюючи довготривалу загрозу для екосистем та здоров'я людей[28].

Наслідки деградації земель внаслідок Югославських війн були багатогранними та довготривалими. Вони вплинули не лише на екологічний стан регіону, але й на здоров'я населення, економіку та соціальну структуру суспільства. Розглянемо детальніше основні аспекти цих наслідків.

Одним з найсерйозніших наслідків війни стало масштабне забруднення ґрунтів. Бойові дії та руйнування промислових об'єктів призвели до потрапляння в ґрунт величезної кількості токсичних речовин. Особливо небезпечним стало забруднення важкими металами, такими як свинець, мідь та кадмій. Поблизу кордону Румунії та Югославії, в районі, прилеглому до зони конфлікту, концентрація важких металів у ґрунті в 50 разів вища за норму[28].

Забруднення ґрунтів нафтопродуктами та хімічними речовинами було особливо інтенсивним у районах атакованих промислових об'єктів. Нафта та нафтопродукти, потрапляючи в ґрунт, утворювали плівку, яка перешкоджала нормальному газообміну та водному режиму. Це призводило до загибелі ґрунтових організмів, порушення процесів самоочищення ґрунту та деградації рослинного покриву.

Особливу небезпеку становило радіоактивне забруднення, спричинене використанням боєприпасів зі збідненим ураном. Офіційні особи НАТО підтвердили 5 випадків використання боєприпасів зі збідненим ураном (U238) 6 під час операцій в Югославії[29]. Через високу щільність у бронебійних снарядах, зокрема 30-мм протитанкових снарядах, якими стріляють штурмові літаки А-10 Thunderbolt – кожен снаряд містить 275 г збідненого урану[30]. Згідно з

офіційною інформацією, було використано близько 31 000 боєголовок, при цьому загальне навантаження припадає на 10 тонн збідненого урану[31]. При згорянні урану при високотемпературних вибухах виділяються дрібнодисперсні частинки оксиду урану. Оксид урану серйозно вражає органи дихання людей в радіусі 300 м після вибуху, викликаючи важкі опіки слизової тканини і, як наслідок, злякисні пухлини. Крім радіоактивної дії, уран є високотоксичним елементом і потужним канцерогеном і мутагеном. Частинки оксиду урану діаметром від 0,5 до 5 мкм, які утворюються після вибуху снаряда, разносяться вітрами і осідають на ґрунтах і рослинності. Ці частинки, якщо вони потрапляють в організм людей або тварин у забрудненій їжі або воді, можуть завдати шкоди здоров'ю, включаючи руйнування хромосом і важкі репродуктивні розлади. Витягти з навколишнього середовища частинки збідненого урану або нейтралізувати їх неможливо. Біологічне накопичення урану може завдати незворотної шкоди здоров'ю населення постраждалих районів. Збіднений уран, ймовірно, є однією з причин так званого «синдрому Перської затоки», від якого постраждали багато колишніх американських і британських військовослужбовців, які брали участь у бойових діях в Перській затоці в 1991 році[32]. Близько 3000 людей померли від раку, і багато з тих, хто вижив, мають дітей з вродженими дефектами. Аналогічні ефекти спостерігалися і в Боснії і Герцеговині, з різким збільшенням вроджених дефектів, лейкемії та інших видів раку у дітей в цьому районі. Такі ж проблеми спостерігаються і в, де в 1995 році використовувалися снаряди зі збідненим ураном.

Пошкодження верхнього шару ґрунту внаслідок бомбардувань та бойових дій призвело до значного зниження його родючості. Кожен вибух бомби створював воронку, яка могла досягати 50 квадратних метрів площею та 4 метрів глибиною[33]. У цих воронках повністю знищувався родючий шар ґрунту, який формується протягом сотень і навіть тисяч років. Відновлення цього шару – надзвичайно тривалий процес, який може зайняти століття.

Забруднення токсичними речовинами зробило значні площі непридатними для сільського господарства. Хімічні речовини, важкі метали та радіоактивні

частинки, накопичуючись у ґрунті, порушували його природний баланс, знищували корисні мікроорганізми та перешкоджали нормальному росту рослин. Це призвело до зниження врожайності сільськогосподарських культур та погіршення якості продукції.

Крім того, знищення рослинного покриву внаслідок бойових дій та пожеж призвело до посилення ерозії ґрунтів. Без захисного шару рослинності ґрунт став вразливим до вітрової та водної ерозії. Це призвело до втрати верхнього родючого шару на великих територіях, особливо в гірських та передгірних районах.

Військові дії завдали серйозної шкоди природним екосистемам регіону. Не менше 13 національних парків та заповідників постраждали від бомбардувань та інших військових операцій. Ці території, які є осередками біорізноманіття та відіграють ключову роль у підтримці екологічного балансу регіону, зазнали значних пошкоджень.

Знищення лісів, які є домівкою для багатьох видів рослин і тварин, призвело до порушення природних місць проживання та міграційних шляхів диких тварин. Це, в свою чергу, вплинуло на популяції багатьох видів, деякі з яких опинилися під загрозою зникнення.

Забруднення водойм, спричинене військовими діями та руйнуванням промислових об'єктів, мало катастрофічні наслідки для водних екосистем. Витоки нафтопродуктів, хімічних речовин та важких металів призвели до загибелі риби та інших водних організмів, порушення харчових ланцюгів та деградації прибережних екосистем.

Особливо серйозною проблемою стало забруднення річки Дунай, яка є однією з найважливіших водних артерій Європи. Викиди токсичних речовин з пошкоджених промислових об'єктів у Югославії призвели до забруднення води на сотні кілометрів вниз за течією, впливаючи на екосистеми та населення інших країн[28]. Деградація земель внаслідок Югославських війн мала довгострокові наслідки, які відчуються і досі, через десятиліття після завершення конфлікту.

1.2. Засоби відновлення земель

Відновлення земель – це комплекс заходів, спрямованих на повернення порушеним територіям їх колишньої продуктивності, а в деяких випадках – надання їм нових корисних властивостей. Цей процес включає різноманітні методи та підходи, від технічної рекультивації до природного відновлення екосистем.

Особливої уваги заслуговує той факт, що відновлення деградованих земель не лише підвищує їх сільськогосподарську цінність, але й сприяє збереженню біорізноманіття, покращенню якості повітря та води, а також допомагає у боротьбі зі змінами клімату.

1.2.1. Рекультивація

Рекультивація земель - це комплекс організаційних, технічних і біотехнологічних заходів, спрямованих на відновлення ґрунтового покриву, поліпшення стану та продуктивності порушених земель. Головна мета рекультивації полягає у відновленні екологічних функцій ландшафту, створенні сприятливих умов для життя людей та розвитку флори і фауни[34].

Концепція рекультивації земель почала формуватися у середині ХХ століття, коли масштаби промислового та сільськогосподарського впливу на навколишнє середовище досягли критичних рівнів. У 1950-60-х роках у багатьох країнах світу, включаючи СРСР, США та країни Західної Європи, почали розробляти та впроваджувати перші програми з відновлення порушених земель.

Рекультивація є одним з найважливіших засобів відновлення порушених земель, що представляє собою комплекс робіт, спрямованих на відновлення продуктивності та господарської цінності порушених земель.

Процес рекультивації складається з двох основних етапів: технічного та біологічного[35].

Технічний етап починається з детального обстеження порушеної території. Проводяться геодезичні зйомки, аналізуються фізико-хімічні властивості ґрунтів та підстилаючих порід, вивчається гідрологічний режим території. На основі отриманих даних розробляється проект рекультивації.

Важливим аспектом технічного етапу є селективне зняття та складування родючого шару ґрунту. Цей процес вимагає особливої уваги, оскільки саме збереження родючого шару визначає успішність подальшого відновлення земель. Родючий шар знімається окремо від підстиляючих порід і зберігається в спеціально відведених місцях, де забезпечується його захист від ерозії та забруднення.

Планування поверхні є одним з найбільш трудомістких процесів технічного етапу. При цьому враховується майбутнє призначення території. Для сільськогосподарського використання створюється рівна поверхня з невеликими ухилами для забезпечення поверхневого стоку. При лісогосподарському напрямку допускається створення більш різноманітного рельєфу.

Біологічний етап спрямований на відновлення родючості ґрунтів та створення стійких рослинних угруповань. Цей етап може тривати від 3 до 15 років, залежно від стану порушених земель та обраного напрямку рекультивації.

На початку біологічного етапу проводиться агрохімічне обстеження ґрунтів. Визначається вміст поживних речовин, кислотність, наявність токсичних елементів. На основі цих даних розробляється система удобрення та меліорації ґрунтів.

Важливим елементом біологічної рекультивації є підбір рослин. Для початкового закріплення поверхні використовуються багаторічні трави, здатні рости на бідних ґрунтах. Часто застосовується суміш бобових та злакових трав, що забезпечує як захист від ерозії, так і збагачення ґрунту азотом.

При сільськогосподарській рекультивації особлива увага приділяється відновленню родючості ґрунтів. Застосовується система сівозмін з включенням бобових культур, внесення підвищених доз органічних та мінеральних добрив. Важливим є контроль за фізичними властивостями ґрунту – структурою, щільністю, водопроникністю.

Лісогосподарська рекультивація вимагає створення сприятливих умов для росту деревних порід. Проводиться глибоке розпушування ґрунту, створюються

протиерозійні насадження. Підбір порід здійснюється з урахуванням їх стійкості до несприятливих умов порушених земель.

При водогосподарській рекультивації створюються водойми різного призначення. Особлива увага приділяється формуванню берегової лінії, створенню відповідного профілю дна, забезпеченню необхідної якості води.

1.2.2. Меліорація

Меліорація являє собою фундаментальний процес у сфері землекористування та сільського господарства, спрямований на докорінне поліпшення властивостей земель з метою підвищення їх родючості та продуктивності. Цей багатогранний процес охоплює різноманітні види впливу на ґрунт, кожен з яких характеризується своїми особливостями, методами та технологіями.

Гідротехнічна меліорація спрямована на регулювання водного режиму ґрунтів. В посушливих регіонах це може бути зрошення, а на перезволожених територіях - осушення. Важливим аспектом є правильний розрахунок водного балансу та створення відповідної інфраструктури. При зрошенні особлива увага приділяється якості поливної води та запобіганню вторинного засолення ґрунтів.

Зрошення застосовується в регіонах з недостатньою кількістю природних опадів для забезпечення оптимального водного режиму сільськогосподарських культур. Цей метод гідротехнічної меліорації базується на штучному доданні води до ґрунту для підтримки необхідного рівня вологості в кореневмісному шарі.

Існує кілька основних методів зрошення, кожен з яких має свої особливості та сфери застосування.

- Поверхнєве зрошення, яке включає полив по борознах, затопленням та по смугах, є найдавнішим методом. При поливі по борознах вода подається у прокладені між рядами рослин канавки, що дозволяє ефективно зволожувати ґрунт без надмірного перезволоження поверхні. Метод затоплення застосовується переважно для культур, які витримують тимчасове перебування під шаром води, наприклад, для рису. Полив по смугах передбачає розподіл води тонким шаром по довгих вузьких ділянках поля, що особливо ефективно на рівнинних територіях.

- Дощування є більш сучасним методом зрошення, який імітує природний дощ за допомогою спеціальних дощувальних машин та установок. Цей метод дозволяє рівномірно розподіляти воду по поверхні поля, контролювати інтенсивність поливу та адаптувати його до різних типів ґрунтів та культур. Існують різні типи дощувальних систем, включаючи кругові, фронтальні та барабанні, кожен з яких має свої переваги залежно від розміру та конфігурації поля, а також вирощуваних культур.

- Мікрозрошення, яке включає крапельне зрошення та мікродощування, є найбільш водоефективним методом. При крапельному зрошенні вода подається безпосередньо до кореневої системи рослин через спеціальні крапельниці, що дозволяє максимально ефективно використовувати водні ресурси та мінімізувати випаровування. Цей метод особливо ефективний для садівництва та виноградарства, а також при вирощуванні овочевих культур. Мікродощування використовує мініатюрні розпилувачі для локального зволоження, що дозволяє створити оптимальний мікроклімат навколо рослин.

- Внутрішньогрунтове зрошення є інноваційним методом, при якому вода подається через підземні трубопроводи безпосередньо в кореневмісний шар ґрунту. Цей метод дозволяє мінімізувати втрати води на випаровування та забезпечує оптимальне зволоження кореневої системи рослин.

Осушення є другим важливим напрямком гідротехнічної меліорації, який застосовується на перезволожених землях для створення оптимального водно-повітряного режиму ґрунту. Цей процес особливо актуальний у регіонах з надмірним зволоженням, де надлишок води в ґрунті перешкоджає нормальному розвитку сільськогосподарських культур та ускладнює обробіток земель.

Існує кілька основних методів осушення, кожен з яких має свої особливості та сфери застосування.

- Відкритий дренаж передбачає створення системи відкритих каналів для відведення надлишкової води. Ця система включає магістральні канали, бокові канали та збирачі-осушувачі. Відкритий дренаж є найпростішим методом

осушення, але він займає значну площу сільськогосподарських угідь та ускладнює механізовану обробку полів.

- Закритий дренаж є більш сучасним та ефективним методом осушення. Він передбачає укладання підземних дренажних труб для відведення води. Найчастіше використовуються пластикові перфоровані труби, хоча в деяких випадках все ще застосовується гончарний дренаж. Закритий дренаж дозволяє ефективно регулювати рівень ґрунтових вод без значного впливу на поверхню поля.

- Вертикальний дренаж застосовується в умовах глибокого залягання водотривких шарів. Цей метод передбачає буріння свердловин для відкачування ґрунтових вод. Вертикальний дренаж особливо ефективний на територіях з високим напором підземних вод.

- Кротовий дренаж є допоміжним методом осушення, який передбачає створення підземних ходів спеціальним обладнанням без укладання труб. Цей метод часто застосовується на важких ґрунтах як доповнення до основної дренажної системи для покращення водопроникності ґрунту.

Хімічна меліорація є важливим аспектом покращення ґрунтових умов, спрямованим на оптимізацію фізико-хімічних властивостей ґрунтів. Основними видами хімічної меліорації є вапнування кислих ґрунтів та гіпсування солонцевих ґрунтів. Для кислих ґрунтів застосовується вапнування, для солонцевих - гіпсування. Такі заходи дозволяють нейтралізувати шкідливі іони, покращити структуру ґрунту, підвищити його родючість. Вибір меліорантів та їх дозування здійснюється на основі детального аналізу властивостей ґрунту.

Вапнування кислих ґрунтів:

Вапнування застосовується для нейтралізації надмірної кислотності ґрунту, що покращує його структуру та створює сприятливі умови для розвитку рослин і ґрунтових мікроорганізмів[36]. Процес вапнування починається з діагностики потреби у цьому заході. Для цього проводиться визначення рН ґрунту, оцінка гідролітичної кислотності та аналіз складу ґрунтового вбирного комплексу.

Визначення рН ґрунту здійснюється шляхом лабораторного аналізу зразків ґрунту або за допомогою польових рН-метрів для експрес-діагностики. Оцінка гідролітичної кислотності дозволяє визначити кількість іонів водню, здатних до заміщення при взаємодії ґрунту з гідролітично лужною сіллю. Аналіз складу ґрунтового вбирного комплексу включає визначення ступеня насиченості основами та оцінку вмісту обмінного алюмінію.

Гіпсування солонцевих ґрунтів:

Гіпсування застосовується для меліорації солонцевих ґрунтів, які характеризуються високим вмістом обмінного натрію. Процес гіпсування спрямований на заміщення натрію кальцієм у ґрунтовому вбирному комплексі, що покращує структуру ґрунту та його водно-фізичні властивості[37].

Діагностика потреби в гіпсуванні включає визначення вмісту обмінного натрію, оцінку ступеня солонцюватості та аналіз фізичних властивостей ґрунту. На основі цих даних розраховується доза гіпсу, необхідна для меліорації.

Як меліорант при гіпсуванні найчастіше використовується природний гіпс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)[37]. Крім того, можуть застосовуватися фосфогіпс (побічний продукт виробництва фосфорних добрив), сірчана кислота та інші кальцієвмісні сполуки.

Технологія внесення гіпсу може варіюватися залежно від глибини солонцевого горизонту. При поверхневому заляганні солонцю гіпс вноситься на поверхню ґрунту з подальшим заорюванням. У випадку глибокого залягання солонцевого горизонту застосовується плантажна оранка з одночасним внесенням гіпсу.

Ефективність гіпсування значно підвищується при комплексному застосуванні з іншими агротехнічними заходами, такими як глибоке розпушування, внесення органічних добрив та вирощування солестійких культур.

Культуртехнічна меліорація передбачає очищення земель від каміння, чагарників, пнів, вирівнювання поверхні[38]. Ці роботи часто передують іншим видам меліорації та створюють необхідні умови для ефективного сільськогосподарського використання. Важливим аспектом культуртехнічної

меліорації є збереження родючого шару ґрунту при проведенні планувальних робіт.

Розчищення земель від деревно-чагарникової рослинності:

Цей процес є першим етапом культуртехнічної меліорації на заліснених або закущених ділянках. Він включає кілька методів:

1. Корчування: застосовується для видалення дерев та великих кущів разом з кореневою системою. Використовуються спеціальні корчувальні машини або бульдозери з корчувальним обладнанням.

2. Зрізання: використовується для видалення дрібної деревно-чагарникової рослинності. Застосовуються кущорізи, бензопили та інше спеціалізоване обладнання.

3. Фрезерування: ефективний метод для видалення дрібної рослинності та подрібнення пнів. Використовуються спеціальні фрезерні машини, які подрібнюють рослинні залишки та змішують їх з верхнім шаром ґрунту.

Після видалення рослинності проводиться збирання та утилізація деревних залишків. Вони можуть бути використані для виробництва щепи, компосту або як паливо.

Очищення від каміння:

На ділянках з високим вмістом каміння проводиться їх збирання та видалення. Цей процес включає:

1. Механізоване збирання каміння за допомогою спеціальних камнезбиральних машин.

2. Сортування каміння за розміром.

3. Видалення великих валунів за допомогою екскаваторів або спеціальних валунозбиральних машин.

4. Утилізація зібраного каміння

Ефективність культуртехнічної меліорації значною мірою залежить від правильного вибору технологій та послідовності виконання робіт. Важливим аспектом є збереження родючого шару ґрунту під час проведення робіт, що

досягається шляхом селективного зняття та складування верхнього шару ґрунту з подальшим його використанням для рекультивації.

Таким чином, меліорація є комплексним процесом, який вимагає глибоких знань у різних галузях науки та техніки, включаючи ґрунтознавство, гідрологію, екологію, агрономію та інженерію. Правильно спланована та виконана меліорація дозволяє значно підвищити продуктивність земель, забезпечуючи при цьому їх екологічну стійкість та довготривале використання.

1.2.3. Ремедіація

Ремедіація є сучасним методом відновлення забруднених земель, який базується на використанні природних процесів для очищення ґрунтів від різноманітних забруднювачів. Це складна міждисциплінарна стратегія, яка включає технічні, біологічні, хімічні та екологічні методи відтворення природних екосистем. Особливу увагу приділяють біологічним методам ремедіації, які є екологічно безпечними та економічно ефективними.

Біоремедіація використовує потенціал живих організмів, переважно мікроорганізмів, для розкладання або знешкодження забруднюючих речовин [39]. Цей процес може відбуватися природним шляхом (природна атенуація) або бути прискореним через внесення спеціально підібраних штамів мікроорганізмів та створення оптимальних умов для їх життєдіяльності.

Мікроорганізми відіграють ключову роль у цих процесах, оскільки мають унікальні метаболічні можливості щодо розкладання різноманітних органічних сполук та перетворення неорганічних забруднювачів у менш токсичні форми.

Природна атенуація представляє собою процес самоочищення екосистем без прямого втручання людини. Цей підхід базується на природних процесах біодеградації, випаровування, розсіювання та сорбції забруднюючих речовин. Хоча природна атенуація є найбільш економічним методом, вона вимагає тривалого часу та постійного моніторингу для підтвердження ефективності процесу очищення.

Стимульована біоремедіація передбачає створення оптимальних умов для розвитку природних мікробних популяцій або внесення спеціально підібраних штамів мікроорганізмів. Важливими факторами успіху є забезпечення необхідними поживними речовинами, підтримка оптимальної вологості та температури, а також належний рівень аерації ґрунту.

Ефективність біоремедіації залежить від:

- Типу забруднення
- Концентрації забруднюючих речовин
- Фізико-хімічних властивостей ґрунту
- Кліматичних умов

За даними експериментальних досліджень, застосування спеціально підібраних штамів мікроорганізмів дозволяє знизити концентрацію нафтопродуктів у ґрунті на 70-90% протягом одного вегетаційного періоду[40].

Мікробні препарати демонструють високу ефективність у відновленні ґрунтів, забруднених:

- Нафтопродуктами
- Важкими металами
- Органічними токсикантами
- Вибуховими речовинами

Для сильно пошкоджених земель найбільш економічно доцільним рішенням є консервація - тимчасове припинення будь-якої діяльності для природного відновлення. На менш пошкоджених територіях застосовують комбінацію методів, включаючи агротехнічну меліорацію та фітосанацію.

Фіторемедіація є особливо перспективним напрямком біологічного очищення забруднених територій. Рослини можуть використовуватися для різних процесів очищення: фітоекстракції (накопичення забруднювачів у біомасі), фітостабілізації (імобілізації забруднювачів у кореневій зоні), фітоволатилізації (переведення забруднювачів у газоподібну форму) та фітодеградації (розкладання органічних забруднювачів).

Рослини-гіперакумулятори становлять особливий інтерес для фітореMediaції важких металів[41]. Ці види здатні накопичувати в своїх тканинах концентрації металів, які в сотні разів перевищують їх вміст у ґрунті. Після завершення вегетації забруднена біомаса збирається та піддається спеціальній обробці для вилучення накопичених металів або безпечної утилізації.

Мікоремедіація це підмножина біоремедіації, яка використовує гриби для розкладання, відновлення та відновлення забруднених екосистем[42]. Вона використовує потенціал грибів для очищення забруднених територій. Деякі види грибів мають унікальні ферментні системи, здатні розкласти складні органічні сполуки, включаючи нафтопродукти, пестициди та промислові відходи. Крім того, гриби можуть сприяти накопиченню важких металів та їх іммобілізації в міцелії.

Фізико-хімічні методи ремедіації часто використовуються в комбінації з біологічними методами для підвищення ефективності очищення. Вони включають промивання ґрунту, електрокінетичну обробку, хімічну стабілізацію забруднювачів та інші технології. Вибір конкретного методу залежить від типу забруднення, властивостей ґрунту та економічних факторів.

Основні переваги фітореMediaції:

1. Економічна ефективність
2. Екологічна безпека
3. Можливість одночасного відновлення родючості
4. Запобігання ерозії ґрунтів

Важливим аспектом ремедіації є вибір найбільш ефективного методу залежно від типу забруднення та умов середовища. При цьому враховуються такі фактори, як концентрація забруднювачів, глибина забруднення, фізико-хімічні властивості ґрунту, кліматичні умови та економічна доцільність.

1.2.4. Агролісомеліорація

Агролісомеліорація - це унікальна міждисциплінарна система заходів з використання лісових насаджень для оптимізації сільськогосподарського ландшафту, підвищення продуктивності земель та захисту навколишнього

середовища. Це складний комплекс біологічних, екологічних та інженерних технологій, спрямований на створення стійкого агроландшафту, здатного протистояти несприятливим природним явищам та забезпечувати стабільне сільськогосподарське виробництво. .

Історично розвиток агролісомеліорації був пов'язаний з необхідністю боротьби з посухами та ерозією ґрунтів. Ще стародавні цивілізації Месопотамії, Єгипту та Китаю практикували створення захисних лісосмуг для захисту сільськогосподарських угідь від вітрової ерозії та піщаних бур[43]. Однак становлення агролісомеліорації як науки припадає на кінець XIX - початок XX століття[44].

Агролісомеліорація представляє собою систему лісівничих заходів, спрямованих на захист сільськогосподарських угідь від несприятливих природних явищ та підвищення їх продуктивності. Функціональне призначення агролісомеліоративних заходів надзвичайно широке:

1. Протиерозійний захист ґрунтів: Лісові смуги виступають природним бар'єром, що перешкоджає вітровій та водній ерозії. Вони зменшують швидкість вітру, запобігають видуванню та змиванню родючого шару ґрунту, формують специфічний мікрорельєф, який затримує вологу.

2. Кліматична регуляція: Лісові насадження створюють унікальний мікроклімат сільськогосподарських територій. Вони зменшують амплітуду температурних коливань, підвищують вологість повітря, знижують інтенсивність сонячної радіації, зменшують випаровування вологи.

3. Біологічний захист: Агролісомеліоративні системи формують унікальні екологічні коридори, що сприяють збереженню біологічного різноманіття. Лісосмуги слугують середовищем існування корисних комах-запилювачів, птахів, дрібних тварин, які беруть участь у природному регулюванні чисельності шкідників.

4. Водний режим: Лісові насадження суттєво впливають на водний режим агроландшафтів. Вони покращують інфільтрацію вологи, зменшують поверхневий стік, запобігають утворенню ярів, регулюють режим ґрунтових вод.

5. Ландшафтне планування: Агролісомеліорація виступає інструментом ландшафтного дизайну сільських територій. Системи лісосмуг створюють естетично привабливе середовище, розчленовують монотонні агроландшафти.

Полезахисні лісові смуги є найбільш поширеним видом агролісомеліоративних насаджень. Їх головна функція полягає у зниженні швидкості вітру на прилеглих полях, що має багатосторонній позитивний вплив на сільськогосподарське виробництво. Зменшення швидкості вітру призводить до зниження випаровування вологи з поверхні ґрунту та рослин, що особливо важливо в посушливих регіонах. Крім того, лісосмуги сприяють рівномірному розподілу снігового покриву, що забезпечує краще накопичення вологи в ґрунті. Правильно спроектована система лісосмуг може значно підвищити врожайність сільськогосподарських культур.

Конструкція полезахисних лісосмуг має важливе значення для їх ефективності. Розрізняють продувні, ажурні та щільні конструкції, кожна з яких має свої особливості впливу на вітровий потік та мікроклімат. Продувні лісосмуги мають провітри в нижній частині насадження, що забезпечує краще регулювання снігорозподілу. Ажурні лісосмуги характеризуються рівномірною проникністю по всьому профілю, а щільні створюють найбільш сильний, але локальний захисний ефект.

Економічна ефективність агролісомеліорації виражається:

- Підвищенням урожайності на прилеглих полях
- Зменшенням витрат на боротьбу з ерозією
- Збільшенням природної родючості ґрунтів
- Диверсифікацією сільськогосподарського виробництва

Водорегулюючі лісові насадження створюються на схилових землях для запобігання водній ерозії. Вони розміщуються по горизонталях місцевості або під невеликим кутом до них, утворюючи бар'єр для поверхневого стоку. Такі насадження не тільки захищають ґрунт від розмиву, але й сприяють кращому поглинанню вологи, що особливо важливо при таненні снігу та випаданні інтенсивних опадів.

Особлива увага приділяється підбору деревних та чагарникових порід для створення захисних насаджень. При цьому враховуються ґрунтово-кліматичні умови, цільове призначення насаджень, їх взаємодія з сільськогосподарськими культурами.

1.2.5. Інженерно-технічні заходи

Інженерно-технічні заходи з відновлення земель включають проектування та будівництво різноманітних споруд та конструкцій, спрямованих на захист ґрунтів від ерозії, регулювання водного режиму та створення оптимальних умов для використання земель.

Протиерозійні гідротехнічні споруди створюються для перехоплення та безпечного відведення поверхневого стоку, тобто вони є першою лінією захисту земель від водної ерозії. Ерозія ґрунтів є серйозною проблемою, яка може призвести до значної деградації земель та втрати їх родючості. Для боротьби з цим явищем створюються різноманітні інженерні конструкції.

Вали-тераси є ефективним засобом захисту схилів від водної ерозії. Вони створюються шляхом формування горизонтальних площадок на схилах, які переривають потік води та зменшують її швидкість. Це дозволяє воді поступово всмоктуватися в ґрунт, замість того щоб стікати вниз, змиваючи верхній родючий шар. При їх проектуванні враховується цілий комплекс факторів: крутизна схилу, тип ґрунту, кількість та інтенсивність опадів, особливості землекористування. Важливим аспектом є правильне визначення відстані між валами-терасами, яка розраховується з урахуванням допустимої швидкості стоку води, що не викликає розмиву ґрунту. Конструкція валів-терас може варіюватися від простих земляних насипів до складних інженерних споруд з водовідвідними елементами та укріпленням.

Водовідвідні канали формують цілісну систему організованого відведення поверхневого стоку. Вона включає нагірні канали, які перехоплюють стік з вищерозташованих територій, водозбірні канали для збору води з окремих ділянок та магістральні водовідвідні канали для транспортування води до місць скиду.

Особлива увага приділяється розрахунку поперечного перерізу каналів, який повинен забезпечувати пропуск максимальних розрахункових витрат води. При цьому швидкість течії води повинна бути достатньою для запобігання замулення каналів, але не перевищувати допустимі значення, при яких починається розмив русла.

Водоскидні споруди є критично важливими елементами протиерозійної системи, оскільки забезпечують безпечне скидання води з вищих відміток на нижчі. До них відносяться швидкотоки, перепади та консольні скиди. Швидкотоки застосовуються на відносно пологих схилах і являють собою облицьовані канали з підвищеною шорсткістю дна для гасіння енергії потоку. Перепади використовуються при більших перепадах висот і складаються з окремих ступенів, на яких відбувається часткове гасіння енергії води.

Регулювання водного режиму є іншим важливим аспектом інженерно-технічних заходів з відновлення земель. У багатьох випадках порушені землі страждають від надмірного зволоження, що негативно впливає на їх родючість та можливість використання. Для вирішення цієї проблеми проектується та будуються дренажні системи.

Дренажні системи проектується для відведення надлишкових ґрунтових вод та регулювання водного режиму перезвожених земель. Вибір типу дренажу (горизонтальний, вертикальний) та його конструктивних особливостей залежить від гідрогеологічних умов території та вимог до рівня ґрунтових вод.

Горизонтальний дренаж, який є найбільш поширеним типом, представляє собою систему підземних трубопроводів, що забезпечують відведення надлишкових ґрунтових вод. При систематичному дренажі трубопроводи розміщуються паралельними лініями з розрахунковою відстанню між ними, яка залежить від водно-фізичних властивостей ґрунтів та необхідної норми осушення. Вибірковий дренаж застосовується для осушення окремих перезвожених ділянок та джерел підтоплення.

Вертикальний дренаж використовується в умовах глибокого залягання водотривких порід та значної потужності водоносних горизонтів. Система

свердловин обладнується насосними установками, які забезпечують примусове відкачування води. Важливим аспектом є правильне визначення відстані між свердловинами та їх глибини для створення необхідної депресійної воронки. При проектуванні вертикального дренажу особлива увага приділяється вибору фільтрів та насосного обладнання, які повинні забезпечувати тривалу та безперебійну роботу системи.

Комбіновані дренажні системи поєднують елементи горизонтального та вертикального дренажу і застосовуються в складних гідрогеологічних умовах. Такі системи дозволяють досягти максимальної ефективності осушення при оптимальних економічних показниках. При їх проектуванні важливо забезпечити узгоджену роботу всіх елементів системи та передбачити можливість регулювання режиму роботи залежно від погодних умов та потреб землекористування.

Особлива увага приділяється створенню комплексних систем захисту земель, які поєднують різні види інженерних споруд з фітомеліоративними заходами. Такий підхід забезпечує найбільш ефективний захист території від деградаційних процесів.

Всі ці заходи повинні здійснюватися на основі детальних інженерних вишукувань та проектних розробок з урахуванням екологічних, економічних та соціальних аспектів. Важливим є постійний моніторинг стану відновлених земель та своєчасне проведення ремонтних робіт інженерних споруд.

РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ НА СТАН ЗЕМЕЛЬ

На основі історичного досвіду та аналізу теоретичних аспектів, представлених у першому розділі, другий розділ зосереджується на впливі сучасних військових конфліктів, зокрема російсько-української війни, на стан земельних ресурсів. Особливу увагу приділено механічній, хімічній і біологічній деградації ґрунтів, а також їх наслідкам для екологічної та економічної стабільності.

Російсько-українська війна, що розпочалася у 2014 році і переросла у повномасштабне вторгнення 24 лютого 2022 року, призвела до безпрецедентного рівня руйнувань не лише інфраструктури та людського життя, але й природних екосистем України. Особливо гостро постраждав ґрунтовий покрив – основа сільськогосподарського виробництва та екологічної стабільності регіону. Військові дії охопили значну частину території України, включаючи родючі чорноземи, ліси, водно-болотні угіддя та інші цінні екосистеми. Ця масштабна деградація земель має довготривалий і багатогранний вплив на екологічну стійкість та продуктивність ґрунтів. Наслідки цього впливу можуть відчуватися протягом десятиліть, а в деяких випадках навіть століть, що створює серйозні виклики для майбутнього сільського господарства України, збереження біорізноманіття та загальної екологічної безпеки регіону.

За оцінками експертів, через військові дії в Україні постраждало понад 5 мільйонів гектарів сільськогосподарських земель [45]. Ця приголомшлива цифра еквівалентна площі цілої європейської країни, такої як Словаччина, і вона яскраво підкреслює серйозність екологічної кризи, з якою стикнулася Україна. Масштаб ураження земель набуває особливої ваги з огляду на те, що Україна традиційно вважається “житницею Європи” та є одним із провідних світових експортерів зернових та олійних культур[46].

Відповідно до Закону України 2003 року деградація земель - природне або антропогенне спрощення ландшафту, погіршення стану, складу, корисних

властивостей і функцій земель та інших органічно пов'язаних із землею природних компонентів[47].

У контексті сучасних викликів, пов'язаних із збройною агресією, науковці Національного наукового центру "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського" (ННЦ "ІА імені О. Н. Соколовського") розробили інноваційну систему класифікації та оцінювання ступеня деградації ґрунтів (табл. 2.1)[48]. Ця система спеціально адаптована для аналізу наслідків бойових дій на ґрунтовий покрив. Важливо зазначити, що вплив внаслідок військових дій має комплексний характер і включає механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, пірогенні та біологічні види деградації.

Таблиця 2.1
Інноваційна система класифікації та оцінювання ступеня деградації ґрунтів

Тип деградації	Вид деградації	Механізм впливу та/або характер змін
1	2	3
Механічна (профільеруйнувальна)	Механічні руйнування: лінійні площинні	Деформація морфологічної будови профілю, переміщення горизонтів ґрунту цілеспрямованої дії через будівництво фортифікаційних споруд; локальні вирви від снарядів різного діаметра та глибини, зсуви й осідання
	Включення мілітарного походження	Наявність у масі ґрунту решток органічного та/або предметів промислового походження через воєнні дії
Фізична	Ущільнення	Через рух важкої воєнної техніки
	Деструктуризація: диспергування консолідація	Через рух важкої воєнної техніки, вибухову силу здетонованих снарядів, забруднення паливно-мастильними матеріалами
	Зміни водного та температурного режиму	Через механічне переміщення / змішування верхніх горизонтів з нижніми шарами або випалювання поверхні ґрунту
Хімічна	Дегуміфікація	Втрати органічного вуглецю, зміна його якісних характеристик внаслідок випалювання або переміщення горизонтів ґрунту різної гумусованості
	Дистрофізація	Погіршення трофічного статусу ґрунту через зменшення вмісту елементів живлення або їх залучення у вигляді токсичних сполук чи їх складових
	Засолення	Збільшення вмісту солей
	Забруднення	Паливно-мастильними матеріалами та іншими нафтопродуктами, різними хімічними речовинами від детонації снарядів різних видів та потужностей, через застосування хімічної зброї
Фізико-хімічна	Підкислення Підлуження Осолонцювання Декальцинація	Зміна складу обмінно-увібраних катіонів через надходження відповідних сполук або перемішування горизонтів ґрунту чи їх вивертання
Біологічна	Дефоліація	Повна або часткова втрата рослинного покриву
	Девертебрація та зниження чисельності мезофауни	Скорочення чисельності землеривів, чисельності та видового різноманіття мезофауни
	Зниження мікробіологічної та ферментативної активності	Через комплексний вплив чинників воєнних дій

1	2	3
Біологічна	Погіршення санітарного стану	В епідеміологічному та хімічному відношенні через надходження екзогенних хімічних або біологічних речовин
	Токсичність ґрунту	Перевищення летальної дози токсичних речовин різного походження (токсину, патогену)
Радіацій-на	Радіоактивне забруднення	Забруднення штучними радіонуклідами

Така багатогранність впливу військових операцій на ґрунти вимагає всебічного підходу до оцінки та аналізу. Розроблена класифікація враховує ці різноманітні аспекти, що дозволяє більш точно оцінити масштаби та характер деградаційних процесів, спричинених збройним конфліктом. Це є критично важливим для розробки ефективних стратегій відновлення та реабілітації постраждалих територій у постконфліктний період, з урахуванням усіх аспектів деградації ґрунтів.

2.1. Механічна та фізична деградація ґрунтів

Механічна та фізична деградація ґрунтів являє собою комплексну проблему сучасного ґрунтознавства, яка потребує глибокого наукового аналізу та розуміння. В умовах інтенсивних військових дій ця проблематика набуває особливої актуальності та потребує детального дослідження всіх аспектів деградаційних процесів.

Механічна деградація ґрунтів є одним з найбільш видимих і безпосередніх наслідків військових дій. Ця деградація ґрунтів характеризується як процес зниження якості ґрунту через механічну деформацію ґрунтового покриву. Вона проявляється у порушенні структури ґрунтового покриву та зміні його фізичних властивостей.

Цей вид деградації має різноманітні причини виникнення, серед яких можна виділити: створення військових укріплень, вплив вибухових пристроїв, будівництво захисних споруд різного призначення.

Основні види механічної деградації:

Механічні руйнування: Відбуваються внаслідок деформації морфологічної будови профілю, переміщення горизонтів ґрунту цілеспрямованої дії через будівництво фортифікаційних споруд; локальні вирви від снарядів різного діаметра та глибини, зсуви й осідання[48]. Вони можуть бути:

- лінійні
- площинні

Включення мілітарного походження виявляється внаслідок наявності у масі ґрунту решток органічного та/або предметів промислового походження через воєнні дії.

Створення військових укріплень є вагомим фактором механічної деградації ґрунтів. Риття окопів, траншей та інших фортифікаційних споруд призводить до повного порушення природної структури ґрунтового профілю. При цьому відбувається змішування генетичних горизонтів, що має довготривалі наслідки для родючості ґрунту та його екологічних функцій. Особливо небезпечним є те, що після завершення військових дій такі порушення можуть залишатися протягом десятиліть, створюючи довготривалі проблеми для сільськогосподарського використання територій.

Вплив вибухових пристроїв на ґрунтовий покрив є особливо руйнівним фактором механічної деградації. Утворення воронки від вибухів призводить не лише до безпосереднього руйнування ґрунту в місці вибуху, але й до значних порушень структури на прилеглих територіях внаслідок дії ударної хвилі. При цьому відбувається не лише механічне переміщення ґрунтової маси, але й суттєві зміни в її фізико-хімічних властивостях.

Процес механічної деформації ґрунтів супроводжується складним комплексом фізико-хімічних змін. В першу чергу відбуваються зміни в твердій фазі ґрунту, які включають руйнування структурних агрегатів, переміщення ґрунтових частинок та зміну щільності будови. Особливо важливим є те, що ці зміни призводять до порушення природної шаруватості ґрунту та утворення техногенних включень, які можуть значно впливати на його подальше функціонування.

Проаналівавши системи класифікації та оцінювання ступеня деградації ґрунтів, спричиненої бойовими діями внаслідок збройної агресії РФ (табл. 2.2) ми можемо дійти таких висновків [49]:

Зменшення глибини профілю є першим критичним показником механічної деградації. При показниках зменшення менше 10% деградація вважається відсутньою – ґрунтовий профіль зберігає свою природну будову. Слабко виражена деградація (10-25%) характеризується початковими змінами у будові профілю, які все ще дозволяють ґрунту виконувати свої основні функції. При помірній деградації (25-35%) відбуваються більш суттєві зміни, які вже потребують втручання для відновлення. Сильно виражена деградація (35-50%) свідчить про критичні порушення профілю, а при катастрофічній деградації (понад 50%) відбувається майже повне руйнування природної будови ґрунту.

Особливу увагу слід приділити зменшенню вмісту гумусу, що є наслідком механічного порушення ґрунту. При показниках менше 5% зміни незначні, проте вже при слабкій деградації (5-10%) починається помітне зниження родючості. Помірна деградація (10-15%) призводить до суттєвого погіршення гумусного стану, а при сильній (15-20%) та катастрофічній (понад 20%) деградації відбувається критичне зменшення вмісту органічної речовини, що має довготривалі наслідки для родючості ґрунту. Ці показники регламентуються ДСТУ 7872:2015, що підкреслює їх важливість для оцінки стану ґрунтів.

Утворення вирв, траншей та ям є специфічним проявом механічної деградації в умовах бойових дій. Морфологічна характеристика оцінюється відносно глибини профілю ґрунту. При показниках до 10% пошкодження вважаються незначними. Слабка деградація (10-30%) характеризується помітними, але локальними порушеннями. При помірній деградації (30-50%) спостерігається суттєве порушення цілісності ґрунтового покриву. Сильна (50-70%) та катастрофічна (понад 70%) деградація призводять до масштабного руйнування природної будови ґрунту, що вимагає складних рекультиваційних заходів.

Утворення насипів також оцінюється за морфологічною характеристикою відносно глибини профілю ґрунту. Цей показник має такі ж градації, як і попередній, оскільки обидва процеси тісно пов'язані та часто відбуваються одночасно при проведенні військових операцій.

Антропогенна скелетність, що проявляється у вигляді мілітарних уламків, є специфічним показником механічної деградації військового походження. При вмісті уламків менше 5% вплив незначний, але вже при слабкій деградації (5-10%) починаються помітні зміни у складі ґрунту. Помірна (10-15%), сильна (15-20%) та катастрофічна (понад 20%) деградація характеризуються прогресуючим накопиченням сторонніх включень, що суттєво впливає на фізичні властивості та родючість ґрунту.

Така механічна деградація призводить до порушення природних процесів ґрунтоутворення, зміни водного режиму, погіршення умов для розвитку рослинності та мікроорганізмів.

Процес механічної деформації ґрунтів супроводжується складними фізико-хімічними змінами, які включають:

1. Стиснення твердих частинок ґрунту
2. Компресію води та повітря в порах
3. Руйнування структурних зв'язків між частками
4. Зміну гідрологічного режиму
5. Порушення природної структури ґрунтового профілю

Особливу увагу слід приділити процесу ущільнення ґрунту, який виникає внаслідок механічного впливу. Ущільнений ґрунт характеризується підвищеною стійкістю до подальших механічних впливів, проте це супроводжується значним погіршенням його агрономічних властивостей, особливо в умовах недостатнього зволоження.

Наслідки механічних пошкоджень ґрунтів є досить серйозними. По-перше, знижується родючість ґрунтів, що негативно впливає на сільське господарство. По-друге, погіршуються водоохоронні функції ґрунтів, що може призвести до забруднення водних ресурсів. По-третє, збільшується ризик розвитку ерозійних

процесів, що призводить до втрати родючого шару ґрунту. По-четверте, порушуються природні екосистеми, що може призвести до зменшення біорізноманіття.

Дослідження, проведені в зонах активних бойових дій, показують, що площа механічно пошкоджених ґрунтів може становити від 10% до 30% від загальної площі території, залежно від інтенсивності конфлікту [49].

Фізична деградація ґрунтів – це зміна фізичних властивостей ґрунту, наприклад, його структури, щільності, вологості та температури, що може бути спричинене різними факторами, у тому числі механічними пошкодженнями. Фізична деградація ґрунтів тісно пов'язана з механічною деградацією та часто є її наслідком. Вона характеризується комплексом змін фізичних властивостей ґрунту, які включають порушення структурно-агрегатного складу, зміну щільності будови та погіршення водно-фізичних властивостей. При цьому особливо важливим є те, що фізична деградація може призводити до довготривалих змін у функціонуванні ґрунтової системи.

У контексті військових дій погіршення фізичних властивостей ґрунту насамперед характеризується зміною його щільності будови. Проаналівавши табл. 2.2, ми можемо дійти таких висновків.

Коли показник перевищення рівноважної щільності становить менше 10%, можна говорити про відсутність значної деградації – ґрунт зберігає свої основні властивості та здатний до самовідновлення. При збільшенні цього показника до 10-20% спостерігаються перші ознаки деградації: ґрунт починає ущільнюватися, погіршується його структура, але ці зміни ще можна виправити агротехнічними заходами.

Таблиця 2.2
Системи класифікації та оцінювання ступеня деградації ґрунтів,
спричиненої бойовими діями внаслідок збройної агресії РФ

Деградація		Вид	Показник оцінювання	Ступінь деградації					Нормативні посилання
тип	підтип			відсутня	слабко виражена	помірно виражена	сильно виражена	катастрофічна	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Механічна	Мілітарна	Зменшення глибини профілю	Зменшення, %	<10	10–25	25–35	35–50	>50	
		Зменшення вмісту гумусу	Зменшення вмісту гумусу, %	<5	5–10	10–15	15–20	>20	ДСТУ 7872:2015
		Утворення вирв, траншей, ям	Морфологічна характеристика, % від глибини профілю ґрунту	<10	10–30	30–50	50–70	>70	
		Утворення насипу	Морфологічна характеристика, % до глибини профілю ґрунту	<10	10–30	30–50	50–70	>70	
		Антропогенна скелетність	Мілітарні уламки, %	<5	5–10	10–15	15–20	>20	
Фізична	Мілітарна	Погіршення фізичних властивостей	Перевищення рівноважної щільності будови ґрунту, %	<10	10–20	20–30	30–40	>40	
		Стійкі зміни гранулометричного складу	Зменшення вмісту фізичної глини, %	<5	5–15	15–25	25–32	>32	ДСТУ 7872:2015
			Збільшення вмісту фізичного піску, %	<5	5–15	15–25	20–25	>25	

Помірна деградація настає при показниках 20-30%, коли відбуваються помітні зміни в структурі ґрунту, погіршується водопроникність та аерація. Особливо небезпечною є ситуація, коли показник перевищує 30-40% – це свідчить про сильну деградацію, яка супроводжується значним порушенням структури та основних функцій ґрунту. Катастрофічний стан настає при перевищенні 40%, коли відбуваються практично незворотні зміни у фізичному стані ґрунту.

Стійкі зміни гранулометричного складу є другим важливим аспектом фізичної деградації. Цей процес характеризується двома взаємопов'язаними показниками: зменшенням вмісту фізичної глини та збільшенням вмісту фізичного піску. При нормальному стані ґрунту зміни вмісту фізичної глини не перевищують 5%, що дозволяє ґрунту зберігати свої природні властивості. Коли втрати глини досягають 5-15%, починаються незначні зміни у складі ґрунту, які все ще можна компенсувати агротехнічними заходами. При втратах 15-25%

відбувається помітна деградація – ґрунт втрачає здатність утримувати вологу та поживні речовини. Сильна деградація спостерігається при втратах 25-32%, а перевищення позначки у 32% свідчить про катастрофічні зміни у складі ґрунту.

Паралельно зі зменшенням вмісту глини відбувається збільшення вмісту фізичного піску. При нормальному стані збільшення не перевищує 5%. Слабка деградація (5-15%) характеризується початковим опіщаненням, яке поступово посилюється при помірній деградації (15-25%). Сильна деградація (20-25%) призводить до критичного збільшення піщаної фракції, а перевищення 25% означає повну зміну гранулометричного складу ґрунту.

Особливо важливим аспектом є вплив фізичної деградації на сільськогосподарські угіддя. Руйнування родючого шару ґрунту створює серйозні ризики для продовольчої безпеки. Процес відновлення природного ґрунтового покриву є надзвичайно тривалим - для відновлення шару гумусу товщиною 20 см може знадобитися від 1500 до 7400 років, що підкреслює критичну важливість збереження існуючого ґрунтового покриву[50].

Основні види фізичної деградації, які представлені в табл. 2.1:

1. Ущільнення. Через рух важкої воєнної техніки
2. Деструктуризація диспергування консолідація. Через рух важкої воєнної техніки, вибухову силу здетонованих снарядів, забруднення паливно-мастильними матеріалами
3. Зміни водного та температурного режиму. Через механічне переміщення/змішування верхніх горизонтів з нижніми шарами або випалювання поверхні ґрунту [48].

Важливо зазначити, що механічна та фізична деградація ґрунтів не лише знижує їх родючість та продуктивність, але й створює передумови для розвитку інших форм деградації, зокрема хімічної та біологічної. Тому комплексний підхід до відновлення пошкоджених земель є критично важливим для забезпечення сталого розвитку сільського господарства та збереження екосистем України в постконфліктний період.

2.2. Хімічна, фізико-хімічна та пірогенна деградація ґрунтів

Військові дії призводять до значних змін у хімічному складі та властивостях ґрунтів. Ці зміни можуть мати довготривалий вплив на екосистеми та становити серйозну загрозу для здоров'я людей.

2.2.1. Хімічна деградація ґрунтів

Хімічна деградація ґрунтів є складним процесом, який характеризується погіршенням хімічних властивостей ґрунту внаслідок природних та антропогенних факторів. Військові конфлікти призводять до масштабної хімічної деградації ґрунтів, що має довготривалий вплив на екосистеми та здоров'я людей. Бойові дії супроводжуються значним забрудненням ґрунтів токсичними речовинами, такими як важкі метали, вибухові речовини, паливно-мастильні матеріали та інші хімічні забруднювачі. В умовах збройного конфлікту в Україні питання хімічної деградації ґрунтів набуло особливої актуальності через масштабний негативний вплив на ґрунтовий покрив країни. Основними видами хімічної деградації представлені у таб 2.1, а саме: дегуміфікація, засолення, дистрофізація та забруднення[48].

Дегуміфікація визначається втратою органічного вуглецю, зміною його якісних характеристик внаслідок випалювання або переміщування горизонтів ґрунту різної гумусованості.

Дистрофізація характеризується погіршенням трофічного статусу ґрунту через зменшення вмісту елементів живлення або їх залучення у вигляді токсичних сполук чи їх складових.

Засолення пов'язане зі збільшенням вмісту солей у ґрунтовому середовищі.

До забруднювачів військового походження відносяться шими нафтопродуктами, різними хімічними речовинами від детонації снарядів різних видів та потужностей, через застосування хімічної зброї.

Природні ґрунти мають буферну здатність, яка дозволяє їм утримувати певну кількість забруднювачів, перешкоджаючи їхньому розповсюдженню у воду

та рослини. Однак під впливом бойових дій обсяг токсичних речовин часто перевищує допустимий рівень, що призводить до втрати ґрунтами їхньої буферної здатності.

Вплив основних забруднювачів на ґрунти є вибухові речовини. Найчастіше забруднення викликається тротилом, гексогеном та октогеном, які є основними компонентами вибухових речовин (табл 2.3.)[51].

Тротил характеризується низькою розчинністю у воді (130 мг/л при 20°C), що обмежує його мобільність у ґрунтовому розчині. Однак, він може зазнавати фотолізу та біотрансформації, утворюючи більш токсичні метаболіти. TNT є високотоксичним для ґрунтової біоти, викликаючи загибель мікроорганізмів та негативно впливаючи на ріст рослин.

Таблиця 2.3.
Перелік небезпечних хімічних елементів та речовин у ґрунтах після вибухів боєприпасів

Речовина/елемент	Функція/джерело забруднення	Експериментальне підтвердження у місцях вибухів боєприпасів*
1	2	3
<i>Залишки енергетичних речовин**</i>		
<i>Первинні (ініціюючі)</i>		
Азид срібла, стифнат свинцю та фульмінат ртуті (гримуча ртуть)	Ініціювання вторинних вибухових речовин у так званій серії стрільб	Свинець (H)
Вибухова речовина «Д» (пікрат амонію)	Ініціювання вторинних вибухових речовин; у складі композитного палива ракетних двигунів	–
<i>Вторинні (бризантні)</i>		
TNT (тротил; 2,4,6-тринітротолуол)	Підсилювач фугасних боєприпасів; у складі артилерійських боєприпасів (гаубиці 155 та 105 мм; гармати основного танка 120 мм; міномети 60, 81 та 120 мм), ракет, протитанкових мін, авіабомб, ручних гранат	(B)
RDX (гексоген; гексагідро-1,3,5-тринітро-1,3,5-триазин)	Активний наповнювач у бризантних і фугасних складах боєприпасів: у складі 40-мм гранат, ракет; додаткових детонаторів; артилерійських (у т.ч. осколочних) снарядів; авіабомб; підривних снарядів; мін дистанційного мінування; протитанкових мін	(B)
HMX (октоген; октагідро-1,3,5,7-тетранітро-1,3,5,7-теразоцин)	Активний наповнювач у бризантних і фугасних сумішах для боєприпасів; компонент пластичної вибухівки; у складі артилерійських (у т.ч. осколочних) снарядів, розривних снарядів бойових частин керованих ракет «повітря-повітря»	–

RDX та HMX мають вищу розчинність у воді порівняно з TNT (RDX - 42 мг/л, HMX - 5 мг/л при 20°C), що зумовлює їх більшу мобільність у ґрунтовому профілі. Ці сполуки здатні мігрувати до ґрунтових вод, створюючи ризик забруднення джерел питної води. Хоча RDX та HMX не мають прямого токсичного впливу на рослини, вони суттєво порушують структуру та функціонування ґрунтової мікробіоти, що опосередковано впливає на родючість ґрунту.

При проведенні стрільб застосовуються боєприпаси з різним вмістом пороху та вибухівки, горіння яких продукує азот, сажу, вуглеводні, свинець, оксид марганцю та інші сполуки, шкідливі для довкілля та здоров'я людей. Наприклад, детонація одного 115-мм осколково-фугасного снаряду з гексогеном утворює близько 4000 л газу з продуктами розпаду цієї вибухової речовини. Приблизно 30% газів розсіюється в атмосфері, а більшість (важкі фракції та метали) осідає на поверхню ґрунту[52].

Механізми деградації ґрунтів під впливом вибухових речовин включають зміну хімічного складу ґрунту, порушення структури ґрунтових агрегатів та зміну фізико-хімічних властивостей. Наприклад, накопичення TNT та його метаболітів може призводити до зниження рН ґрунту, що впливає на доступність поживних речовин для рослин. Крім того, ці сполуки можуть утворювати комплекси з органічною речовиною ґрунту, змінюючи її властивості та функції.

Після вибухів на ґрунтовій поверхні осідає значна кількість важких металів, таких як свинець, кадмій, нікель, ртуть, хром та миш'як. Більшість з цих металів є токсичними для живих організмів, можуть накопичуватись у рослинах і через харчовий ланцюг потрапляти до людини. Ці елементи характеризуються низькою розчинністю та високою спорідненістю до органічної речовини ґрунту, що призводить до їх накопичення у верхніх шарах. Однак, їх мобільність може значно зростати в кислих ґрунтах або за наявності органічних комплексоутворювачів.

Вплив важких металів на родючість ґрунтів проявляється через їх токсичну дію на метаболічні процеси рослин. Вони здатні порушувати фотосинтез, водний обмін та мінеральне живлення рослин, що призводить до зниження врожайності.

Наприклад, надмірні концентрації свинцю можуть інгібувати активність ферментів, задіяних у синтезі хлорофілу, тоді як кадмій порушує поглинання та транспорт есенціальних елементів, таких як залізо та цинк.

Нафтопродукти та поліароматичні вуглеводні є ще одним класом забруднювачів, що суттєво впливають на ґрунтові екосистеми. Ці сполуки характеризуються низькою розчинністю у воді та високою гідрофобністю, що призводить до їх сильної сорбції ґрунтовими частинками, особливо органічною речовиною. Потрапляючи в ґрунт, нафтопродукти створюють анаеробні умови, порушують баланс вуглецю та азоту, що призводить до зміни мікрофлори та втрати родючості. Багато ПАВ мають канцерогенні властивості і є дуже стійкими, тому можуть зберігатися в ґрунті протягом десятиліть.

Механізми деградації ґрунтів під впливом нафтопродуктів та ПАВ включають зміну фізичних властивостей ґрунту, зокрема погіршення структури, зниження водопроникності та аерації. Це негативно впливає на ріст коренів та розвиток рослин. Крім того, ці забруднювачі можуть бути токсичними для ґрунтової мікрофлори, порушуючи процеси розкладання органічної речовини та кругообігу поживних елементів.

Діоксини та поліхлоровані біфеніли: Після знищення старої техніки в ґрунт потрапляють ПХБ, які є одними з найбільш стійких забруднювачів. Ці речовини можуть бути присутні у вигляді діелектриків у трансформаторах і конденсаторах старої техніки, яка надходить після воєнних дій. Потрапляючи в організм людини, вони викликають онкологічні та мутагенні захворювання, порушення фертильності та розвиток нервових розладів.

Синтетичні сполуки та отруйні гази: Деякі сучасні вибухові речовини містять компоненти, що при розкладі утворюють синтетичні отрути, такі як нітробензол, нітрофенол і формальдегід. Вони можуть погіршувати якість ґрунтових вод і становити небезпеку для здоров'я людей. Формальдегід, наприклад, є канцерогеном, що порушує обмін речовин у рослинах і тваринах.

Вплив на родючість ґрунтів проявляється через токсичну дію важких металів на метаболічні процеси рослин, знижуючи їхню здатність до фотосинтезу

та водопоглинання, що призводить до зниження врожайності. Крім того, забруднення ґрунту призводить до зміни його мікрофлори та втрати природної родючості.

Екологічні наслідки хімічної деградації ґрунтів включають забруднення підземних вод, порушення функціонування екосистем, зниження біорізноманіття та потенційні ризики для здоров'я людей через накопичення токсичних речовин у харчових ланцюгах. Згідно з українськими стандартами, ґрунти, що містять політанти у концентрації, що перевищує ГДК втричі, визнаються техногенно забрудненими. На таких землях рекомендовано проводити консервацію терміном від 3 до 10 років, залежно від стійкості забруднювача.

Таким чином, хімічна деградація ґрунтів внаслідок військових дій є складною екологічною проблемою, яка вимагає комплексного підходу до її вирішення та довгострокових заходів з відновлення та реабілітації постраждалих територій.

2.2.2. Фізико-хімічна деградація ґрунтів

Фізико-хімічна деградація ґрунтів є результатом комплексного впливу механічних пошкоджень та хімічного забруднення, що призводить до змін у фізико-хімічних властивостях ґрунту, а саме призводить до негативних змін у структурі та складі ґрунтового середовища, що знижує його родючість і екологічну стійкість. У контексті воєнних дій така деградація стає особливо актуальною, оскільки вибухи снарядів, обстріли та викиди шкідливих речовин руйнують природні хімічні й фізичні властивості ґрунтів. Важливими показниками, що визначають стійкість ґрунтів до фізико-хімічної деградації, є кислотність, лужність, ємність вбирання, здатність ґрунту утримувати воду та біогенні елементи, а також здатність до саморегуляції та очищення від забруднювачів. Ці параметри забезпечуються комплексом біо-органомінеральних компонентів ґрунту, зокрема ґрунтовими колоїдами та корисними мікроорганізмами.

Ключовими показниками фізико-хімічної деградації є зміна рН ґрунту, зменшення ємності катіонного обміну, порушення структури ґрунтових агрегатів, зміна водоутримуючої здатності та зменшення вмісту органічної речовини.

Причини фізико-хімічної деградації можна розділити на антропогенні та природні фактори. До антропогенних факторів належать інтенсивне землеробство, надмірне використання мінеральних добрив, забруднення промисловими відходами та нераціональне зрошення. Природні фактори включають ерозію, вивітрювання та зміну клімату.

Механічні пошкодження, спричинені вибухами снарядів і мін, призводять до незворотної коагуляції та дегідратації ґрунтових колоїдів органічної, органо-мінеральної і мінеральної природи. Це призводить до умертвіння "живої фази" ґрунтового середовища, включаючи корисні мікробо- та зооценози. Крім того, високі температури та пожежі, що виникають внаслідок бойових дій, спричиняють пірогенну деградацію ґрунтів, яка особливо шкідлива для багатогумусних (чорноземних) та органогенних (оторфованих і торфових) ґрунтів.

Наслідки фізико-хімічної деградації ґрунтів мають як екологічний, так і економічний характер. З екологічної точки зору, деградація призводить до порушення екосистемних функцій ґрунту, зменшення біорізноманіття та забруднення водних ресурсів. Економічні наслідки включають зниження врожайності сільськогосподарських культур, збільшення витрат на відновлення родючості ґрунтів та зменшення вартості земельних ресурсів.

Колоїдний комплекс ґрунту є важливою частиною його структури, що забезпечує здатність ґрунту утримувати вологу та поживні елементи. У нормальних умовах ККГ разом із мікробіоценозом ґрунту утворює біо-органомінеральний комплекс, який є основою здатності ґрунту до саморегуляції. ККГ є основною матрицею для іммобілізації та мобілізації біогенних елементів. Він регулює водно-повітряний режим, утримує поживні речовини та формує структуру ґрунту.

Для діагностики фізико-хімічної деградації ґрунтів використовують як лабораторні, так і польові методи. Лабораторні методи включають аналіз рН

ґрунту, визначення ємності катіонного обміну та аналіз вмісту органічної речовини. Польові методи охоплюють візуальну оцінку структури ґрунту, вимірювання водопроникності та оцінку щільності ґрунту. Однак, традиційні методи діагностики не завжди дають повну картину стану ґрунту, особливо коли мова йде про динаміку змін та спрямованість ґрунтових процесів.

Важливим аспектом у розумінні фізико-хімічної деградації ґрунтів є концепція буферності. Буферність ґрунту - це його здатність протистояти зовнішнім впливам та зберігати свої властивості. Це важливий показник стійкості ґрунту до деградації. Розрізняють різні види буферності, такі як рН-буферність, фосфатна буферність та калійна буферність. Висока буферна здатність ґрунту забезпечує стабільність його властивостей та сприяє підтримці оптимальних умов для росту рослин.

Одним з іноваційних підходів є використання термодинамічних методів для оцінки мобілізаційно-іммобілізаційної здатності ґрунтів щодо біогенних елементів та токсичних речовин.

Термодинамічні методи дозволяють визначати активність іонів у ґрунтовому розчині та їхні потенціали, що характеризують взаємодію між іонами за право бути поглинутим ККГ і кореневою системою рослин. Важливим фізико-хімічним показником ґрунтового середовища є водяний потенціал (позначається символом rF), який створюється гідроадсорбційними силами ККГ та осмотичним тиском сольового складу ґрунтового розчину, а також структурою порожнистості і капілярів ґрунту.

Розробка методів функціональної (динамічної) діагностики є перспективним напрямком у вивченні фізико-хімічної деградації ґрунтів. Ці методи дозволяють оцінювати не лише статичні показники, але й динаміку змін та спрямованість ґрунтових процесів. Особливо важливим є вивчення процесів іммобілізації-мобілізації біогенних елементів, динаміки змін кислотно-основного та водно-повітряного режимів різноманітних за своєю генетичною природою ґрунтів.

Отже фізико-хімічна деградація призводить до втрати здатності ґрунту до саморегуляції та зниження родючості. Пошкоджений колоїдний комплекс та

зруйновані мікробіоценози значно знижують рівень агрохімічної ефективності ґрунтів, порушуючи цикл кругообігу поживних речовин та обмежуючи відновлення біологічної активності. Крім того, змінюється екологічний баланс території, що впливає на флору і фауну, яка залежить від ґрунтових ресурсів. Відновлення таких ґрунтів може тривати десятиліттями, і для цього необхідні спеціальні заходи з очищення, детоксикації та поліпшення структури ґрунту, включаючи застосування органічних і мінеральних добрив та фітоекстракційних методів.

2.2.3. Пірогенна деградація ґрунтів

Пірогенна деградація ґрунтів відбувається внаслідок дії високих температур, викликаних пожежами, вибухами або інтенсивним горінням рослинності, будівельних матеріалів чи військових боєприпасів. Цей процес особливо руйнівний для ґрунтів, багатих на органічні речовини, таких як чорноземи та органогенні (торф'яні) ґрунти, оскільки високі температури швидко руйнують органічну структуру ґрунту. Крім того, пірогенний вплив може змінити хімічний склад ґрунту, зменшивши його родючість та екологічну стійкість. Пірогенна деградація часто супроводжується фізико-хімічними змінами, такими як втрата колоїдних властивостей та гідрофобізація поверхневого шару, що знижує здатність ґрунту утримувати воду і поживні речовини. Наприклад, після влучання ракети у нафтобазу на Київщині у поверхневому шарі ґрунту зафіксовано понаднормові концентрації бензопірену (у 3 рази), високі концентрації свинцю (2,5 ГДК), сірки (6 ГДК), титану, міді, хрому, стронцію, цинку (1,2 ГДК) [53].

Процеси, що відбуваються в ґрунті під час пірогенного впливу:

Карбонізація органічної речовини: При підвищених температурах органічні компоненти ґрунту, зокрема гумус, піддаються процесу карбонізації, що призводить до їхнього часткового або повного згорання. Під час цього процесу органічна маса втрачає свою структуру та перетворюється на вуглець. Це знижує ємність ґрунту утримувати вологу та поглинати біогенні елементи, що зменшує доступність поживних речовин для рослин і погіршує водний режим.

Згорання біо-органомінерального комплексу: Високі температури знищують мікроорганізми та органічні колоїдні частинки. Це порушує саморегулюючі процеси ґрунту, зокрема його здатність до самоочищення, нейтралізації токсинів і утримання вологи.

Гідрофобізація поверхневого шару: Під впливом вогню поверхня ґрунту стає гідрофобною, тобто втрачає здатність утримувати воду, що підвищує ризик ерозії та сприяє швидкому висиханню. Це особливо небезпечно для ділянок, що постраждали від частих пожеж чи бомбардувань, оскільки такі ґрунти потребують більшої кількості опадів для підтримання водного режиму.

Втрата колоїдних властивостей мінеральних частинок: Мінеральні колоїдні частинки, такі як глинисті мінерали, хоча й є більш стійкими до високих температур, однак теж можуть втрачати свої колоїдні властивості під впливом пожеж. Вони стають інертним субстратом, що втрачає здатність до утримання іонів, які необхідні для живлення рослин. У результаті зменшується ємність ґрунту для вбирання поживних речовин і води, а також погіршуються водоутримувальні властивості.

Хімічні зміни, викликані пірогенним впливом: Високі температури викликають деструкцію органічних і деяких мінеральних речовин, що змінює хімічний склад ґрунту: Виділення парникових газів: Пірогенна деградація супроводжується викидом вуглекислого газу (CO_2), метану (CH_4) та оксиду азоту (N_2O), які є парниковими газами. Це не лише забруднює атмосферу, а й позбавляє ґрунт важливих органічних компонентів, що призводить до зниження родючості.

Втрата азоту та інших поживних елементів: Під впливом вогню відбувається випаровування азоту та його сполук, що знижує вміст цього елементу в ґрунті. Азот є ключовим компонентом для росту рослин, тому його втрата посилює деградаційні процеси і знижує якість ґрунту як середовища для сільськогосподарських культур.

Карбонізація кальцію та магнію: Під час пожеж вуглекислий кальцій і магній переходять у більш стійкі форми, які менш доступні для рослинного живлення, що негативно впливає на їх розвиток. Погіршення мікробіологічного

балансу: Пірогенний вплив пригнічує життєдіяльність корисних мікроорганізмів, що знижує швидкість розкладання органічної речовини та порушує кругообіг біогенних елементів. Ґрунт втрачає свої природні можливості до самоочищення і відновлення, що призводить до тривалих деградаційних змін.

Наслідки пірогенної деградації для водного режиму та структури ґрунту

Після впливу високих температур ґрунти втрачають здатність утримувати вологу, що погіршує їх водний режим і сприяє швидкому висиханню. Особливо це актуально для регіонів з нестачею опадів, де ґрунти, що зазнали пірогенної деградації, стають менш придатними для вирощування культур. Втрата здатності до утримання вологи також робить ґрунти більш уразливими до ерозії та дефляції, що зумовлює їх швидке виснаження і зниження агрономічної якості.

Вплив пірогенної деградації на родючість та екосистему:

- Зниження родючості: втрата органічної маси, поживних речовин і здатності утримувати вологу знижує родючість ґрунтів, ускладнюючи ріст і розвиток рослин. Після пірогенної деградації потрібні тривалі відновлювальні заходи для повернення ґрунту до належного стану.
- Порушення екосистемного балансу: Зміни у структурі ґрунтів впливають на всі складові екосистеми, особливо на рослинність та ґрунтову біоту, що є важливими для стабільності місцевих екосистем. Зниження популяцій ґрунтових організмів порушує біологічний кругообіг і посилює процеси деградації, що погіршує стан довкілля в цілому.

Відновлення ґрунтів після пірогенної деградації.

Відновлення ґрунтів, що зазнали пірогенної деградації, є тривалим і складним процесом, який вимагає застосування спеціальних заходів:

- Внесення органічних добрив: Повернення органічної маси до ґрунту допомагає частково відновити його структуру і здатність утримувати вологу.
- ФітореMediaція: Використання рослин, що здатні поглинати важкі метали і токсичні речовини, допомагає очищати ґрунт від забруднень.

- Створення захисних смуг: Лісові або трав'яні смуги навколо сільськогосподарських угідь можуть захистити ґрунти від подальшої ерозії та сприяти збереженню водного режиму.

2.3. Біологічна деградація ґрунтів

Біологічна деградація ґрунтів — це комплексне погіршення біологічних властивостей ґрунту, що включає зменшення кількості ґрунтових мікроорганізмів, втрату видового різноманіття, порушення балансів ґрунтових угруповань, зниження ферментативної активності та появу фітотоксичних властивостей.

Цей вид деградації особливо актуальний в умовах військових конфліктів, коли ґрунти зазнають механічних пошкоджень, хімічного забруднення та значних екологічних змін, що руйнують природну біоту, зменшують біорізноманіття, порушують біохімічні процеси та знижують родючість.

Основні аспекти біологічної деградації включають зміни в ґрунтовій біоті, порушення біохімічних процесів та негативний вплив на екосистемні функції ґрунту.

Зміни в ґрунтовій біоті проявляються у скороченні чисельності та видового різноманіття мікроорганізмів, порушенні оптимального співвідношення різних видів ґрунтових організмів та спрощенні структури мікробних ценозів. Це призводить до зниження здатності ґрунту підтримувати здорові екосистеми та забезпечувати необхідні умови для росту рослин.

Дія різних деградаційних чинників призводить до різного масштабу змін ґрунтової біоти залежно від ступеня навантаження фактору деградації. Розрізняють чотири стани ґрунтової біоти з нарощуванням інтенсивності дії фактора:

1. Стан гомеостазу: У цьому стані зберігається нормальний склад організмів, структура і функціонування угруповань не змінюються істотно, а при змінах — швидко відновлюються.

2. Стан стресу: Характеризується перебудовою в кількісних співвідношеннях видів, але без зміни якісного складу. Спостерігається зниження інтенсивності мікробіологічних і біохімічних процесів.

3. Стан розвитку резистентних організмів: У цьому стані розвиваються організми, стійкі до дії фактора деградації.

4. Стан репресії: Цей стан характеризується пригніченням життєдіяльності мікроорганізмів та їх загибеллю.

Порушення біохімічних процесів є іншим важливим аспектом біологічної деградації. Воно включає зміни інтенсивності протікання біохімічних реакцій, зниження ферментативної активності та погіршення фітосанітарного стану ґрунту. Ці зміни негативно впливають на здатність ґрунту перетворювати органічні речовини, забезпечувати рослини поживними елементами та протистояти патогенним організмам.

Вплив на екосистемні функції є, можливо, найбільш далекосяжним наслідком біологічної деградації. Зниження здатності ґрунту до самоочищення та самовідновлення, а також втрата здатності надавати важливі екосистемні послуги, можуть мати серйозні наслідки для всієї екосистеми та, в кінцевому підсумку, для людського суспільства.

Воєнні дії значно посилюють процеси біологічної деградації через ряд факторів. Механічні пошкодження, такі як утворення вирв від вибухів, призводять до видалення родючого шару ґрунту разом з біотою. Це не тільки безпосередньо знищує мікро- та макрофауну в місці вибуху, але й порушує структуру ґрунту на прилеглих територіях.

Фізична деградація ґрунту, яка часто супроводжує бойові дії, включає в себе ущільнення ґрунту, руйнування його структури, а також зміну водного та повітряного режимів. Ці процеси призводять до розбалансування мікробіологічних процесів, створення анаеробних умов та розвитку процесів денітрифікації. Як наслідок, відбуваються втрати азоту та утворення мікробних токсинів, що негативно впливає на всю ґрунтову екосистему.

Бойові дії часто супроводжуються різними видами хімічного забруднення ґрунтів. Ґрунтові організми особливо чутливо реагують на забруднення важкими металами та нафтопродуктами. Ці забруднювачі можуть потрапляти в ґрунт внаслідок:

- Розриву снарядів та підриву військової техніки (забруднення важкими металами)
- Пошкодження та руху військової техніки (забруднення паливно-мастильними матеріалами)
- Горіння нафтобаз, нафтопереробних та хімічних заводів (викиди шкідливих речовин у повітря, які потім осідають на ґрунт)

Реакція мікробних ценозів на забруднення важкими металами залежить від типу ґрунту, дози забруднювача та форми сполук. Важкі метали у певних дозах пригнічують мікрофлору ґрунту, знижується чисельність окремих її груп, інгібується активність ферментів у ґрунті, знижується швидкість біохімічних реакцій, які вони каталізують.

Військові дії часто призводять до виникнення пожеж, які мають катастрофічні наслідки для ґрунтової біоти. Під час пожеж відбувається:

- Вигорання органічної речовини ґрунту
- Зневоднення ґрунту
- Загибель ґрунтової біоти
- Втрата елементів живлення

У випадку горіння урожаю на полях знищується не тільки середовище існування мікро-, мезо- та макрофауни, але й сама фауна. Відбувається тимчасова повна стерилізація ґрунту в межах кількох сантиметрів верхнього шару, залежно від температури і тривалості горіння, і часткова – у більш глибоких шарах. Поступово чисельність мікроорганізмів відновлюється, але чисельність фауни відновлюється значно повільніше

Наслідки біологічної деградації ґрунтів

Біологічна деградація ґрунтів має серйозні наслідки для екосистемних функцій та сільськогосподарського виробництва. Можна виділити наступні основні наслідки:

- **Втрата здатності до азотфіксації:** ґрунти втрачають здатність утримувати азот, що порушує кругообіг поживних речовин і знижує родючість. Також, через дисбаланс в процесах синтезу і мінералізації гумусу, порушується процес трансформації органічної речовини.

- **Втрати біологічних функцій ґрунту:** У результаті зниження чисельності мікроорганізмів та видового складу ґрунт втрачає здатність забезпечувати кругообіг поживних речовин та підтримувати гомеостаз. Це також призводить до зменшення здатності ґрунту до фіксації азоту та підтримки процесів синтезу гумусу.

- **Накопичення фітопатогенів і токсичних речовин:** деградація біоти призводить до зростання кількості патогенних мікроорганізмів, а також збільшення фітотоксичності ґрунтів, що погіршує умови для росту рослин і сприяє поширенню хвороб.

- **Втрата біорізноманіття:** зменшення кількості ґрунтової фауни порушує харчові ланцюги і природні процеси розкладання органічної речовини, що впливає на структуру ґрунту та його родючість.

- **Зниження родючості ґрунту**

Порушення нормального функціонування ґрунтової біоти призводить до зниження родючості ґрунту. Це відбувається через порушення процесів гуміфікації, мінералізації органічних речовин та кругообігу поживних елементів.

- **Втрата здатності до самоочищення**

Здорова ґрунтова біота відіграє ключову роль у процесах самоочищення і самовідновлення ґрунтів. При біологічній деградації ця здатність значно знижується, що робить ґрунт більш вразливим до різних видів забруднення.

- **Порушення екосистемних функцій**

Ґрунт, який зазнав біологічної деградації, втрачає здатність виконувати свої екосистемні функції, що призводить до втрати важливих екосистемних послуг. Це може мати далекосяжні наслідки для всієї екосистеми та людського суспільства.

- Зміна фізико-хімічних властивостей ґрунту

Біологічна деградація часто супроводжується змінами фізико-хімічних властивостей ґрунту, таких як рН, структура, водоутримуюча здатність тощо. Це, в свою чергу, впливає на доступність поживних речовин для рослин та умови існування ґрунтових організмів[54].

Біологічна деградація ґрунтів — це процес, що не тільки порушує баланс екосистем, але й призводить до серйозних змін у структурі та функціонуванні ґрунтової біоти, що впливає на стійкість агроекосистем та продуктивність сільського господарства. Воєнні дії є одним з найсерйозніших факторів, що прискорюють цей процес, викликаючи як механічні, так і хімічні зміни, які завдають довготривалої шкоди ґрунтовим організмам. Відновлення деградованих ґрунтів вимагає комплексного підходу, що включає біологічні та екологічні методи, спрямовані на підтримку і відновлення мікробіологічного різноманіття та екосистемних функцій.

2.4 Деградація лісосмуг і вітро-ерозійна небезпека території України

Ерозія ґрунтів є однією з найактуальніших проблем сучасності в Україні. Інтенсифікація ерозійних процесів та їх поширення на величезні території призводять до істотної деградації ґрунтів, спричиняють великі збитки в сільському господарстві та загалом ставлять під загрозу безпечний розвиток країни. Особливу роль у захисті ґрунтів від ерозії відіграють лісосмуги, які створюють природний бар'єр для вітрової ерозії. Однак, внаслідок різних факторів, включаючи антропогенний вплив, зокрема військової агресії, спостерігається значна деградація лісосмуг, що підвищує вітро-ерозійну небезпеку території України. Лісосмуги, які були створені в середині ХХ століття як частина масштабного проекту захисту сільськогосподарських земель, сьогодні перебувають під загрозою. Їх руйнування не лише змінює ландшафт України, але

й ставить під загрозу родючість ґрунтів, біорізноманіття та загальну екологічну стабільність регіону.

Система лісосмуг в Україні має глибоке історичне коріння, що сягає середини ХХ століття. Масштабне створення лісосмуг було розпочато в 1940-х роках як частина амбітного "Сталінського плану перетворення природи"[55]. Цей план передбачав створення величезної мережі лісосмуг для боротьби з посухами, пиловими бурями та ерозією ґрунтів на території СРСР, включаючи Україну. Основними цілями створення лісосмуг були захист сільськогосподарських угідь від вітрової ерозії, регулювання водного режиму ґрунтів, підвищення врожайності сільськогосподарських культур та покращення мікроклімату прилеглих територій[56].

У 1949-1952 роках щороку створювали близько 66 тис. га полезахисних лісосмуг, що перевищувало планові завдання[57]. Це грандіозне перетворення значно змінило ландшафт степових та лісостепових регіонів країни. Лісосмуги стали невід'ємною частиною українського сільськогосподарського пейзажу, створюючи унікальну екосистему, яка поєднувала в собі елементи лісу та степу.

Роль лісосмуг у захисті ґрунтів та підтримці екологічного балансу

Лісосмуги відіграють критичну роль у захисті ґрунтів від ерозії та підтримці екологічного балансу в агроландшафтах України. Вони виконують ряд важливих функцій, які мають вирішальне значення для сільського господарства та екології регіону:

1. **Захист від вітрової ерозії:** Лісосмуги створюють природні бар'єри, які значно знижують швидкість вітру. Це запобігає видуванню ґрунтових частинок, що є особливо важливим у степових районах, де вітрова ерозія може призвести до значних втрат родючого шару ґрунту.

2. **Регулювання водного режиму:** Лісосмуги сприяють затриманню снігу на полях, що збільшує запаси вологи в ґрунті. Це особливо важливо в посушливих регіонах, де вода є обмеженим ресурсом.

3. **Покращення мікроклімату:** Наявність лісосмуг зменшує непродуктивне випаровування води з поверхні ґрунту та рослин. Це створює

більш сприятливі умови для росту сільськогосподарських культур, особливо в спекотні періоди.

4. Підвищення врожайності: Завдяки покращенню мікрокліматичних умов та захисту від ерозії, лісосмуги сприяють підвищенню врожайності сільськогосподарських культур на прилеглих полях.

5. Збереження біорізноманіття: Лісосмуги є важливими екологічними коридорами, які забезпечують середовище існування для багатьох видів рослин і тварин. Вони відіграють ключову роль у підтримці біологічного різноманіття в агроландшафтах.

6. Поглинання вуглекислого газу: Древа в лісосмугах поглинають значну кількість CO₂ з атмосфери, сприяючи зменшенню парникового ефекту.

Деградація лісосмуг та вітрова ерозія ґрунтів є серйозними екологічними проблемами України, які особливо загострилися в умовах війни. Лісосмуги відіграють критичну роль у захисті ґрунтів від ерозії та покращенні мікрокліматичних умов. Проте військові дії призвели до значної руйнації лісосмуг, що посилює вітрову ерозію та загальне погіршення ґрунтів у степових районах України. Далі буде проаналізовано причини, наслідки та потенційні заходи з вирішення проблем деградації лісосмуг і посилення вітро-ерозійної небезпеки на території України.

Причини деградації лісосмуг і вітро-ерозійної небезпеки можуть бути наступні:

Військові дії. Одним з найбільш руйнівних факторів останніх років стали військові дії на території України. В зонах конфлікту лісосмуги часто використовуються для створення оборонних укріплень[58]. У них будують траншеї, бліндажі та інші військові об'єкти, для чого вирубуються дерева[59]. Крім того, лісосмуги стають мішенями для артилерійських та ракетних обстрілів, що призводить до їх часткового або повного знищення[60].

Недостатній догляд: Протягом багатьох років лісосмуги не отримували належного догляду[61]. Відсутність регулярних рубок догляду, оновлення насаджень та боротьби з шкідниками призвела до старіння та ослаблення дерев.

Сільськогосподарська діяльність. Інтенсифікація сільського господарства часто призводить до розорювання земель впритул до лісосмуг, що порушує їхню цілісність та функціональність.

Зміна клімату. Глобальні кліматичні зміни призводять до збільшення частоти посух та екстремальних погодних явищ, що негативно впливає на стан лісосмуг.

Пожежі. Особливо в посушливі періоди лісосмуги стають вразливими до пожеж, які можуть знищити значні площі насаджень.

Деградація лісосмуг має серйозні наслідки для екології та сільського господарства України:

1. Посилення вітрової ерозії: Зникнення або пошкодження лісосмуг призводить до збільшення швидкості вітру на прилеглих полях. Це значно підвищує ризик вітрової ерозії, особливо в степових районах. За даними досліджень, знищення лісосмуг на деяких ділянках призвело до збільшення дефляційної небезпеки на 20-25%. Втрати ґрунту від вітрової ерозії можуть досягати 5,4 тонн з гектара за рік, що є критичним показником [62].

2. Зміна мікроклімату: Відсутність лісосмуг призводить до збільшення випаровування вологи з ґрунту та рослин. Це негативно впливає на водний режим ґрунтів та створює менш сприятливі умови для вирощування сільськогосподарських культур.

3. Зниження врожайності: Погіршення мікрокліматичних умов та посилення ерозійних процесів призводить до зниження родючості ґрунтів та, як наслідок, до падіння врожайності сільськогосподарських культур.

4. Втрата біорізноманіття: Лісосмуги є важливими екологічними коридорами та місцями проживання для багатьох видів рослин і тварин. Їх деградація призводить до фрагментації середовища існування та зниження біорізноманіття в агроландшафтах.

5. Збільшення забруднення повітря: Вітрова ерозія оголених ґрунтів призводить до значного збільшення викидів пилу в атмосферу. Це не тільки погіршує якість повітря, але й створює додаткові ризики для здоров'я людей.

Забруднення повітря пилом та дрібними частинками може викликати респіраторні захворювання і негативно впливає на якість життя у прилеглих районах.

6. **Порушення водного балансу:** Лісосмуги відіграють важливу роль у регулюванні поверхневого стоку та підтримці рівня ґрунтових вод. Їх деградація може призвести до порушення гідрологічного режиму територій.

Деградація лісосмуг має прямий вплив на збільшення вітроерозійної небезпеки території України. Для кількісної оцінки цього впливу використовуються математичні моделі вітрової ерозії, зокрема американська модель WEQ (Wind Erosion Equation).

Згідно з розрахунками, проведеними з використанням цієї моделі, знищення лісосмуг на досліджуваних ділянках призвело до збільшення потенційних втрат ґрунту від вітрової ерозії на 20-25%. Якщо до руйнування лісосмуг середньорічні втрати ґрунту становили близько 4,5 тонн з гектара, то після їх знищення цей показник зріс до 5,4 тонн з гектара на рік.

Такі втрати ґрунту є критичними і значно перевищують темпи природного ґрунтоутворення. Це означає, що без вжиття термінових заходів з відновлення лісосмуг та впровадження інших протиерозійних заходів, родючі землі України можуть зазнати незворотної деградації.

Особливо гостро проблема вітрової ерозії стоїть у степових районах України, де лісосмуги часто є єдиним ефективним бар'єром на шляху сильних вітрів. Знищення лісосмуг у цих регіонах може призвести до виникнення пилових бур, які не тільки знищують родючий шар ґрунту, але й створюють серйозні проблеми для здоров'я населення та функціонування інфраструктури. **Заходи з відновлення лісосмуг та зменшення вітроерозійної небезпеки**

Враховуючи критичну важливість лісосмуг для захисту ґрунтів та підтримки екологічного балансу, необхідно вжити комплекс заходів з їх відновлення та захисту:

1. **Інвентаризація та оцінка стану лісосмуг:** Необхідно провести детальну інвентаризацію існуючих лісосмуг з використанням сучасних геоінформаційних

технологій та даних дистанційного зондування Землі. Це дозволить оцінити масштаби проблеми та визначити пріоритетні ділянки для відновлення.

2. Розробка програми відновлення лісосмуг: На основі результатів інвентаризації необхідно розробити комплексну програму відновлення лісосмуг. Ця програма повинна включати плани посадки нових дерев, заходи з догляду за існуючими насадженнями та методи захисту лісосмуг від подальшого руйнування.

3. Вибір оптимального складу насаджень: При відновленні лісосмуг важливо враховувати місцеві кліматичні умови та обирати види дерев та чагарників, які найкраще підходять для конкретної місцевості. Перевагу слід надавати посухостійким та вітростійким видам.

4. Впровадження сучасних технологій посадки та догляду: Використання передових агротехнічних методів може значно підвищити виживаність саджанців та прискорити ріст дерев. Це включає використання систем крапельного зрошення, мульчування ґрунту, застосування органічних добрив тощо.

5. Залучення місцевих громад: Важливо залучати місцеве населення до процесу відновлення лісосмуг. Це не тільки забезпечить додаткові ресурси для виконання робіт, але й підвищить усвідомлення важливості лісосмуг серед населення.

6. Законодавче регулювання: Необхідно вдосконалити законодавчу базу щодо захисту та відновлення лісосмуг. Це може включати посилення відповідальності за незаконну вирубку дерев, встановлення чітких правил догляду за лісосмугами та визначення джерел фінансування для їх відновлення.

7. Моніторинг та оцінка ефективності: Важливо встановити систему постійного моніторингу стану відновлених лісосмуг та оцінки ефективності проведених заходів. Це дозволить вчасно виявляти проблеми та коригувати стратегію відновлення.

8. Впровадження альтернативних методів захисту від вітрової ерозії: На період відновлення лісосмуг необхідно застосовувати інші методи захисту ґрунтів від вітрової ерозії. Це може включати використання куліс з високостеблових рослин, мульчування поверхні ґрунту, застосування ґрунтозахисних сівозмін тощо.

РОЗДІЛ 3. ГОЛОВНІ НАПРЯМКИ ВІДНОВЛЕННЯ ЗЕМЕЛЬ, ЯКІ ПОСТРАЖДАЛИ В РЕЗУЛЬТАТІ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Дослідження впливу військових дій на земельні ресурси у попередньому розділі створює основу для розробки практичних рекомендацій. У третьому розділі будуть розглянуті методи відновлення деградованих земель, включаючи рекультивацію, ренатуралізацію та оптимізацію структури земельних угідь, з урахуванням українських реалій.

3.1. Оптимізація структури земельних угідь і посівних площ

Оптимізація структури земельних угідь і посівних площ є важливим заходом для підвищення ефективності використання земельних ресурсів та збереження ґрунтових екосистем. Для України, яка нині стикається з серйозними викликами внаслідок військових дій, оптимізація угідь стала необхідним кроком для відновлення земельних ресурсів і раціоналізації їхнього використання. Важливими аспектами цього процесу є зменшення площ малопродуктивних земель, вилучення деградованих територій із сільськогосподарського обробітку, а також запровадження методів органічного та ландшафтного землеробства. Таким чином зменшується площа ріллі за рахунок земель, що зазнали ерозії, засолення, забруднення хімічними речовинами або мають низьку продуктивність.

Консервація земель є важливим підходом до оптимізації структури угідь. Консервація земель передбачає відмову від обробітку деградованих і забруднених територій для їхнього природного відновлення. Це важливий інструмент оптимізації, особливо на землях, що зазнали значного забруднення через воєнні дії або хімічне навантаження. Природне заліснення та залуження сприяють відновленню ґрунтової структури, підвищенню вмісту органічної речовини та стабілізації екосистеми.

Для земель, які були забруднені важкими металами або радіоактивними речовинами, консервація може бути єдиним можливим варіантом. Замість того, щоб намагатися використовувати їх для аграрного виробництва, такі території

залишають для природного відновлення з наступним залісненням або залуженням, що дозволяє зменшити ризики для здоров'я людей та екології.

Консервація може бути тимчасовою або постійною. Тимчасова консервація передбачає виведення земель з обробітку на певний період, протягом якого відбувається їхнє природне відновлення, і після цього вони можуть бути повернені до складу ріллі або використовуватися для сіножатей і пасовищ. Постійна консервація використовується для земель, що зазнали критичної деградації. Такі землі переводять у природоохоронний або рекреаційний фонд, щоб уникнути подальшої шкоди. Зазвичай ці землі заліснюють або залужують, формуючи природний трав'яний покрив. Такий підхід не лише сприяє покращенню екологічного стану, але й зменшує навантаження на родючі землі, залишаючи їх для найбільш цінних і продуктивних культур.

Оптимізація земельних угідь вимагає зниження частки ріллі, зокрема шляхом вилучення еродованих, засолених та малопродуктивних територій. Такий підхід дозволяє зосередити ресурси на найбільш продуктивних землях та створює передумови для розвитку стійкої агроєкосистеми. Зменшення площ під деградованими землями дає змогу знижувати ризики для навколишнього середовища, адже відмову від їхнього інтенсивного використання супроводжує повернення природних екосистем, що сприяє стабілізації екологічного стану ландшафту.

Оптимізація структури земельних угідь передбачає вилучення з ріллі територій, які зазнали деградації, або є малопродуктивними. Деградовані землі можуть включати ті, що зазнали впливу ерозії, засолення, забруднення або мають низьку родючість. Зменшення площ під деградованими землями дає змогу знижувати ризики для навколишнього середовища, адже відмову від їхнього інтенсивного використання супроводжує повернення природних екосистем, що сприяє стабілізації екологічного стану ландшафту. Наприклад, у зонах активних воєнних дій на сході та півдні України через бойові дії було пошкоджено значні площі ґрунтів, що робить їх непридатними для сільськогосподарського

використання. Вилучення таких земель із ріллі дозволяє зосередити зусилля на більш продуктивних землях та уникнути економічних і екологічних втрат.

Ландшафтний підхід є одним із ключових методів оптимізації земельних угідь, що враховує природні умови території, такі як рельєф, ґрунтовий склад, кліматичні характеристики. Цей підхід дає змогу класифікувати землі на агроекологічні групи, що сприяє ефективному використанню кожного типу ґрунтів та дає обирати відповідне призначення. Наприклад землі з крутими схилами використовуються під пасовища чи консервацію, а родючі рівнинні ділянки під сільськогосподарське виробництво.

Поділ земель на агроекологічні групи (АЕГЗ) відповідно до їхньої придатності для певних видів агровиробництва наведено в табл. 3.1.[63]. Ця класифікація дозволяє чітко визначити, які ділянки підходять для ріллі, та які краще використовувати під пасовища, сіножаті чи навіть для консервації:

- **I група:** землі для інтенсивного вирощування зернових та просапних культур
- **II група:** землі, придатні для зерно-трав'яних сівозмін, що сприяють збагаченню ґрунтів
- **III група:** землі для кормових і овочевих культур
- **IV група:** пасовища та сіножаті
- **V група:** землі, що підлягають постійній або тимчасовій консервації через низьку продуктивність або значну деградацію

Таблиця 3.1
 Поділ земель на агроекологічні групи (АЕГЗ) відповідно до їхньої придатності для певних видів агровиробництва

АЕГЗ	Під-група	Назва підгрупи
I	I ₁	Плато, тераси і схили до 1° з повнопрофільними і напівгідроморфними ґрунтами суглинкового і глинистого гранулометричного складу
	I ₂	Схили крутизною до 3° зі слабоеродованими ґрунтами суглинкового і глинистого гранулометричного складу
II	II ₁	Плато і схили до 3° з ґрунтами вкороченого (30–50 см) профілю на щільних породах слабощебенювато-кам'янисті (при високому рівні агротехніки на схилах до 1° екологічно допустиме їхнє використання в I АЕГЗ, а на складних схилах до 3°, сильно уражених улоговинами та розмивами – в IV АЕГЗ)
	II ₂	Схили крутизною 3–5° зі слабоеродованими ґрунтами на розпушених породах суглинкового і глинистого гранулометричного складу (на схилах сильно уражених улоговинами такі землі належать до IV АЕГЗ)
	II ₃	Плато і схили до 3° із дефльованими ґрунтами супіщаного та легкосуглинкового гранулометричного складу
III	III ₁	Заплави високого рівня, широкі днища балок з намитими та луго-чорноземними ґрунтами
IV	IV ₁	Заплави низького та середнього рівня (заливні)
	IV ₂	Схили крутизною 3–5° зі середньо- та сильнозмитими ґрунтами на розпушених породах суглинкового і глинистого гранулометричного складу
	IV ₃	Схили понад 5° зі слабозмитими та намитими ґрунтами
	IV ₄	Плато і схили до 3° із ґрунтами на щільних породах переважно середньощебнистими
	IV ₅	Рівнинні ділянки і схили до 3° з середньо- і сильно солонцюватими ґрунтами, солонцями глибокими і мочаристими ґрунтами
	IV ₆	Землі з вторинно-засоленими і підтопленими ґрунтами
V	V ₁	Землі схилів крутизною понад 5° з середньо- і сильнозмитими ґрунтами на розпушених породах
	V ₂	Землі схилів крутизною понад 3° з середньо- і сильнозмитими ґрунтами на щільних породах
	V ₃	Землі з сильнощебенюватими і кам'янистими ґрунтами
	V ₄	Землі з піщаними ґрунтами, а також з супіщаними і легкосуглинковими на схилах крутизною понад 3° на пісках
	V ₅	Розмиті, а також слабозмиті та намиті ґрунти схилів понад 12°
	V ₆	Солонці мілкі та середні, сильнозасолені ґрунти, мочари
	V ₇	Землі в межах прибережної захисної смуги
	V ₈	Порушені ґрунти

Цей поділ дозволяє диференційовано підходити до управління землями, враховуючи рельєф, ерозійні ризики та потребу в захисті певних територій. Наприклад, землі зі схилами понад 5° або з сильно засоленими ґрунтами відносять до категорії пасовищ чи земель для консервації, що знижує ризики подальшої

ерозії та дозволяє ефективніше використовувати рівнинні території для вирощування продуктивних культур.

Основні принципи оптимізації структури посівних площ

Оптимізація структури посівних площ передбачає впровадження збалансованої сівозміни. Ротація культур у сівозміні допомагає зберегти родючість ґрунтів, запобігає накопиченню шкідників і хвороб, а знижує необхідність у добривах і пестицидах. Наприклад, чергування зернових культур із бобовими сприяє природному збагаченню ґрунту азотом, знижуючи потребу в добривах [64]. Крім того, багаторічні культури, включені в сівозміну, дозволяють підтримувати структуру ґрунту, зменшуючи ризик ерозії та покращуючи його водний режим.

Для досягнення максимальної продуктивності необхідно вирощувати культури, що адаптовані до конкретних ґрунтових і кліматичних умов. Наприклад, на більш сухих ґрунтах доцільно вирощувати посухостійкі культури, як-от сорго або нут, тоді як родючі чорноземи ідеально підходять для зернових та олійних культур. Розподіл культур відповідно до типів ґрунтів та кліматичних умов дозволяє оптимально використовувати природні ресурси, підвищувати врожайність і зменшувати агрохімічне навантаження на довкілля.

Важливим елементом оптимізації посівних площ є використання покривних культур, таких як редька олійна, гірчиця, люцерна або інші сидерати. Покривні культури висаджують у міжсезоння для збереження ґрунтової структури, зменшення ерозії та збагачення органічною речовиною. Вони також покращують аерацію та водний режим ґрунту, знижуючи необхідність у добривах і підвищуючи родючість у довгостроковій перспективі.

Вирощування енергетичних культур, таких як верба енергетична, міскантус і тополя, є перспективним підходом до оптимізації посівних площ, особливо на деградованих і малопродуктивних землях. Ці культури потребують мінімального догляду, стійкі до забруднення і можуть зростати на земельних ділянках, що втратили агрономічну продуктивність [65]. Вони не лише забезпечують біомасу для відновлюваної енергетики, але й сприяють природному очищенню ґрунтів від

токсичних речовин (фітореMediaції) та накопиченню органічної речовини, що покращує родючість та структуру ґрунту.

Енергетичні культури, зокрема верба, тополя, міскантус, дозволяють зменшити залежність від викопного палива. Біомаса, отримана з енергетичних культур, може використовуватися для виробництва пелет, що є екологічно чистим видом палива. З огляду на зростання потреби в альтернативних джерелах енергії, вирощування таких культур на значних площах є стратегічним напрямом для підвищення енергетичної безпеки України[66].

Адаптивна сівозміна є важливим інструментом для збереження ґрунтової родючості та підвищення стійкості до змін клімату. Впровадження систем сівозміни, які включають зернові, бобові та коренеплоди, дозволяє не лише підтримувати баланс поживних речовин, але й контролювати поширення бур'янів, шкідників і хвороб. Бобові культури, наприклад, фіксують азот у ґрунті, що допомагає знизити потребу в добривах, а коренеплоди сприяють покращенню структури ґрунту[67].

Багаторічні культури, такі як люцерна та конюшина, сприяють збереженню структури ґрунту і запобігають ерозії. Їхня тривала вегетація знижує потребу в механічному обробітку, а їхнє коріння зберігає ґрунтову структуру та збільшує вміст органічної речовини. Багаторічні культури можуть слугувати природним захисним бар'єром для інших посівних площ, зберігаючи вологу і покращуючи мікроклімат для сусідніх культур.

Покривні культури допомагають захистити ґрунти від ерозії, особливо на схилах і в регіонах з активним вітровим навантаженням. Вони укріплюють поверхневий шар ґрунту, знижуючи швидкість водного стоку та вітрового видування. Такий природний захист є особливо важливим в осінньо-зимовий період, коли ґрунт залишають без основних посівів[68].

Покривні культури, наприклад, люпин, редька олійна, сприяють збагаченню ґрунту органічною речовиною. Після збирання покривних культур їх можна залишити на полі для природного розкладання, що сприяє підвищенню вмісту

гумусу. Це покращує структуру ґрунту та його водоутримуючу здатність, що є критично важливим для підтримання родючості.

Використання покривних культур є одним із способів зменшення хімічних обробок проти бур'янів та шкідників[69]. Щільний рослинний покрив покривних культур пригнічує ріст бур'янів, а деякі рослини, як-от гірчиця, володіють фітонцидними властивостями, що знижує чисельність ґрунтових шкідників.

Вирощування енергетичних культур, таких як міскантус і верба енергетична, на деградованих або малопродуктивних землях допомагає зменшити навантаження на родючі площі та одночасно забезпечує сировину для відновлюваної енергетики. Ці культури не лише не потребують інтенсивного догляду, а й сприяють відновленню ґрунтів через високу здатність до накопичення органічної речовини.

3.2. Рекультивація земель

Рекультивація земель - це комплекс заходів, спрямованих на відновлення продуктивності та господарської цінності деградованих або порушених ділянок землі. Цей процес має на меті повернути землі до стану, придатного для подальшого використання в сільському, лісовому господарстві, рекреаційних чи інших цілях. Рекультивація є важливим кроком для збереження навколишнього середовища та забезпечення сталого розвитку.

Процес рекультивації земель, особливо в Україні, де значна частина земельного фонду постраждала внаслідок бойових дій, є комплексним завданням. Він включає декілька послідовних етапів: підготовчий, технічний і біологічний, кожен з яких виконує важливі функції у відновленні земель. Нижче розглянемо кожен з цих етапів докладніше.

1. Підготовчий етап

Підготовчий етап починається з ретельного аналізу ділянки, щоб визначити її поточний стан і характер пошкоджень. Це завдання вимагає комплексного підходу, включаючи:

- Дистанційне зондування земельної ділянки. На цьому етапі використовуються супутникові та аерофотознімки, що допомагають точно визначити розташування, площу та ступінь ушкодження земельних ділянок. Цей метод дозволяє оцінити масштаби порушення, виявити наявність глибоких вирв від снарядів і визначити загальну структуру порушень ґрунту.
- Лабораторні дослідження ґрунту. Після дистанційного зондування відбирають ґрунтові проби для аналізу в лабораторних умовах. Дослідження включають вивчення фізичних, хімічних і агрохімічних властивостей ґрунтів. Це допомагає визначити рівень забруднення важкими металами, вибуховими речовинами та іншими токсичними елементами, що потрапили в ґрунт у результаті бойових дій. Такий аналіз також дає змогу визначити рівень ущільнення ґрунту та його структуру, що необхідно для розробки подальших технічних заходів.
- Аналіз типів деградації ґрунтів. Дослідження визначають, які види деградації (механічна, фізична, хімічна, біологічна) присутні на ділянці. Наприклад, механічні пошкодження виникають у результаті перемішування ґрунтових шарів, фізична деградація — через ущільнення ґрунту, а хімічне забруднення викликане токсичними речовинами від боєприпасів. Це обстеження дозволяє вибрати оптимальні методи відновлення.
- Розробка детального плану технічного та біологічного етапів. На основі отриманих даних створюється детальний план робіт, який враховує ступінь ушкодження ґрунтів, їх якісні характеристики, а також передбачуване використання земель після відновлення. Цей етап є критичним, оскільки дозволяє створити систему заходів, які враховують специфіку місцевості та її природно-кліматичні умови.

2. Технічний етап

Технічний етап складається з цілого ряду заходів, що готують ґрунти до подальшого використання та дозволяють створити сприятливі умови для біологічної рекультивації. Основні заходи включають:

- Пошарове нанесення ґрунтової маси та материнської породи. Це ключова операція, яка дозволяє відновити структуру ґрунту. Ґрунтова маса та материнська порода наносяться шарами, що допомагає уникнути їх ущільнення та забезпечує рівномірний розподіл. Дотримання правильної послідовності укладання шарів мінімізує процеси усадки, що підвищує продуктивність ґрунтів.

- Створення протиерозійних бар'єрів. У районах з високим ризиком ерозії використовуються різноманітні технічні заходи, такі як встановлення капілярно-перериваючих екранів і систем водовідведення. Це дозволяє уникнути змиву ґрунту під час дощів, зберігаючи його родючість.

- Гідромеліоративні заходи. У разі потреби можуть проводитися заходи для поліпшення вологоутримуючих властивостей ґрунтів. Це включає створення спеціальних структур для накопичення вологи, що є особливо важливим у регіонах з посушливим кліматом або для земель, які зазнали зневоднення внаслідок бойових дій.

- Консерваційні заходи. Ділянки, які наразі непридатні для продуктивного використання, можуть бути законсервовані для збереження їх екологічної стійкості. Для таких земель застосовуються спеціальні методи, що запобігають подальшому деградуванню ґрунтів, включаючи покриття ділянки спеціальними покривними культурами або захисними рослинами.

- Розмінування та очищення від залишків військових матеріалів. Важливий аспект технічної рекультивації — розмінування територій та видалення уламків боєприпасів. Це забезпечує безпеку як для людей, які виконують рекультиваційні роботи, так і для подальшого використання ділянок.

3. Біологічний етап

Біологічний етап спрямований на відновлення родючості ґрунту, повернення його до екологічно стабільного стану. Він включає такі заходи:

- Застосування сидеральних культур і добрив. На цьому етапі використовуються культури, які здатні відновлювати ґрунтову структуру, насичувати її корисними мікроелементами та стимулювати біологічну активність. Важливою є сівозміна з сидеральними культурами, що покращує фізичні та

хімічні властивості ґрунту. Внесення підвищених доз мінеральних добрив стимулює відновлення родючості та покращує продуктивність ділянки.

- Впровадження агротехнічних заходів. Важливими є такі дії, як мульчування, розпушування, захист ґрунту від шкідників, що сприяє відновленню природних процесів у ґрунті. Види добрив, строки внесення та сівозміна визначаються залежно від стану ґрунту і конкретної культури.

- Моніторинг і корекція процесів рекультивації. Після виконання основних заходів важливо продовжувати спостереження за ділянкою для виявлення та усунення нових негативних факторів, які можуть виникнути через природні або техногенні умови. Корекційні заходи включають додаткове внесення добрив і підтримку біорізноманіття для забезпечення стійкості земель.

Ефективна рекультивація вимагає ретельного планування, використання відповідних технологій та достатніх ресурсів. Науково-дослідні дослідження відіграють важливу роль у розробці та вдосконаленні методів рекультивації, що дозволяє підвищити ефективність та екологічну сталість цього процесу.

Види рекультивації земель

Існують різні види рекультивації земель, які застосовуються залежно від характеру пошкоджень та майбутнього призначення ділянки. Розглянемо основні з них:

1. Сільськогосподарська рекультивація: Спрямована на відновлення родючості ґрунтів для вирощування сільськогосподарських культур. Цей вид рекультивації передбачає внесення органічних та мінеральних добрив, меліорацію ґрунтів, а також створення сприятливих умов для росту рослин.

2. Лісогосподарська рекультивація: Має на меті відновлення лісових масивів на деградованих землях. Це включає підготовку ґрунту, висадку дерев та чагарників, а також подальший догляд за лісовими насадженнями.

3. Водогосподарська рекультивація: Застосовується для відновлення водних об'єктів, таких як ставки, озера чи річки, що зазнали забруднення або пошкоджень. Цей вид рекультивації передбачає очищення водойм, регулювання водних потоків та відновлення берегових ліній.

4. Рекреаційна рекультивация: Спрямована на створення зон відпочинку та рекреаційних територій на місці деградованих земель. Це може включати облаштування парків, спортивних майданчиків, зон для пікніків тощо.

5. Промислова рекультивация: Застосовується для відновлення земель, пошкоджених внаслідок промислової діяльності, таких як кар'єри, шахти або звалища відходів. Цей вид рекультивации передбачає очищення та стабілізацію ґрунтів, а також створення умов для подальшого використання цих ділянок.

Вибір виду рекультивации залежить від конкретних умов та потреб. У деяких випадках може знадобитися комбінація різних видів рекультивации для досягнення оптимальних результатів.

Особливості рекультивации пошкоджених військовими діями земель

Рекультивация земель, пошкоджених внаслідок військових дій, має свої особливості та виклики. Такі ділянки часто зазнають значних руйнувань, забруднення важкими металами, вибуховими речовинами та іншими токсичними сполуками. Це створює додаткові перешкоди для відновлення родючості ґрунтів та екосистем.

Під час рекультивации пошкоджених військовими діями земель необхідно вжити таких заходів:

1. Розмінування та очищення: Першочерговим кроком є ретельне розмінування території та видалення залишків вибухових речовин, снарядів та інших небезпечних предметів. Це забезпечить безпеку для подальших робіт і запобігатиме додатковому забрудненню ґрунтів.

2. Оцінка рівня забруднення: Проводиться детальний аналіз ґрунтів та водних ресурсів на наявність важких металів, токсичних речовин та радіоактивних матеріалів. Це допоможе визначити масштаби забруднення та розробити відповідні стратегії очищення.

3. Очищення ґрунтів: Залежно від виявлених забруднювачів, можуть застосовуватися різні методи очищення ґрунтів, такі як фізико-хімічні, біологічні або термічні. Це дозволить видалити або знизити концентрацію токсичних речовин до безпечного рівня.

4. Відновлення рельєфу та дренажу: Військові дії часто призводять до утворення воронки, траншей та інших порушень рельєфу. Необхідно провести планування території, відновити природні водотоки та забезпечити належний дренаж для запобігання ерозії та затоплення.

5. Відновлення рослинного покриву: Після очищення та стабілізації ґрунтів, важливим кроком є відновлення рослинного покриву. Це може включати висадку трав'яних культур, чагарників або дерев, залежно від майбутнього призначення ділянки.

6. Моніторинг та догляд: Регулярний моніторинг рівня забруднення, стану ґрунтів та рослинності є необхідним для забезпечення ефективності рекультивації та виявлення потенційних проблем на ранніх стадіях.

Рекультивація пошкоджених військовими діями земель вимагає ретельного планування, залучення фахівців різних галузей та достатніх ресурсів. Успішне відновлення цих ділянок має важливе значення для забезпечення екологічної безпеки, збереження біорізноманіття та сталого розвитку постраждалих регіонів.

Технології та методи рекультивації земель

Для успішної рекультивації земель використовуються різноманітні технології та методи, які постійно вдосконалюються завдяки науково-дослідним дослідженням. Розглянемо деякі з них:

1. Біоремедіація: Це процес використання живих організмів, таких як бактерії, гриби або рослини, для очищення ґрунтів та водних ресурсів від забруднення. Біоремедіація є екологічно безпечним та ефективним методом, який дозволяє розкласти або нейтралізувати токсичні речовини.

2. Фіторемедіація: Цей метод передбачає використання спеціально підібраних рослин для поглинання, акумуляції або деградації забруднюючих речовин у ґрунті або воді. Фіторемедіація є економічно вигідним та екологічно сталим підходом до очищення забруднених ділянок.

3. Технології відновлення ґрунтів: Для відновлення родючості ґрунтів застосовуються різні технології, такі як внесення органічних добрив,

компостування, вапнування, а також використання біологічних препаратів та мікроорганізмів для покращення структури ґрунту.

4. Інженерні методи: Залежно від характеру пошкоджень, можуть знадобитися інженерні рішення, такі як планування рельєфу, будівництво дренажних систем, укріплення берегів або створення гідротехнічних споруд.

5. Геоінформаційні системи (ГІС): ГІС-технології відіграють важливу роль у плануванні та моніторингу рекультиваційних робіт. Вони дозволяють збирати, аналізувати та візуалізувати просторові дані про стан земель, рівні забруднення та прогрес рекультивації.

6. Дистанційне зондування: Використання супутникових знімків, безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та інших методів дистанційного зондування дозволяє ефективно відстежувати зміни на рекультивованих ділянках, виявляти проблемні зони та оцінювати успішність відновлення рослинного покриву.

7. Моделювання та прогнозування: Комп'ютерне моделювання та прогнозування використовуються для симуляції різних сценаріїв рекультивації, оцінки потенційних ризиків та розробки оптимальних стратегій відновлення земель.

Вибір відповідних технологій та методів залежить від конкретних умов ділянки, рівня забруднення, наявних ресурсів та цілей рекультивації. Часто використовується комбінація кількох підходів для досягнення найкращих результатів.

Рекультивація земель є важливим етапом відновлення територій, які постраждали внаслідок військових дій. Цей процес вимагає комплексного підходу, залучення різних технологій та експертизи у галузі екології та землекористування. Відновлення родючості ґрунтів, поліпшення гідрологічних умов та відновлення екосистем є ключовими завданнями, які потребують термінового вирішення.

Наслідки нерекультывації можуть бути катастрофічними як для природи, так і для людей. Успішні приклади з інших країн свідчать про можливість відновлення навіть у найскладніших умовах.

Залучення місцевих громад до процесу рекультивациі, використання новітніх технологій та дотримання правових норм є важливими аспектами для досягнення успіху. Лише завдяки комплексному підходу можна досягти відновлення земель, які постраждали внаслідок війни, і повернути їх у використання для суспільства.

3.4. Ренатуралізація земель

Ренатуралізація земель — це процес повернення деградованих територій, таких як осушені торфовища та заболочені угіддя, до їхнього первісного, природного стану. В умовах України ця концепція стає особливо актуальною, зважаючи на значні зміни, що сталися внаслідок осушення торфовищ, порушення водно-болотних екосистем та, зокрема, руйнування Каховської греблі. Ренатуралізація передбачає повторне заболочування таких земель та відновлення їх екосистемних функцій, які включають регулювання мікроклімату, підтримку біорізноманіття та запобігання наступальним діям через фізичні бар'єри.

Однак, важливо розуміти, що повна "ренатуралізація" у багатьох випадках є умовним поняттям, оскільки еволюційні зміни в ґрунтах, особливо в осушених органогенних, часто є настільки глибокими, що повернення до початкового стану стає практично неможливим. Мета ренатуралізації — сприяти стійкому відновленню природного балансу земель і підтримці екологічної стабільності в умовах збройного конфлікту та значного антропогенного впливу та, на жаль, в сучасних реаліях України - в умовах збройного конфлікту.

Відновлення природного стану екосистем, таких як заболочені території, зруйновані через осушення або бойові дії, є не лише екологічно важливим, але й економічно доцільним, оскільки природні екосистеми виконують багато ключових функцій: регулюють мікроклімат, покращують якість води, зберігають вуглець, запобігають ерозії ґрунтів та забезпечують середовище для різноманітних видів флори і фауни[70].

Основні підходи до ренатуралізації земель

Ренатуралізація земель є складним і багатогранним процесом, який вимагає врахування екологічних, економічних та соціальних аспектів. Ця процедура

включає кілька стратегій, що використовуються для різних типів екосистем, залежно від їхнього початкового стану і рівня деградації. У цьому процесі можна виділити три основні підходи: повторне заболочування, розвиток процесів природного самовідновлення, а саме через залуження та сприяння природному відновленню екосистем за допомогою сільватизації.

1. Повторне заболочування та відновлення водно-болотних угідь

Однією з основних стратегій ренатуралізації є відновлення заболочених територій, особливо на місцях осушених торфовищ і деградованих болотних екосистем. Водні і водно-болотні екосистеми є ключовими для екологічного балансу, оскільки вони відіграють значну роль у регулюванні гідрологічних процесів, очищенні води та підтримці біорізноманіття. Повторне заболочування, як стратегія ренатуралізації, особливо актуальне для земель, які раніше були осушені або використовувалися для сільського господарства. Основні кроки, що входять у процес відновлення таких земель, включають:

- Відновлення гідрологічного режиму. Першим кроком у повторному заболочуванні є відновлення водного балансу території. Це досягається перекриттям дренажних систем, що були створені для осушення території, або ж регулюванням рівня ґрунтових вод.

- Відновлення торфових шарів. Осушення торфовищ спричиняє деградацію торфових шарів, які утворювалися протягом століть. Для цього можуть бути використані технології, що сприяють утворенню нового торфу. Для відновлення торфових шарів проводиться висадка спеціальних рослин, які сприяють накопиченню органічної маси, зокрема мохів, які швидко адаптуються до умов заболочення і поступово сприяють утворенню нового торфу[71].

- Створення умов для відновлення природної флори і фауни. Відновлені болота виконують роль природних фільтрів, очищаючи воду, контролюючи процеси ерозії та підтоплення. Такі території також слугують ареалами для унікальних видів рослин і тварин, зокрема для водоплавних птахів та земноводних, які є ключовими ланками екосистемних ланцюгів.

2. Відновлення рослинного покриву та залуження

Відновлення природного рослинного покриву на деградованих землях, таких як осушені торфовища або сільськогосподарські угіддя, є важливим аспектом ренатуралізації. Залуження включає висадку багаторічних трав і рослин, які мають здатність стабілізувати ґрунти, запобігати ерозії та підтримувати біорізноманіття. Основні підходи до відновлення рослинного покриву включають:

- Створення високопродуктивних луків. За відсутності природного відновлення на певних ділянках може застосовуватись штучне залуження — посів багаторічних трав і культур, які стабілізують ґрунти. Однак, цей підхід може бути економічно затратним і потребує ретельного планування, що включає розробку ґрунтово-гідрологічних карт та добір видів рослин.

- Переваги екосистемного підходу. Однією з переваг екосистемного підходу до залуження є сприяння природній сукцесії рослин, коли рослинний покрив розвивається природним шляхом без втручання людини. Такий підхід дозволяє ділянці поступово відновлюватися до стану стійкої екосистеми, що значно знижує витрати на підтримку та догляд за луками. Сукцесія є природним процесом, який дозволяє рослинності адаптуватися до ґрунтово-гідрологічних умов території.

- Адаптація під місцеві види рослин. Для досягнення найкращих результатів у ренатуралізації використовують саме локальні види рослин, які добре адаптовані до кліматичних умов і особливостей ґрунту. Це не лише знижує ризики виникнення інвазивних видів, але й підтримує біорізноманіття, оскільки місцеві види є джерелом їжі та середовищем існування для тварин, які мешкають у цьому регіоні.

3. Сильватизація та природне самовідновлення

Сильватизація, або природне заростання території лісовою та чагарниковою рослинністю, є ефективним методом відновлення земель, особливо в умовах обмежених ресурсів або потреби в довготривалому моніторингу. Цей метод включає мінімальне втручання людини та стимулює природний процес відновлення екосистеми:

- Сукцесія рослин і природний розвиток. Сильватизація є поступовим процесом, під час якого природні види рослин і дерев починають заселяти територію, утворюючи стійкі екосистеми. Цей метод не потребує значних фінансових вкладень, адже покладається на природні процеси відновлення рослинного покриву, що включає поступове повернення до природних екосистем.

- Моніторинг процесу сильватизації. У процесі ренатуралізації важливо відстежувати зміни в рослинності та, за необхідності, здійснювати корекційні заходи. У випадку появи негативних факторів, таких як інвазивні види або захворювання рослин, можуть бути введені корекційні заходи для спрямування процесу відновлення в правильне русло.

- Переваги сильватизації для постаквальних земель. Сильватизація може бути особливо корисною для земель, що звільнені від води, як-от дно Каховського водосховища. У цих умовах природне заростання дозволяє забезпечити екологічну стійкість території, оскільки відновлення природного рослинного покриву сприяє стабільному поверненню до природного стану екосистеми, зберігаючи природний ландшафт і біорізноманіття.

Нормативне регулювання ренатуралізації земель в Україні

Українське законодавство надає значної уваги питанням ренатуралізації земель, зокрема захисту природних ландшафтів і відновленню екосистем, що мають екологічне значення. Законодавча база охоплює кілька напрямків, пов'язаних з екологічною безпекою, охороною земель, а також реалізацією природоохоронних програм на державному та міжнародному рівнях.

1. Законодавча база. Земельний кодекс України, закони "Про охорону навколишнього природного середовища", "Про природно-заповідний фонд" та інші нормативні акти закладають основу для регулювання ренатуралізації. Ці закони передбачають заходи щодо збереження природних ландшафтів, відновлення деградованих земель та збереження унікальних видів рослин і тварин, що мешкають на заболочених і торф'яних територіях.

2. Міжнародні зобов'язання. Україна є учасницею Рамсарської конвенції, яка встановлює міжнародні стандарти для збереження та стійкого використання

водно-болотних угідь[72]. Участь у таких програмах дозволяє країні інтегрувати найкращі світові практики для відновлення земель, які мають важливе екологічне значення.

3. Державні програми. Уряд України створив Координаційну раду з питань збереження, збалансованого використання та відновлення водно-болотних угідь України[73]. Це включає проекти з відновлення водно-болотних угідь, а також програми з моніторингу екосистем та охорони природних ресурсів.

Ренатуралізація земель є важливим елементом екологічної політики України. У сучасних умовах, коли деградація земель через антропогенну діяльність і військові дії стала серйозною загрозою, відновлення екосистем є необхідним для забезпечення екологічної стійкості. Використання природних методів, таких як силіватизація, відновлення боліт і залуження, у поєднанні з екологічними технологіями, дозволяє повернути деградовані землі до їхнього природного стану.

3.5. Відновлення забруднених земель

Проблема забруднення ґрунтів набуває все більшої актуальності, особливо в країнах, що зазнали екологічних втрат через інтенсивні військові дії. Відновлення забруднених земель – це комплексний процес, який вимагає всебічного підходу та врахування багатьох екологічних, економічних, технічних та соціальних факторів. Очищення ґрунтів є критично важливим завданням для забезпечення продовольчої безпеки, збереження природних ресурсів і відновлення стабільних екосистем. У випадку України це питання є надзвичайно актуальним через збройний конфлікт, який призвів до масштабного забруднення ґрунтів різними токсичними речовинами, включаючи важкі метали, вибухові речовини, паливно-мастильні матеріали та інші токсиканти.

Відомо, що наслідки забруднення ґрунтів можуть зберігатися десятиліттями, якщо не вживати належних заходів. Однак сучасна наука пропонує широкий спектр методів ремедіації, які дозволяють не тільки очистити ґрунти, але й відновити їхню родючість та екосистемні функції. Далі будуть детально розглянуті види забруднення ґрунтів, методи їх відновлення, а також

запропоновано рекомендації щодо вибору оптимальних технологій з урахуванням українських реалій.

Проблеми забруднення земель унаслідок воєнних дій.

Військові дії є одним із найсерйозніших факторів деградації земель. Воєнні конфлікти впливають на всі компоненти екосистеми, включаючи ґрунти, водні ресурси та рослинність. Вибухи боєприпасів, руйнування інфраструктури, витіки хімічних речовин та палива призводять до хімічного забруднення ґрунтів та води, що у свою чергу впливає на здоров'я людини через ланцюги живлення.

Види забруднювачів та їх вплив на ґрунти

Забруднення ґрунтів в умовах військових дій набуває багатогранного характеру, охоплюючи кілька основних видів токсичних речовин:

- Важкі метали: свинець, кадмій, хром, мідь, цинк та інші метали, що містяться у вибухових речовинах і боєприпасах. Ці елементи накопичуються в ґрунті та можуть мігрувати до водних ресурсів, негативно впливаючи на здоров'я людей і тварин через харчовий ланцюг.
- Вибухові речовини: тротил, гексоген, октоген та інші компоненти, які використовуються в боєприпасах. Ці речовини можуть зберігати свою токсичність протягом десятиліть, утворюючи хімічно стійкі залишки в ґрунті. Під час розкладу вибухові речовини утворюють похідні, що також є небезпечними для екологічного балансу.
- Органічні забруднювачі: вуглеводні, нафтові продукти, залишки палива та мастил. Ці речовини потрапляють у ґрунт унаслідок витоків палива, знищення техніки та інших воєнних дій. Вони мають високий ступінь токсичності та здатність проникати в глибокі шари ґрунту, забруднюючи підземні води.
- Хімічні речовини: хлориди, фосфати, пестициди та інші хімічні сполуки, які можуть залишатися в ґрунті після руйнування інфраструктури, складів хімічних речовин чи пригорілих територій. Їхня присутність може суттєво впливати на кислотність ґрунту та його фізико-хімічні властивості.

- Радіоактивні речовини: у випадку використання або руйнування об'єктів з радіоактивними матеріалами, забруднення може включати радіоактивні елементи, що вимагає спеціалізованих методів очищення.

Відомо, що ці речовини не тільки накопичуються у верхніх шарах ґрунту, але й можуть мігрувати до підземних вод, забруднюючи водойми, які використовуються для зрошення та пиття. Наприклад, у Харківському районі були зафіксовані високі концентрації кадмію, свинцю та хрому в ґрунтових водах, що перевищують допустимі норми.

Екологічні наслідки забруднення

Забруднення ґрунтів призводить до втрати родючості, зниження біорізноманіття, погіршення якості сільськогосподарської продукції, а також негативно впливає на здоров'я населення. Важкі метали та інші токсичні речовини можуть накопичуватися в продуктах рослинництва та потрапляти в організм людини, викликаючи хронічні захворювання. Також забруднення ґрунтів впливає на якість води, оскільки токсичні речовини можуть мігрувати в підземні та поверхневі води.

У зонах бойових дій, таких як Донбас, були зафіксовані випадки підвищеного рівня важких металів у водних ресурсах, що використовуються для зрошення[74]. Це свідчить про необхідність контролю та відновлення не лише ґрунтів, але й водних екосистем.

Основні підходи до ремедіації забруднених ґрунтів

Ефективне відновлення забруднених земель потребує використання різноманітних методів, які можуть бути комбіновані залежно від типу забруднення, географічних умов та економічних можливостей. Розглянемо детально кожен з основних методів:

- Фізичні методи

Фізичні методи ремедіації спрямовані на механічне вилучення або ізоляцію забруднювачів. Ці методи є одними з найефективніших при високих рівнях забруднення, але можуть бути дорогі. Розглянемо основні фізичні методи:

- Механічне видалення забрудненого шару ґрунту: цей метод полягає у знятті верхнього шару ґрунту, що містить найбільшу кількість забруднювачів. Для цього використовуються спеціальні екскаватори, бульдозери та інше обладнання. Перевагою цього методу є можливість швидкого зниження концентрації токсичних речовин у ґрунті, але він потребує великих витрат на транспортування та захоронення забрудненого матеріалу.

- Промивка ґрунтів: метод полягає в пропусканні великих обсягів води або спеціальних розчинів через ґрунт з метою вимивання токсичних речовин. Застосовуються різні технології поливу, такі як дощування, полив по борознах або використання підземних дренажних систем. Промивка може бути більш ефективною за додавання реагентів, які підвищують розчинність важких металів.

- Термічне очищення: передбачає нагрівання ґрунту до високих температур для знищення органічних забруднювачів. Для цього використовуються спеціальні печі або мобільні установки, які можуть обробляти ґрунт безпосередньо на місці забруднення. Термічне очищення ефективно для видалення нафтопродуктів, пестицидів та інших органічних забруднювачів, але може впливати на фізичні властивості ґрунту, зокрема його структуру та вологість.

- Електрокінетична ремедіація: цей метод полягає в застосуванні електричного поля для вилучення іонів металів або інших забруднювачів з ґрунту. Встановлюються електроди, що створюють електричне поле, яке сприяє міграції забруднювачів до катоду або аноду. Метод ефективний для очищення дрібнозернистих ґрунтів, таких як глини, але потребує наявності електричних джерел.

- Бар'єрна технологія: включає створення штучних бар'єрів (наприклад, зіолітових мембран або геотекстилю) для запобігання поширенню забруднювачів у ґрунті. Цей метод використовується для локалізації забруднення та захисту чистих територій.

- Хімічні методи

Хімічні методи базуються на реакціях, які дозволяють нейтралізувати, зв'язати або видалити забруднювачі з ґрунту. Основні хімічні методи включають:

- Хімічне окиснення: використання хімічних окисників (наприклад, перманганат калію, озон, пероксид водню) для перетворення органічних забруднювачів у менш токсичні речовини. Це дозволяє знижувати рівень токсичності ґрунтів, але може призводити до утворення побічних продуктів, які потребують подальшого очищення. Цей метод ефективний для очищення ґрунтів від вибухових речовин і поліциклічних ароматичних вуглеводнів.
- Іммобілізація забруднювачів: метод полягає у зв'язуванні важких металів у ґрунті з використанням меліорантів, які переводять метали у нерозчинні форми, що знижує їхню біодоступність для рослин та мікроорганізмів.. Наприклад, використання вапна дозволяє утворювати нерозчинні сполуки з кадмієм та свинцем, знижуючи їх біодоступність. Це запобігає потраплянню токсичних речовин у рослини та ґрунтові води.
- Хелатизація: застосування хелатоутворювачів (таких як EDTA, DTPA), які здатні зв'язувати важкі метали та переводити їх у розчинні форми. Це дозволяє вилучати забруднювачі з ґрунту, але потребує збору та утилізації вилучених хелатів.
- Зниження кислотності ґрунту: застосування матеріалів, таких як вапно або доломіт, для підвищення рН ґрунту. Це знижує рухомість важких металів, роблячи їх менш біодоступними для рослин.
- Адсорбція та сорбція: використання природних або синтетичних адсорбентів (наприклад, активоване вугілля, цеоліт, вермикуліт) для зв'язування забруднювачів у ґрунті. Ці матеріали мають високу поглинальну здатність і можуть зв'язувати токсичні речовини, запобігаючи їх міграції в ґрунті.
- Осадження токсичних речовин. Використовується для переведення важких металів та інших забруднювачів у нерозчинні форми шляхом додавання реагентів, які створюють малорозчинні сполуки. Наприклад, застосування фосфатів для утворення нерозчинних фосфатів свинцю.

- Біологічні методи

Біологічні методи використовують природні процеси та живі організми для очищення ґрунтів. Ці методи є найбільш екологічно безпечними та довгостроково ефективними, оскільки дозволяють зберегти екологічний баланс ґрунтів:

- ФітореMediaція: використання рослин, які здатні вилучати токсичні речовини з ґрунту. Наприклад, соняшник і кукурудза здатні вилучати свинець, а люцерна та амарант — кадмій. Рослини можуть накопичувати токсичні речовини у своїх тканинах, що дозволяє їх збирати та утилізувати. Після збору ці рослини можуть бути безпечно утилізовані. Метод є дешевим, але потребує багато часу для досягнення значного зниження рівня забруднення.

- Фітоекстракція: вирощування спеціальних рослин-гіперакумуляторів, які здатні поглинати важкі метали. До таких рослин належать гірчиця сарептська, бурячок стінний, резуха Галлера, амарант. Після збору рослини можуть бути перероблені або знищені. Цей метод є відносно дешевим, але потребує тривалого часу для досягнення значних результатів.

- Біодеградація: використання бактерій, грибів або інших мікроорганізмів, які можуть розкласти органічні забруднювачі до менш токсичних компонентів. Наприклад, бактерії роду *Pseudomonas* можуть розкласти нафтопродукти, а гриби *Phanerochaete chrysosporium* здатні до деградації тротилу. Цей метод дозволяє значно знижувати рівень органічного забруднення без застосування додаткових хімічних реагентів.

- Біовентиляція: метод полягає в аерації ґрунту для стимуляції діяльності аеробних мікроорганізмів, які здатні розкласти органічні забруднювачі. Цей метод ефективний для очищення ґрунтів від нафтопродуктів і органічних розчинників.

- Біоусунення: заселення забрудненого ґрунту мікроорганізмами, здатними поглинати важкі метали або розкласти токсичні речовини. Це дозволяє прискорити процес природної ремедіації та забезпечити довгострокове очищення.

- Біосорбція. Застосування органічних адсорбентів, таких як торф, гній, сапропелі, для зниження біодоступності важких металів. Ці матеріали мають високу поглинальну здатність і можуть зв'язувати важкі метали, знижуючи їхню токсичність для рослин.

Рекомендації щодо відновлення забруднених земель

Для ефективного відновлення забруднених ґрунтів в Україні необхідно використовувати комплексний підхід, що включає фізичні, хімічні та біологічні методи. На основі проведених досліджень та світового досвіду пропонується наступне:

- Розробка індивідуальних планів ремедіації для кожного регіону. Забруднення ґрунтів може суттєво відрізнятися залежно від регіону, типу забруднювача та екологічних умов. Тому важливо розробляти індивідуальні плани відновлення для кожної конкретної території з урахуванням її специфічних особливостей.

- Залучення інноваційних технологій. Використання сучасних методів очищення, таких як геоінформаційні системи (ГІС), дистанційне зондування, інфрачервона спектроскопія та інші методи, дозволяє більш точно оцінювати рівень забруднення та контролювати процес ремедіації.

- Створення законодавчої бази для регулювання процесу відновлення. Необхідно розробити нормативні акти, що регламентуватимуть процеси відновлення забруднених земель, включаючи вибір методів ремедіації, моніторинг екологічного стану та відповідальність за порушення норм.

- Проведення екологічного моніторингу. Регулярний моніторинг дозволить оцінювати ефективність проведених заходів та вчасно вносити корективи у план ремедіації. Це сприятиме більш раціональному використанню ресурсів та забезпеченню безпеки.

- Інформування та залучення місцевого населення. Важливо забезпечити інформування населення про екологічні ризики та можливі способи

участі у відновленні забруднених територій. Це сприятиме підвищенню екологічної свідомості та зниженню ризику повторного забруднення.

- Використання природних та синтетичних сорбентів. Застосування таких матеріалів, як цеоліт, вермикуліт, активоване вугілля, дозволить ефективно знижувати біодоступність важких металів у ґрунті. Важливо оцінювати ефективність кожного сорбенту залежно від специфіки забруднення.

- Консервація земель. Для територій з високим рівнем забруднення важливо розробляти стратегії консервації, що можуть включати залуження, залісення або ренатуралізацію. Це дозволить відновити екологічний баланс і забезпечити природне самоочищення ґрунтів.

Відновлення забруднених земель є надзвичайно важливим завданням, що потребує комплексного підходу та залучення різних методів ремедіації. Використання фізичних, хімічних і біологічних методів дозволяє забезпечити ефективне очищення ґрунтів та відновлення їхньої родючості. Успішна реалізація проектів з відновлення забруднених земель залежить від систематичного моніторингу, участі місцевого населення, використання інноваційних технологій та дотримання екологічних норм.

Для забезпечення сталого розвитку та збереження природних ресурсів необхідно впроваджувати екологічно безпечні методи ремедіації, а також розробляти законодавчі механізми, що регулюватимуть процеси відновлення та захисту земельних ресурсів. Лише завдяки комплексному підходу можна досягти відновлення екосистем, підвищення родючості ґрунтів та покращення якості життя населення.

Сформульовані рекомендації дозволяють оцінити перспективи відновлення земельних ресурсів у зонах військових дій. У висновках підсумовано основні результати дослідження, що є основою для подальших наукових розробок та практичної реалізації.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ В ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

4.1. Нормативно-правова база охорони праці

У вузькому сенсі поняття "охорона праці" означає створення безпечних і здорових умов для працівників. Закон України "Про охорону праці" від 14 жовтня 1992 року визначає це поняття як систему заходів правового, соціально-економічного, організаційно-технічного і профілактичного характеру, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності працівників під час виконання ними своїх трудових обов'язків. Виходячи зі змісту закону та інших зазначених вище нормативно-правових актів, більш доцільно, замість терміна "охорона праці" у вузькому розумінні вживати термін "охорона здоров'я працівників на виробництві", оскільки фактично метою таких заходів є саме охорона здоров'я працівника, збереження його працездатності на виробництві під час виконання трудових обов'язків [75].

Сьогодні питання охорони праці нерідко залишаються поза увагою роботодавців. Такий стан охорони здоров'я на виробництві пояснюється передусім важким економічним становищем держави, а також іншими об'єктивними і суб'єктивними причинами, які полягають у зносі основних виробничих фондів, у тому, що немає зацікавленості власників у поліпшенні умов і безпеки праці, в некомпетентності більшості персоналу в питаннях охорони здоров'я, в низькій трудовій і технологічній дисципліні, в недостатній ролі органів нагляду і контролю за дотриманням законодавства про працю й охорону здоров'я у процесі праці. В умовах, що не відповідають санітарно-гігієнічним нормам, працює понад 3,4 млн чоловік. Забезпеченість працюючих засобами індивідуального захисту не перевищує 40—50%. Щорічні виплати на відшкодування шкоди, заподіяної життю і здоров'ю працюючих, сягають 400 млн грн. Особливу тривогу викликає зростання кількості аварій з груповими нещасними випадками.

Існує необхідність реформування системи охорони праці задля істотного зниження рівня виробничого травматизму і професійних захворювань, зменшення чинників шкідливого впливу на організм працюючих і вивільнення працівників з шкідливих і важких умов праці. Для цього необхідно: завершити формування системи управління охороною праці на регіональному і виробничому рівнях для підприємств, установ, організацій усіх форм власності, видів діяльності; здійснити перегляд законодавчих і нормативних актів з питань охорони праці з урахуванням вимог нормативних актів Європейського Союзу; прийняти законодавчі акти про об'єкти підвищеної небезпеки і про безпеку промислової продукції; перейти до територіально-галузевого принципу здійснення державного нагляду за охороною здоров'я в процесі праці; забезпечити стабільне фінансування заходів щодо питань охорони здоров'я тощо.

Найважливіші норми щодо охорони здоров'я працівників на виробництві закріплені в Законі України "Про охорону праці" від 14 жовтня 1992 р, у трьох главах КЗпП [глава XI "Охорона праці", глава XII "Праця жінок", глава XIII "Праця молоді"), а також у підзаконних актах — положеннях, правилах, інструкціях, актах соціального партнерства, локальних нормативно-правових актах[75 с. 668][76].

Права громадян, у тому числі працівників, закріплені у відповідних нормативно-правових актах, може бути реалізовано тільки за умови, якщо в нормативному порядку будуть встановлені для цього необхідні гарантії.

Закон України "Про охорону праці" передбачає цілий ряд гарантій прав громадян на охорону праці як при укладенні трудового договору, так і під час роботи на підприємстві[75].

Чинне законодавство передбачає систему гарантій щодо охорони здоров'я працівників на виробництві. Згідно зі ст. 43 Конституції України кожен має право на належні, безпечні й здорові умови праці. Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється[77].

При укладенні трудового договору громадянин повинен бути проінформований власником під розписку про умови праці на підприємстві,

наявність на робочому місці небезпечних і шкідливих виробничих чинників, про можливі наслідки їх впливу на здоров'я і про його права на пільги і компенсації за роботу в таких умовах. Забороняється укладення трудового договору з громадянином, якому згідно з медичним висновком протипоказана запропонована робота за станом здоров'я[78].

Основним законом, що гарантує право громадян на безпечні та нешкідливі умови праці, є Конституція України. У Конституції проголошено, що громадяни України мають право на працю, яку вони вільно обирають, або на яку погоджуються[77].

Роботодавець (власник підприємства) зобов'язаний забезпечити нешкідливі умови праці відповідно до вимог безпеки і гігієни праці[78].

Держава створює умови для повної зайнятості працездатного населення, рівні можливості для громадян у виборі професії та роду трудової діяльності, здійснює програми професійно-технічного навчання, підготовки та перепідготовки робітників.

Реалізація цих прав здійснюється через виконання вимог, викладених у законодавчих актах щодо охорони праці, а саме:

- Кодексі законів про працю України;
- Законі «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності»;
- Законі «Про охорону праці»;
- Законі «Про пожежну безпеку»;
- Законі «Про охорону здоров'я»;
- Законі «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- Законі «Про колективні договори і угоди»;
- Законі «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку»;
- Законі «Про поводження з радіоактивними відходами»;
- Законі «Про дорожній рух».

Закон України «Про охорону праці» — це самостійна гілка в законодавстві України про працю. Закон визначає основні положення конституційного права громадян на охорону життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці, а також встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні[78].

Дія закону поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форми власності та видів діяльності (далі — підприємство), фізичних осіб, які, відповідно до законодавства, використовують найману працю, та на всіх громадян, які працюють за наймом.

Закон не відмінив жодної з діючих норм і дозволив:

- створити органи управління охороною праці та систему органів нагляду за охороною праці;
- створити власну нормативну базу з охорони праці;
- забезпечити гласність з питань охорони праці;
- ввести економічні важелі управління охороною праці;
- визначити роль колективних договорів;
- увести нові інститути управління і нагляду за охороною праці на підприємстві (уповноважені найманими працівниками особи з питань охорони праці);
- розпочати підготовку дипломованих спеціалістів з охорони праці.

Основні принципи державної політики в галузі охорони праці:

- пріоритет життя і здоров'я працюючих, відповідальність ро-ботодавця за створення безпечних і здорових умов праці;
- комплексне вирішення завдань охорони праці на основі створення національної програми поліпшення безпеки, гігієни праці та виробничого середовища;
- соціальний захист працівників, повне відшкодування шкоди потерпілим від нещасних випадків, профзахворювань;
- встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності;

- організація навчання населення, професійної підготовки і під-вищення кваліфікації працюючих з питань охорони праці.

Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» визначає правову основу, економічний механізм та організаційну структуру загальнообов'язкового державного соціального страхування громадян від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які призвели до втрати працездатності або загибелі застрахованих на виробництві[79].

Завдання страхування від нещасних випадків:

- здійснення профілактичних заходів, спрямованих на усунення шкідливих і небезпечних виробничих факторів, запобігання нещасним випадкам на виробництві, професійним захворюванням;

- відновлення здоров'я та працездатності потерпілих на виробництві від нещасних випадків або професійних захворювань;

- відшкодування матеріальної та моральної шкоди застрахованим і членам їх сімей.

Дія Закону поширюється на осіб, які працюють за умовами трудового договору на підприємствах і організаціях незалежно від форм власності, а також на осіб, які забезпечують себе роботою самостійно.

Гарантом забезпечення прав у страхуванні від нещасних випадків на виробництві для всіх застрахованих є держава[79].

Кодекс законів про працю України — основний закон національного трудового законодавства.

Законодавство про працю України визначає правові засади і гарантії здійснення громадянами України права розпоряджатися своїми здібностями до продуктивної і творчої праці, регулює трудові відносини працівників усіх підприємств, установ незалежно від форм власності, виду діяльності й галузевої належності[76].

Працівники реалізують право на працю укладанням трудового договору на підприємстві, в установі тощо.

Працівники мають право на:

- відпочинок відповідно до законів про обмеження робочого дня та робочого тижня і про щорічні оплачувані відпустки;
- здорові й безпечні умови праці;
- матеріальне забезпечення в порядку соціального страхування в старості, у разі хвороби, втрати працездатності, а також матеріальну допомогу в разі безробіття;
- об'єднання в професійні спілки;
- вирішення колективних трудових конфліктів.

Умови договорів про працю, які порушують чинне законодавство України про працю, вважаються недійсними[76].

Закон України «Про охорону здоров'я населення» визначає правові, організаційні, економічні та соціальні основи охорони здоров'я населення в Україні[80].

За Конституцією України кожен громадянин України має право на охорону здоров'я[77]. Це право передбачає:

- життєвий рівень, необхідний для підтримання здоров'я людини;
- безпечне для життя і здоров'я навколишнє природне середовище;
- безпечні та здорові умови праці, навчання, побуту і відпочинку;
- кваліфіковану медико-санітарну допомогу, до якої входить також вільний вибір лікаря та медичної установи;
- матеріальну компенсацію за втрачене здоров'я.

Отже, поняття «охорона праці» визначено статтею 1 Закону України «Про охорону праці». Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі праці[78].

Головною метою охорони праці є створення на кожному робочому місці безпечних умов праці, безпечної експлуатації обладнання, зменшення або повна нейтралізація дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на організм

людини і, як наслідок, зниження виробничого травматизму та професійних захворювань.

Створення безпечних і здорових умов праці сприяє підвищенню її продуктивності та зниженню собівартості продукції. Підвищення продуктивності відбувається за рахунок зниження стомлюваності працюючих протягом робочого часу, його раціонального використання. Собівартість продукції знижується при зменшенні витрат на компенсацію втрат робочого часу в зв'язку з тимчасовою або стійкою непрацездатністю, а також при зниженні витрат на оплату пільг за роботу в несприятливих умовах.

У Законі «Про охорону праці» вперше в історії України економічні заходи управління охороною праці зведені до рангу державної політики. Цим Законом у суспільстві стверджуються принципово нові взаємовідносини, що базуються на економічному механізмі управління умовами праці — формуванні у власника (роботодавця) економічної зацікавленості у здійсненні заходів щодо поліпшення умов праці[78].

4.2. Особливості організації охорони праці під час відновлювальних робіт на землях

Охорона праці є однією з ключових складових ефективної та безпечної діяльності в будь-якій сфері господарства, особливо у контексті відновлювальних робіт на землях, що постраждали від збройних конфліктів. Війна завдає не лише економічних збитків і руйнує інфраструктуру, а й створює небезпечні умови для працівників, які залучені до відновлення сільськогосподарських угідь, рекультивациі земель і відбудови об'єктів. У цьому контексті організація охорони праці набуває особливого значення, адже вона забезпечує збереження життя і здоров'я робітників та мінімізує ризики під час виконання небезпечних завдань.

Відновлювальні роботи на землях, пошкоджених унаслідок військових дій, є багатограним процесом, що включає різноманітні етапи: розмінування територій, очищення ґрунтів від забруднень, реконструкцію іригаційних систем,

відновлення дорожньої інфраструктури та обробку земель для сільськогосподарських цілей. Кожен із цих етапів супроводжується специфічними ризиками, які потребують особливого підходу до забезпечення охорони праці.

Одним із найнебезпечніших аспектів є роботи, пов'язані з розмінуванням земель. Багато територій, особливо на сході та півдні України, залишаються замінованими. Працівники, які здійснюють розмінування, піддаються постійній загрозі вибухів та інших небезпечних ситуацій. У такому контексті надзвичайно важливим є суворе дотримання міжнародних стандартів безпеки, зокрема протоколів, встановлених Женевськими конвенціями та рекомендаціями таких організацій, як HALO Trust і GICHD. Забезпечення працівників спеціалізованим обладнанням, зокрема метало-детекторами, бронежилетами, шоломами та іншими засобами індивідуального захисту, є першочерговим завданням роботодавців. Крім того, необхідно проводити регулярні навчання та тренінги для саперів та інших фахівців, які беруть участь у цих роботах.

Ще одним важливим аспектом охорони праці є роботи з очищення ґрунтів від хімічних забруднень. Внаслідок бойових дій ґрунти можуть бути забруднені важкими металами, нафтопродуктами та іншими токсичними речовинами. Робітники, які здійснюють екологічну реабілітацію земель, повинні працювати в спеціальних захисних костюмах, респіраторах і рукавичках, що мінімізують контакт із небезпечними речовинами. Організація робочих місць повинна передбачати наявність спеціальних пунктів для дезактивації та зняття забрудненого одягу. Крім того, роботодавці зобов'язані забезпечити регулярний медичний контроль за станом здоров'я працівників та надавати їм доступ до засобів першої медичної допомоги.

Особливості організації охорони праці також стосуються відновлення інфраструктури, зокрема дорожніх і іригаційних систем. Під час виконання цих робіт основними ризиками є падіння з висоти, ураження електричним струмом та травмування важкою технікою. Щоб мінімізувати ці ризики, необхідно забезпечити працівників інструктажами з техніки безпеки, а також контролювати дотримання правил експлуатації машин і механізмів. Використання сигнальних

знаків, огорож і спеціального освітлення дозволяє попередити нещасні випадки, особливо у нічний час або за умов обмеженої видимості.

Значна увага повинна приділятися психологічному стану працівників. Люди, які беруть участь у відновлювальних роботах у постконфліктних зонах, часто працюють у стресових умовах, що може призводити до емоційного вигорання та зниження рівня концентрації. Для запобігання цьому необхідно створити систему психологічної підтримки, яка включає консультації з фахівцями, групові тренінги та відпочинкові програми. Важливо також забезпечити комфортні умови праці, зокрема доступ до питної води, санітарних приміщень і зон відпочинку.

Роль держави у забезпеченні охорони праці під час відновлювальних робіт є визначальною. Вона повинна розробляти нормативно-правові акти, що регламентують безпеку праці, та контролювати їх виконання. Зокрема, законодавство України у сфері охорони праці має бути адаптоване до умов поствоєнного періоду та враховувати специфічні ризики відновлювальних робіт. Державні органи, такі як Державна служба України з питань праці, повинні проводити регулярні інспекції та надавати методичну допомогу підприємствам. Крім того, держава має забезпечувати фінансування програм з охорони праці та підтримувати ініціативи з підвищення кваліфікації працівників.

Міжнародна співпраця є ще одним важливим елементом організації охорони праці. Міжнародні організації можуть надавати фінансову та технічну підтримку, ділитися досвідом і забезпечувати доступ до сучасних засобів безпеки. Співпраця з такими структурами, як Міжнародна організація праці (МОП) та Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ), сприятиме підвищенню рівня безпеки праці та впровадженню кращих світових практик.

У підсумку, організація охорони праці під час відновлювальних робіт на землях, що постраждали від війни, потребує комплексного підходу. Вона має враховувати фізичні, хімічні та психологічні ризики, забезпечувати працівників необхідними засобами захисту та створювати безпечні умови для виконання робіт. Тільки за умови ефективного координації зусиль держави, роботодавців та

міжнародних партнерів можна забезпечити безпечне та продуктивне відновлення земельних ресурсів України.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі отримано нові результати, які полягають у вдосконаленні теоретичних та практичних підходів до відновлення земель, пошкоджених унаслідок військових дій. На основі проведеного дослідження сформульовано такі висновки і рекомендації:

1. Проведено аналіз основних видів деградації земель, спричинених військовими конфліктами, включаючи механічні, хімічні та біологічні пошкодження. Зокрема, виділено специфіку впливу російсько-української війни на стан ґрунтів, що характеризується значним забрудненням важкими металами та токсичними сполуками.

2. На основі історичних прикладів (Першої світової війни, конфліктів у В'єтнамі та Югославії) доведено, що відновлення земельних ресурсів вимагає комплексного підходу, який включає рекультивацію, ремедіацію та меліорацію.

3. Розроблено практичні рекомендації щодо відновлення ґрунтів через застосування біологічних методів ремедіації, зокрема, використання спеціальних мікроорганізмів та рослин для нейтралізації забруднювачів. Це дозволяє ефективно очищувати ґрунт від нафтопродуктів та важких металів.

4. Запропоновано заходи з оптимізації структури посівних площ, що передбачають впровадження культур, здатних до збагачення ґрунту та підтримки його природного балансу. Особливу увагу приділено необхідності захисту земель від ерозії через створення захисних лісосмуг та інших природних бар'єрів.

5. Рекомендовано використовувати сучасні технології для моніторингу стану земель та контролю за їх відновленням, що забезпечить своєчасне виявлення деградаційних процесів і мінімізацію їх наслідків.

Отримані результати можуть бути застосовані в практиці органів державного управління, а також аграрних і екологічних організацій для планування та реалізації програм відновлення земельних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хайдершайдт Д. Вплив Першої світової війни на ліси та ґрунти Європи [Електронний ресурс] // Журнал студентських досліджень в Університеті Північного Колорадо. 2019. Т. 7, № 3. URL: <https://digscholarship.unco.edu/urj/vol7/iss3/3>
2. Гірчичний газ [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mustard_gas
3. Шишак І. Понад 100 років закрита від людей: небезпечна "Червона Зона" відчуження, яка отруєна війною [Електронний ресурс] URL: https://24tv.ua/ponad-100-rokiv-zakrita-vid-lyudey-smertonosna-ostanni-novini_n1454247
4. Морфінов С. Верденська м'ясорубка: чому цю битву Першої світової війни порівнюють з Бахмутом [Електронний ресурс] // BBC News Україна. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/cbpzjgl8945o>
5. Червона зона (наслідки війни) [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Червона_зона_\(наслідки_війни\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Червона_зона_(наслідки_війни))
6. Деградація земель [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Деградація_земель
7. У червоних зонах Франції Перша світова війна так і не закінчилася [Електронний ресурс] // Big Think. URL: <https://bigthink.com/strange-maps/zones-rouges/>
8. Битва під Верденом [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Battle_of_Verdun#/media/File:Battelfield_Verdun.JPG

9. Боєприпаси та хімія: як війна шкодить ґрунтам і які є рішення? [Електронний ресурс] // Рубрика. URL: <https://rubryka.com/article/soil-ukraine/>
10. Евертс С. Знайте свою хімічну зброю часів Першої світової війни [Електронний ресурс] // Журнал дистиляції. URL: <https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/a-brief-history-of-chemical-war/>
11. Практичний посібник з медичного лікування постраждалих від хімічної війни [Електронний ресурс] / Організація із заборони хімічної зброї, Відділ міжнародного співробітництва та допомоги, Відділення допомоги та захисту. URL: https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/2019/05/Full%20version%202019_Medical%20Guide_WEB.pdf
12. Женевський протокол [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Женевський_протокол
13. Толуб'як І. Історики розповіли, чому в Другій світовій війні не використовували хімічну зброю [Електронний ресурс] URL: <https://gsminfo.com.ua/64194-istoryky-rozpovily-chomu-v-drugij-svitovij-vijni-ne-vykorystovuvaly-himichnu-zbroyu.html>
14. Хімічна зброя [Електронний ресурс] // Велика українська енциклопедія. URL: https://vue.gov.ua/Хімічна_зброя
15. Витоки екоциду: перегляд стежок Хошиміну під час війни у В'єтнамі [Електронний ресурс] // Портал «Навколишнє середовище і суспільство». URL: <https://www.environmentandsociety.org/arcadia/origins-ecocide-revisiting-ho-chi-minh-trail-vietnam-war>

16. Екологічна війна США проти В'єтнаму [Електронний ресурс] // Історія. URL: <https://www.istoriya.in.ua/ekologichna-vijna-ssha-proti-vyetnamu-v2.html>
17. Агент апельсин: отрута, яка залишилася [Електронний ресурс] URL: <https://chomu.koshachek.com/articles/agent-apelsin-otruta-jaka-zalishilasja-spektr.html>
18. В'єтнам витратить \$12 млн на підготовку колишньої авіабази США до кампанії з очищення від діоксину [Електронний ресурс]. URL: <https://e.vnexpress.net/news/news/vietnam-to-spend-12mln-preparing-former-us-air-base-for-dioxin-cleanup-campaign-3643119.html>
19. Ши М. Війна у В'єтнамі 50 років по тому: сім причин, чому США програли [Електронний ресурс] // BBC News Україна. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-65102977>
20. Хімічна зброя страшні наслідки [Електронний ресурс] URL: <https://www.legaltechnique.org/articles/aziya/himicheskoe-oruzhie-strashnie-posledstviya-bull-novosti-v-fotografyah.html>
21. Банут Я. Агент Оранж все ще помітний у сільській місцевості центрального В'єтнаму [Електронний ресурс] // Journal of Environmental and Public Health. 2014. URL: <https://www.hindawi.com/journals/jeph/2014/528965/>
22. Лу Ч. Катастрофа тайфуну у В'єтнамі висвітлює важке становище найбідніших людей [Електронний ресурс] // The Conversation. URL: <https://theconversation.com/vietnams-typhoon-disaster-highlights-the-plight-of-its-poorest-people-84274>
23. Стрінгер Л. С. Мангрові зарості – щит природи від тайфунів і цунамі [Електронний ресурс] // The Conversation. URL:

<https://theconversation.com/mangroves-natures-shield-against-typhoons-and-tsunami-21051>

24. Нгуєн Хонг Ф. Лісовідновлення мангрових заростей після сильного впливу гербіцидів під час війни у В'єтнамі [Електронний ресурс] // FAO. URL: <https://www.fao.org/4/y2795e/y2795e11.htm>

25. 55 затяжних років болю Агент Оранжа [Електронний ресурс] // Vietnam News Agency. URL: <https://vietnam.vnnet.vn/english/tin-tuc/55-years-of-lingering-agent-orange-pains-124745.html>

26. Екологічна війна США проти В'єтнаму [Електронний ресурс] // Історія. URL: <https://www.istoriya.in.ua/ekologichna-vijna-ssha-proti-vyetnamu-v2.html>

27. Бомбардування Югославії силами НАТО [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Бомбардування_Югославії_силами_НАТО

28. Вплив війни в Югославії на навколишнє середовище на Південно-Східну Європу [Електронний ресурс] // Парламентська асамблея Ради Європи. URL: <https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/X2H-Xref-ViewHTML.asp?FileID=9143>

29. НАТО підтвердила Організації Об'єднаних Націй використання збідненого урану під час конфлікту в Косові [Електронний ресурс] // ООН. 2000. URL: <https://press.un.org/en/2000/20000322.hab163.doc.html>

30. Публікації НАТО [Електронний ресурс]. URL: <https://www.nato.int/du/docu/d010206a.htm>

31. Вплив війни в Югославії на навколишнє середовище на Південно-Східну Європу [Електронний ресурс] // Асамблея Ради Європи. 2001. URL: <https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/X2H-Xref-ViewHTML.asp?FileID=9143>
32. Збіднений уран [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Depleted_uranium
33. Оцінка впливу військової діяльності на навколишнє середовище під час конфлікту в Югославії: Попередні висновки [Електронний ресурс] / Регіональний екологічний центр для Центральної та Східної Європи. 1999. URL: <https://reliefweb.int/attachments/159eb43b-6572-3263-acc0-6e9bf7a1727d/Assessment%20of%20the%20Environmental%20Impact%20of%20Military%20Activities.pdf>
34. Що таке рекультивация? Напрямки рекультивации порушених земель [Електронний ресурс] // Преса. URL: <https://presa.com.ua/aktualne/shcho-take-rekultivatsiya-napryamki-rekultivatsiji-porushenikh-zemel.html#protses-rekultyvatsii-ta-meta-provedennia>
35. Рекультивация [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Рекультивация>
36. Вапнування ґрунту: технологія, норми внесення вапна [Електронний ресурс] // AgroApp. URL: <https://agroapp.com.ua/uk/blog/vapnuvannya-gruntu-tehnologiya-normi-vnesennya-vapna/>
37. Гіпсування [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Гіпсування>
38. Про меліорацію земель : Закон України від 14.01.2000 № 1389-XIV [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1389-14#Text>

39. Біоремедіація [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Біоремедіація>
40. Галкін М. Б., Страшнова І. В., Андрющенко А. В. Використання мікроорганізмів у біоремедіації ґрунтів, забруднених внаслідок бойових дій [Електронний ресурс] // Одеса: Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2023. 35 с. URL: <https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/fb232e08-e2b6-4f42-b3dd-8ed8a1d14b62/content>
41. Ковров О. С. Дослідження впливу цинку на ростові показники рослин-фіторемедіантів [Електронний ресурс] URL: <http://ecoij.dea.kiev.ua/archives/2024/2/15.pdf>
42. Мікоремедіація як потенційно перспективна технологія: сучасний стан та перспективи [Електронний ресурс] // Applied Sciences. 2023. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/8/4978>
43. Пашкевич Н. Агресивні вселенці – найнебезпечніші види рослин у наших лісосмугах [Електронний ресурс] // Kurkul. URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/1000-agresivni-vselentsi--naynebezpechnishi-vidi-roslin-u-nashih-lisosmugah>
44. Агролісомеліорація [Електронний ресурс] // Велика українська енциклопедія. URL: <https://vue.gov.ua/Агролісомеліорація>
45. Понад 5 мільйонів гектарів земель в Україні не можна обробляти через війну [Електронний ресурс] // Економічна правда. 2023. URL: <https://epravda.com.ua/news/2023/03/3/697637/>

46. Лідером експорту у 2022/2023 МР стала соняшникова олія – Мінекономіки [Електронний ресурс] // Держзовнішінформ ДП. 2023. URL: <https://dzi.gov.ua/press-centre/news/liderom-eksportu-u-2022-23-mr-stala-sonyashnykova-oliya-minekonomiky/>
47. Про охорону земель : Закон України від 19.06.2003 № 962-IV [Електронний ресурс] // Верховна Рада України. 2003. URL: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ukr137032original.pdf>
48. Балюк С. А., Кучер А. В., Пліско І. В. Концептуальні підходи до відновлення ґрунтів, що постраждали від збройної агресії. Київ : Аграрна наука, 2024. 23 с.
49. Балюк С. А., Кучер А. В., Пліско І. В. Концептуальні підходи до відновлення ґрунтів, що постраждали від збройної агресії. Київ : Аграрна наука, 2024. 25 с.
50. Територія АТО після завершення війни потребуватиме масштабної рекультивациі [Електронний ресурс] // Екологія Право Людина. URL: <https://epl.org.ua/environment/terytoriia-ato-pislia-zavershennia-viiny-potrebuvatyme-masshtabnoi-rekultyvatsii/>
51. Балюк С. А., Кучер А. В., Пліско І. В. Концептуальні підходи до відновлення ґрунтів, що постраждали від збройної агресії. Київ : Аграрна наука, 2024. 34 с.
52. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів [Електронний ресурс] // ГО «Центр екологічних ініціатив "Екодія"». 2023. 7 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary.pdf>
53. Як російська армія знищує українські ґрунти [Електронний ресурс] // Газета "Світ". 2024. URL: <https://svit.kpi.ua/2024/02/27/як-російська-армія-знищує-українські/>

54. Кумарагамаге Д. Хімія ґрунту [Електронний ресурс] // Копання канадських ґрунтів: вступ до ґрунтознавства. URL:
https://ukrayinska.libretexts.org/Науки_про_Землю/Ґрунтознавство/Копання_канадських_ґрунтів:_вступ_до_ґрунтознавства/01:_Копання/1.05:_Хімія_ґрунту
55. Сталінський план перетворення природи [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Сталінський_план_перетворення_природи
56. Створення, утримання і збереження полежахисних лісових смуг [Електронний ресурс] // Матеріал підготували експерти WWF. URL:
<https://nbs.wwf.ua/methodology/stvorennia-utrymannia-i-zberezhennia-polezakhysnykh-lisovykh-smuh/>
57. Соломаха І. В., Коніщук В. В., Соломаха В. А., Тимочко І. Я., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Екологічна паспортизація, збереження, реконструкція існуючих та створення нових захисних лісових насаджень в Україні (методичні рекомендації). Київ, 2022. 6 с. URL: https://www.agroeco.org.ua/wp-content/uploads/Publications/Pasportizacija_2022.pdf
58. Данилов Є. Як радянське сільське планування забезпечило українським військам цінну тактичну перевагу на полі бою [Електронний ресурс]. URL:
<https://daycom.com.ua/news/yak-radyanske-silске-planuvannya-zabezpechilo-ukrayinskim-viyskam-cinnu-taktichnu-perevagu-na-poli-boyu>
59. Григор'єв В. Війна в Україні - ЗСУ використовують лісосмуги часів СРСР, щоб отримати перевагу [Електронний ресурс] // УНІАН. URL:
<https://www.unian.ua/war/viy-na-v-ukrajini-zsu-vikoristovuyut-lisosmugi-chasiv-srsrshchob-otrimati-perevagu-12802254.html>

60. Прополоти «лесополку»: у Силах оборони розповіли про специфіку визволення Харківщини [Електронний ресурс] // АрміяInform. URL: <https://armyinform.com.ua/2024/10/24/propoloty-lyesopolku-v-sylah-oborony-rozpovily-pro-speczyfiku-vyzvolennya-harkivshhyny/>
61. Солонина Є. Лісосмуги з перешкодами. Чому захисні лісонасадження в Україні лишаються без догляду та без господаря? [Електронний ресурс] // Радіо Свобода. 2014. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/25405783.html>
62. Дудяк Н. В. Еколого-економічні наслідки дефляційної деструкції степових ґрунтів України [Електронний ресурс] URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/65313/1/ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ%20НАСЛІДКИ%20ДЕФЛЯЦІЙНОЇ%20ДЕСТРУКЦІЇ.pdf>
63. Балюк С. А., Кучер А. В., Пліско І. В. Концептуальні підходи до відновлення ґрунтів, що постраждали від збройної агресії. Київ : Аграрна наука, 2024. 113 с.
64. Сівозміна як планувати та впроваджувати для максимального врожаю [Електронний ресурс] // Агролайф. URL: <https://landlord.ua/agrolife-en/sivozmina-yak-pravilno-planuvati-ta-vprovadzhuvat-dlya-maksimalnogo-vrozhayu/>
65. Верховцев Ф. Енергетичні деревні культури: верби і тополі [Електронний ресурс] // Укрбіо. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/8777/>
66. Гелетуха Г. Енергія, що росте на полях [Електронний ресурс] // Економічна правда. 2021. URL: <https://epravda.com.ua/columns/2021/05/24/674199/>
67. Котлярова Т. Фава боби: поліпшення родючості ґрунту та покращення росту культур [Електронний ресурс] // Biofield. URL: https://www.biofield.com.ua/uk/statti/fava-boby-polipshennya-rodyuchosti-hruntu-pokrashchennya-rostu-kultur_469

68. Покривні культури та сидерати (зелені добрива) [Електронний ресурс] // Матеріал підготували експерти WWF // Платформа WWF Україна. URL: <https://nbs.wwf.ua/methodology/pokryvni-kultury-ta-syderaty-zeleni-dobryva/>
69. Покривні культури рослин: догляд та види багаторічних рослин [Електронний ресурс] // URL: <https://ooogumat.com.ua/pokrivni-kulturi-roslin-osoblivosti-doglyad-ta-vidi-bagatorichnih-roslin/>
70. Головні компоненти екосистем [Електронний ресурс] URL: https://pidru4niki.com/68510/ekologiya/golovni_komponenti_ekosistem
71. Кучерук М. О. Рекультивация вироблених торфових родовищ [Електронний ресурс]. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/01/63.pdf>
72. Рамсарська конвенція [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Рамсарська_конвенція
73. Про утворення Координаційної ради з питань збереження, збалансованого використання та відновлення водно-болотних угідь України: Наказ Міндовкілля від 23.10.2023 № 708 [Електронний ресурс] URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/10/708n.pdf>
74. Донбас: затоплені шахти загрожують екологічною катастрофою [Електронний ресурс] // Deutsche Welle. 23.12.2021. URL: <https://www.dw.com/uk/donbas-zatopleni-shakhty-zahrozhuut-ekolohichnoiu-katastrofoiu-a-60230541/a>
75. Про охорону земель: Закон України від 19.06.2003 № 962-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 39. [Електронний ресурс] // URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>

76. Кодекс законів про працю України [Електронний ресурс] // URL:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08#Text>

77. Конституція України [Електронний ресурс] // URL:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text>

78. Закон України Про охорону праці [Електронний ресурс] // URL:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

79. Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування»
[Електронний ресурс] // URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14/ed20241115#Text>

80. Основи законодавства України про охорону здоров'я [Електронний ресурс] // URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12#Text>