МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ҐЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я ТА СУСПІЛЬНОГО БЛАГОПОЛУЧЧЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за ОС «БАКАЛАВР»

на тему: **«ОЦІНКА ВПЛИВУ ВОЄННИХ ДІЙ НА СТАН ГРУНТІВ І ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ»**

Виконав: здобувач вищої освіти заочної форми навчання спеціальності 101 «Екологія»

Сташко Андрій Орестович

_____

Керівник: д.с.-г. н., професор кафедри екології та захисту довкілля

_____ **Роман Параняк**

Рецензент: к. с.-г., доцент кафедри технології виробництва та переробки продукції тваринництва

_____**Роман Осередчук**

Львів - 2026

Анотація

Тема: Оцінка впливу воєнних дій на стан ґрунтів і земельних ресурсів
Мета: оцінка впливу воєнних дій на стан ґрунтів шляхом аналізу основних видів антропогенного навантаження воєнного походження, виявлення характеру деградаційних змін ґрунтового покриву та узагальнення сучасних підходів до екологічної оцінки й відновлення порушених земель;
Об'єкт: ґрунти та земельні ресурси територій, що зазнали впливу воєнних дій;
Предмет: фізичні, хімічні та біологічні зміни ґрунтів, а також процеси деградації земельних ресурсів, зумовлені воєнними діями;
Завдання дослідження:

- ✓ Проаналізувати наукові джерела щодо впливу воєнних дій на ґрунти та земельні ресурси.
- ✓ Охарактеризувати основні види воєнного антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив.
- ✓ Визначити основні напрями деградації ґрунтів і земель унаслідок бойових дій.
- ✓ Розглянути наслідки забруднення ґрунтів токсичними елементами та продуктами вибуху боєприпасів.
- ✓ Оцінити екологічні та агровиробничі наслідки порушення ґрунтового покриву.
- ✓ Узагальнити сучасні методи оцінки стану ґрунтів у зонах воєнного впливу.
- ✓ Проаналізувати підходи до рекультивації та відновлення деградованих земель.

У першому розділі роботи на основі аналізу літературних джерел досліджено теоретичні засади воєнно-антропогенного впливу на грунтовий покрив, вивчено екологічні та агровиробничі наслідки забруднення грунтів та деградації земельних ресурсів у зонах проведення бойових дій. Виконано огляд сучасних підходів до відновлення пошкоджених грунтів.

У другому розділі розглянуто вплив воєнних дій на грунтовий покрив у конкретних областях України та вивчено картосхеми ділянок, де присутні відомості про порушення ґрунтів. Проведено огляд методів оцінки стану та пошкодження грунту.

У третьому розділі викладено основні результати дослідження, зокрема встановлено основні види та механізми впливу на грунти, виявлено основні види деградації грунтів за мілітарного впливу, вивчено довготривалі наслідки забруднення грунтів та деградації земель. Розглянуто перспективи та напрями екологічної реабілітації грунтового покриву після воєнних порушень.

Загальна характеристика роботи

Обсяг	54
Таблиць	1
Рисунків	8
Використаних джерел	52

ЗМІСТ

ВСТУП 3
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД 5
1.1. Теоретичні засади аналізу воєнного антропогенного впливу на ґрунтовий покрив 5
1.2. Екологічні й агровиробничі наслідки забруднення та деградації ґрунтів у зонах бойових дій 12
1.3. Сучасні підходи до відновлення порушених ґрунтів 14
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ 17
2.1. Загальна характеристика території впливу воєнних дій 17
2.2. Методи оцінки стану та пошкодження ґрунту 20
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ 22
3.1. Основні види та механізми впливу на ґрунти 22
3.2. Наслідки забруднення ґрунтів та деградації земельних ресурсів унаслідок воєнних дій 30
3.4. Напрями екологічної реабілітації ґрунтового покриву після воєнних порушень 37
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ 42
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 44
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 46
ДОДАТКИ 52
ДОДАТОК А 53
ДОДАТОК Б 54

ВСТУП

Упродовж останніх років на перше місце серед чинників антропогенної трансформації довкілля виступає війна та воєнні дії. Воєнні дії сучасності дедалі частіше розглядаються не лише як соціально-політичне чи гуманітарне явище, але й як потужний чинник довготривалої екологічної деградації. Особливо вразливим компонентом довкілля в умовах збройних конфліктів є ґрунт, який виконує ключові екосистемні, агровиробничі та санітарно-гігієнічні функції. Аналіз сучасних наукових досліджень свідчить про зростання уваги до проблеми трансформації ґрунтових екосистем під впливом бойових дій на території України.

Комплексне вивчення наслідків воєнного навантаження на ґрунти через призму фізичних, хімічних і біологічних змін є у фокусі уваги багатьох дослідників. Автори досліджують забруднення ґрунтового покриву токсичними елементами, зокрема важкими металами, які надходять у ґрунт унаслідок вибухів боєприпасів, руйнування інфраструктури та військової техніки. Значна увага приділяється оцінці морфологічних і фізіологічних реакцій рослин як біоіндикаторів деградаційних процесів, а також зміні ґрунтових властивостей, що впливають на біорізноманіття та продуктивність екосистем. На жаль, події в Україні забезпечують значне поле для емпіричних досліджень впливу воєнних дій на стан ґрунтів зокрема та земельних ресурсів загалом, а також на інші геосфери і біоту.

Крім емпіричних досліджень, низка робіт зосереджена на методологічних підходах до системного аналізу ґрунтів воєнного походження, що дозволяє узагальнити різнорідні дані та сформувати наукове підґрунтя для екологічного моніторингу й рекультивації порушених земель. Важливо розвивати міждисциплінарний підхід, спрямований на виявлення масштабів, механізмів і наслідків воєнного впливу на ґрунтові екосистеми, що є необхідною умовою для розроблення ефективних стратегій відновлення довкілля в післявоєнний період.

Збройні конфлікти спричиняють порушення екосистем та сприяють розвитку процесів деградації, втраті біорізноманіття, а також забрудненню ґрунту і водних ресурсів, що негативно впливає на кліматичну систему.

Зокрема, російсько-українська війна посилює погіршення стану довкілля не лише локально, причому Україна зазнає найбільшого впливу на навколишнє середовище.

Метою цього дослідження є оцінка впливу воєнних дій на стан ґрунтів шляхом аналізу основних видів антропогенного навантаження воєнного походження, виявлення характеру деградаційних змін ґрунтового покриву та узагальнення сучасних підходів до екологічної оцінки й відновлення порушених земель. Для досягнення сформульованої мети слід вирішити такі завдання:

- ✓ Проаналізувати наукові джерела щодо впливу воєнних дій на ґрунти та земельні ресурси.
- ✓ Охарактеризувати основні види воєнного антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив.
- ✓ Визначити основні напрями деградації ґрунтів і земель унаслідок бойових дій.
- ✓ Розглянути наслідки забруднення ґрунтів токсичними елементами та продуктами вибуху боєприпасів.
- ✓ Оцінити екологічні та агровиробничі наслідки порушення ґрунтового покриву.
- ✓ Узагальнити сучасні методи оцінки стану ґрунтів у зонах воєнного впливу.
- ✓ Проаналізувати підходи до рекультивації та відновлення деградованих земель.

Об'єктом дослідження є ґрунти та земельні ресурси територій, що зазнали впливу воєнних дій. *Предметом* дослідження є фізичні, хімічні та біологічні зміни ґрунтів, а також процеси деградації земельних ресурсів, зумовлені воєнними діями (забруднення важкими металами й вибуховими речовинами, порушення структури ґрунту, зниження родючості, трансформація рослинного покриву).

У роботі використано методи аналізу й узагальнення наукових джерел, порівняльного аналізу результатів досліджень, системного підходу до оцінки деградаційних процесів у ґрунтах, а також логіко-аналітичний метод інтерпретації отриманих даних.

РОЗДІЛ 1
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Теоретичні засади аналізу воєнного антропогенного впливу на ґрунтовий покрив

Дослідження теоретичних засад аналізу воєнного антропогенного впливу на ґрунтовий покрив є необхідним з огляду на складність і багатофакторність процесів деградації ґрунтів унаслідок бойових дій. Воєнний вплив поєднує механічні порушення, хімічне забруднення та біологічні трансформації, що потребує науково обґрунтованих підходів до їх системного вивчення та оцінки.

Теоретичні засади дозволяють узагальнити наявні наукові знання, класифікувати основні види воєнного антропогенного навантаження та визначити механізми їх дії на ґрунтовий покрив. Без чіткого теоретичного підґрунтя неможливо коректно інтерпретувати результати польових і лабораторних досліджень, порівнювати дані різних регіонів та формувати єдині критерії екологічної оцінки стану ґрунтів.

Крім того, аналіз теоретичних підходів є основою для вибору адекватних методів моніторингу, прогнозування довготривалих наслідків воєнного впливу та розроблення ефективних заходів рекультивації й відновлення земельних ресурсів. У контексті післявоєнного відновлення територій теоретичні засади виконують ключову роль у формуванні науково обґрунтованої екологічної політики, спрямованої на збереження родючості ґрунтів, екологічної безпеки та сталого землекористування.

Під час вивчення воєнного антропогенного впливу на ґрунтовий покрив виокремлюють кілька основних напрямків дослідження та пов’язаних із ними ключових проблем.

Оцінка фізичного порушення ґрунтів. Досліджують руйнування ґрунтового профілю внаслідок вибухів, утворення вирв, ущільнення ґрунту військовою технікою, порушення дренажу та ерозійних процесів. Загалом ерозія, поряд із забрудненням, одна із основних проблем антропогенного (як чинник, що тригерить ерозійні процеси) порушення земельних ресурсів у мирний час.

Хімічне забруднення ґрунтового покриву. Аналіз накопичення важких металів, нафтопродуктів, залишків вибухових речовин, токсичних сполук та продуктів згоряння боєприпасів – типовий підхід до оцінки екологічного стану ґрунтового тіла.

Біологічні та екотоксикологічні зміни. Вивчають вплив забруднення воєнного походження на ґрунтову мікрофлору, фауну, рослинність, біологічну активність і функціонування ґрунтових екосистем. Акцент робимо на вивченні складної структури ґрунту у природному стані та її модифікації під впливом діяльності людини.

Просторова оцінка деградації земель. Нині застосовують ГІС-технології та дистанційне зондування для картографування зон ураження та оцінки масштабів деградації земельних ресурсів. За редакцією академіка НААН О.І. Фурдичка випущено науково-методичний посібник присвяченій цій проблемі, а дослідження О.В. Браславської, О.М. Грицика та Т.А. Рожі стосує ці методи до теренів України, де агродіяльність може стати чинником деградації земельних ресурсів.

Рекультивація та відновлення ґрунтів. Сьогодні це один із найбільш популярних напрямів дослідження. Досліджують у цьому контексті технології очищення, відновлення родючості та екологічно безпечного використання постраждалих територій. Як відомо, формування ґрунтового тіла – процес, що триває тисячоліття, і сучасні технології наразі не дають змоги сформувати нові ґрунти на місці порушених, та й можливості наперед визначених змін характеристик існуючого ґрунту доволі обмежені.

Перш ніж зосереджувати увагу на воєнному факторі впливу на ґрунти доцільно коротко згадати, що відомо про ґрунти зараз загалом та хто їх результативно досліджував.

Широкий круг науковців вивчав та вивчає ґрунти на основі науково-методичних підходів. Історично засновником генетичного ґрунтознавства вважають В.В.Докучаєва, що досліджував чорноземи на території сучасної України у часи царської Росії. Він виокремив 5 факторів, що впливають на

формування ґрунту (див. рис.1.1) та опублікував у 1869-1901: 285 робіт, включаючи 61 книгу та 4 карти. За Докучаєвим формування ґрунтів є під впливом п’яти основних природних чинників: клімат – визначає температурний режим і кількість опадів, інтенсивність вивітрювання, біологічну активність та напрям ґрунтоутворювальних процесів; материнська порода – є вихідним геологічним матеріалом, з якого формується ґрунт; впливає на його мінеральний склад, механічний склад і хімічні властивості; рельєф – зумовлює умови зволоження, дренування, ерозійні процеси та перерозподіл речовин у ґрунтовому профілі; живі організми (рослинність, мікроорганізми, ґрунтова фауна) – забезпечують накопичення органічної речовини, гумусоутворення та біологічний кругообіг елементів; час – відображає тривалість дії інших чинників і ступінь сформованості ґрунтового профілю.

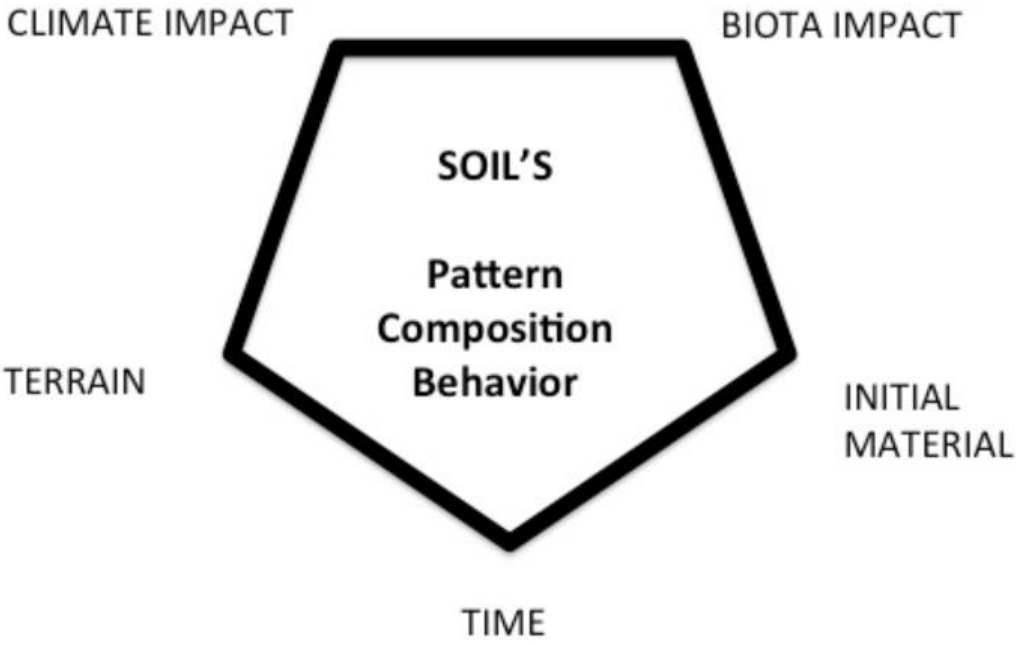

Рис.1.1. П’ять природних чинників формування ґрунтів за Докучаєвим

Засновником української школи ґрунтознавства є дослідник чорноземів і ґрунтово-картографічних методів Олексій Ніканорович Соколовський – автор понад 140 праць, присвячених вивченню фізично-хімічних властивостей ґрунту та впливу обмінних катіонів на властивості ґрунту. Окрему увагу приділяв окультуренню солонцюватих та підзолистих ґрунтів, вивчав гумус – основну органічну речовину ґрунту.

Сучасні українські науковці вивчають ґрунтову родючість, деградаці. ґрунтів, агроекологія (С.А.Балюк), охорону земель, деградаційні процеси, ґрунтовий моніторинг (А.В.Кучер); земельні ресурси, ґрунтово-екологічна оцінка та класифікація (М.Й.Полупан); агроекологія, антропогенна трансформація ґрунтів (В. Б. Соловей); ерозія ґрунтів, сталий землекористування (О.Г. Тараріко); фізика ґрунтів, структура та водний режим (Л. І. Медведєв). Серед провідних учених інших країн варто згадати таких, як Rattan Lal (США) – ґрунтовий органічний вуглець, ґрунтове здоров'я; Daniel Hillel (США/Ізраїль) – фізика ґрунтів, водний режим; Johan Bouma (Нідерланди) – ґрунтове моделювання, цифрове ґрунтознавство; Alex McBratney (Австралія) – цифрове картографування ґрунтів; Winfried E. H. Blum (Австрія) – функції ґрунтів, ґрунтова екологія; Ravi Naidu (Австралія) – забруднення ґрунтів і ремедіація; P. M. Huang (Канада) – ґрунтова мінералогія та хімія.

Більшість із сучасних авторів в Україні та деякі у світі звертають увагу на роль мілітарного чинника впливу на грунти.

У статті [1] її авторами (Балюк, Кучер, Солоха, Соловей) запропоновано новий підхід до класифікації деградації ґрунтів, пов'язаної зі збройною агресією, визначено її як *воєнний тип деградації*. Цей тип включає кілька ключових напрямів:

1) **механічна деградація**, що охоплює порушення структури ґрунту, ущільнення та ерозійні процеси;

2) **фізична деградація**, пов'язана зі зміною вологості, температурного режиму та фізичних властивостей ґрунту;

3) **хімічна деградація**, що характеризується накопиченням токсичних речовин, важких металів та продуктів вибухів;

4) **фізико-хімічна деградація**, яка проявляється через комбінований вплив механічних і хімічних факторів;

5) **біологічна деградація**, що включає порушення ґрунтової мікрофлори, зменшення біологічної активності та гумусоутворення;

6) **інші напрями**, що відображають комплексний вплив на ґрунтовий покрив і земельні ресурси.

Вперше у роботі [1] розроблено картографічні схеми, які відображають ступінь та характер впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив на різних рівнях управління — від загальнонаціонального до обласного, районного та територіальних громад. Для кожного типу ґрунту визначено площі, що постраждали внаслідок бойових дій, що дозволяє ідентифікувати території, які потребують додаткового обстеження та систематичного моніторингу. Аналіз показав, що найбільше постраждали чорноземи, а на деяких ділянках ґрунти зазнали практично повного руйнування, що негативно впливає на родючість і екологічний стан територій.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні методологічної та інформаційної бази для комплексної оцінки мілітарної деградації ґрунтів в Україні, що може слугувати основою для планування рекультиваційних заходів, екологічного моніторингу та сталого управління земельними ресурсами в умовах післявоєнного відновлення.

Заслуговує уваги оглядова стаття Гончарової А. Є. (2024) [7] присвячена аналізу наукових досліджень, що стосуються впливу війни на ґрунти та с/г землі, а також удосконаленню підходів до оцінки екологічних і економічних збитків, завданих унаслідок воєнних дій. Тут здійснено бібліометричний аналіз вітчизняних і зарубіжних наукових публікацій, який дозволяє простежити динаміку досліджень, основні тематичні напрями, ключові терміни та наукові школи у сфері вивчення воєнного впливу на земельні ресурси. Авторка аналізує, як у науковій літературі розглядаються питання деградації ґрунтів, забруднення токсичними речовинами, порушення родючості та зниження агровиробничого потенціалу земель у зонах бойових дій. Кількість публікацій щодо впливу військових дій на грунти та землі сільськогосподарського використання зростає, у окремі роки у проміжку 1990-2024 їх кількість зростала у рази порівняно із попередніми періодом. Суттєві прирости відмічено у 2007, 2015 та 2023 роках. Найбільше таких публікацій у США, далі із певним

відривом йдуть Німеччина, Велика Британія, Франція. Помітні дослідники у цій царині із Данії, Іспанії, Італії. Порівняно нещодавно (упродовж останньої декади) до цієї тематики долучились автори із Швеції, Іраку, Польщі, Норвегії та України.

Окрему увагу в статті приділено критичному аналізу існуючих методів оцінки збитків, завданих ґрунтам і сільськогосподарським угіддям. Показано, що наявні підходи часто не враховують комплексний характер воєнного впливу, довготривалі екологічні наслідки та специфіку ґрунтових процесів. У зв'язку з цим авторка обґрунтовує необхідність удосконалення методичного інструментарію оцінки шкоди, зокрема з урахуванням ґрунтово-екологічних показників, просторового аналізу та даних моніторингу.

Збитки та втрати, завдані земельним ресурсам і ґрунтам, визначаються насамперед унаслідок контамінації ґрунтів — тобто накопичення в ґрунтовому покриві речовин, які негативно впливають на їхню родючість та інші корисні властивості, а також у результаті забруднення ґрунтів.

Під контамінацією ґрунтів розуміють тривале або стійке надходження до ґрунту хімічних елементів і сполук (важких металів, нафтопродуктів, залишків вибухових речовин, токсичних органічних речовин), що порушують природні ґрунтоутворювальні процеси, знижують біологічну активність і погіршують агроекологічні характеристики ґрунтів. Забруднення ґрунтів, своєю чергою, може мати як локальний, так і масштабний характер і проявляється у перевищенні гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин, що створює ризики для довкілля, продовольчої безпеки та здоров'я населення. Концентрації поширених потенційно токсичних елементів (PTEs) у ґрунтах територій, що зазнали впливу воєнних дій та бойових операцій, вивчено у [46] де проведено аналіз таких забруднень у кількох країнах, у тому числі на території Львівської області, де активні бойові дії не велись, а забруднення грунту йонами хрому, свинцю, міді, титану та інших металів зросло на порядок у місцях ракетних обстрілів.

Показники деградації ґрунтів п’яти територій в воєнно уражених регіонах України вивчено у роботі [19]. Показано, що деградація ґрунтів має багатофакторний і довготривалий характер, що унеможливлює її оцінку окремими показниками. Наголошено на важливості інтеграції моніторингових даних, картографічних матеріалів і ризик-орієнтованих критеріїв для прийняття управлінських рішень щодо відновлення земель.

Ґрунти, забруднені вуглеводнями, перетворюються на активні джерела токсичних газів і дрібнодисперсного пилу, які здатні поширюватися повітряним шляхом на значні відстані та чинити негативний вплив на прилеглі екосистеми. Такі забруднювальні речовини завдають суттєвої шкоди ґрунтовому біорізноманіттю, знижуючи чисельність і функціональну активність ґрунтових мікроорганізмів та безхребетних. Особливу небезпеку становлять леткі ароматичні вуглеводні — бензол, толуол, етилбензол і ксилол, які інтенсивно виділяються зі свіжозабруднених ґрунтів і можуть спричиняти тривалі негативні наслідки для здоров’я населення, зокрема канцерогенні та мутагенні ефекти [21]. Потрапляючи у ґрунтове середовище, вуглеводні частково або повністю заповнюють поровий простір ґрунту, що призводить до різкого погіршення його аераційних і водопроникних властивостей. Унаслідок цього блокується нормальний газо- та водообмін, ускладнюється надходження кисню до кореневих систем рослин і порушуються процеси поглинання вологи та поживних речовин. Одночасно відбувається пригнічення життєдіяльності ґрунтової мікробіоти, зниження швидкості мінералізації органічної речовини та деградація ґрунтових біохімічних процесів. У сукупності ці зміни призводять до зменшення родючості ґрунтів, погіршення їх екологічних функцій і підвищення ризиків для стабільності наземних екосистем.

Таким чином, оцінка шкоди ґрунтам і землям базується не лише на фіксації факту забруднення, а й на аналізі глибини та тривалості його впливу, здатності ґрунтів до самовідновлення та необхідності застосування заходів з рекультивації й екологічного відновлення.

1.2. Екологічні й агровиробничі наслідки забруднення та деградації ґрунтів у зонах бойових дій

Забруднення та деградація ґрунтів у зонах бойових дій є одними з найбільш складних і довготривалих екологічних наслідків воєнних конфліктів. Ґрунтовий покрив, як базовий компонент наземних екосистем і основа сільськогосподарського виробництва, зазнає комплексного негативного впливу внаслідок механічних руйнувань, хімічного забруднення та порушення біологічних процесів. Надходження до ґрунту токсичних елементів, продуктів вибуху боєприпасів і нафтопродуктів призводить до зниження родючості, зміни фізико-хімічних властивостей і пригнічення ґрунтової біоти. У результаті порушується здатність ґрунтів виконувати екологічні функції, зокрема регулювання біогеохімічних циклів і підтримання біорізноманіття. Одночасно деградація ґрунтового покриву негативно впливає на агровиробничий потенціал територій, обмежує можливості безпечного землекористування та створює ризики для продовольчої безпеки. Тому аналіз екологічних і агровиробничих наслідків деградації ґрунтів у зонах бойових дій є необхідним для обґрунтування заходів з їх відновлення та сталого використання.

Видимими проявами деградації ґрунтів у зоні бойових дій є механічне безпосереднє пошкодження (див. напр. рис.1.2), проте подальші та відкладені наслідки виявляють, окрім лабораторних аналізів, через прояви змін у біоті, передусім у рослинності. У [8] вивчено результати біотестування щодо схожості насіння, морфо-фізіологічних вимірів тощо в рамках застосування шкали токсичності Кабірова для оцінки впливу воєнних дій на ґрунти Миколаївської області. Дослідження Градович, Малиновської та Параняка (2024) засвідчує, що воєнні дії є потужним чинником комплексної деградації ґрунтів, яка охоплює фізичні, хімічні та біологічні компоненти ґрунтової екосистеми. На прикладі територій Миколаївщини встановлено порушення ґрунтового профілю, зниження вмісту гумусу, погіршення агрофізичних властивостей і забруднення ґрунтів токсичними елементами, пов’язаними з бойовими діями. Виявлено негативні зміни в структурі та функціонуванні

ґрунтової біоти, що свідчить про порушення природних ґрунтоутворювальних процесів. Воєнна деградація ґрунтів має не лише локальний, а й регіональний характер та створює довготривалі ризики для екологічної стійкості й сільськогосподарського використання земель. Отримані результати підтверджують необхідність системного моніторингу та впровадження науково обґрунтованих заходів із відновлення ґрунтів, пошкоджених унаслідок воєнних дій.

Рис.1.2. Фотоприклади наслідків військових конфліктів на Харківщині (ліворуч, за [21]) та Миколаївщині (праворуч, за [8])

Морфометричні зміни паростків гравілату міського (*Geum urbanum*) за умов моделювання забруднення ґрунту підвищеними концентраціями кадмію, зумовленого бойовими діями вивчено у роботі [9]. Обрання гравілату міського (*Geum urbanum*) для дослідження впливу воєнного забруднення ґрунтів має кілька науково обґрунтованих причин: чутливість до токсичних елементів, широке поширення та доступність, інформаційна цінність морфо-метричних показників, це модельний вид для екологічних досліджень а також поширений показник впливу антропогенних факторів. Ґрунти Дніпропетровщини піддаються впливу бойових дій або перебувають під потенційною загрозою, що може спричинити серйозні екологічні та соціальні наслідки. Інтенсифікація бойових дій призводить до підвищення рівня забруднення ґрунтів токсичними елементами та погіршення їхніх фізико-хімічних і біологічних характеристик, що створює ризики для здоров’я населення та стабільності екосистем. Біотестування зразків ґрунтів показало, що при 10-денному впливі кадмію у дозах 1ГДК, 2ГДК та 4ГДК (3, 6 та 12 мг/кг субстрату) у індикаторної рослини

Geum urbanum спостерігається значне гальмування росту. Зі зростанням концентрації кадмію зменшуються маса проростків, їхня висота та довжина кореневої системи. Моделювання впливу кадмію у дозі 5ГДК (15 мг/кг субстрату) підтвердило виражений негативний ефект на морфометричні показники рослин. Водночас встановлено, що гумусований середньо-суглинковий ґрунт має виражені буферні властивості порівняно з піщаним субстратом, що частково пом’якшує токсичний вплив кадмію.

1.3. Сучасні підходи до відновлення порушених ґрунтів

Сучасні підходи до відновлення ґрунтів базуються на інтеграції інженерних, хімічних, біологічних та екосистемних методів, що дозволяє відновлювати як продуктивні, так і екологічні функції ґрунтового покриву. Вибір конкретних заходів залежить від типу деградації, рівня забруднення та природних умов території.

Інженерно-технічні методи передбачають усунення грубих порушень рельєфу й ґрунтового профілю, вирівнювання поверхні, відновлення дренажу та нанесення родючого шару. Ці заходи створюють базові умови для подальшої біологічної реабілітації.

Хімічна та фізико-хімічна ремедіація спрямована на зниження токсичності ґрунтів шляхом іммобілізації забруднювачів, регулювання кислотно-лужного режиму, застосування сорбентів і стабілізуючих матеріалів. Такі методи особливо ефективні в осередках локального забруднення.

Біологічні підходи є ключовими для довгострокового відновлення ґрунтів і включають фіторемедіацію, використання сидеральних культур, внесення органічних матеріалів і стимуляцію ґрунтової мікробіоти. Вони сприяють відновленню гумусоутворення та біогеохімічних циклів.

Агроекологічні та ландшафтні підходи зосереджені на оптимізації землекористування, впровадженні протиерозійних заходів і формуванні буферних зон, що забезпечує стабільність ґрунтів у довгостроковій перспективі.

Важливою складовою сучасних стратегій є системний моніторинг і адаптивне управління, які дозволяють оцінювати ефективність відновлювальних заходів та коригувати їх відповідно до динаміки ґрунтових процесів.

Закордонні дослідження [40, 51] показують, що існує певна група рослин — гіперакумулятори важких металів, здатних рости на ґрунтах з високим вмістом металів і накопичувати їх у значних кількостях протягом вегетаційного періоду без ознак фітотоксичності. Серед них горох (Pisum sativum L.) та міскантус (Miscanthus giganteus) демонструють найширший діапазон поглинання металів, що робить їх придатними для вирощування на ґрунтах, постраждалих від воєнних дій та ймовірно забруднених.

Вибір конкретної культури для фіторемедіації сільськогосподарських земель має враховувати не лише її здатність до акумуляції металів, а й цільове використання біомаси. Деякі культури є енергетичними, призначеними для виробництва пелет, брикетів або біоетанолу. Зокрема, рицина (Ricinus communis L.) може використовуватися для отримання біоетанолу, що робить її особливо цінною для фіторемедіації, оскільки її біомасу не використовують у харчових цілях.

При плануванні фіторемедіаційних заходів слід враховувати не лише тип і концентрацію забруднювачів, а й характер ґрунту, кліматичні умови та екологічні особливості ділянки, а також можливість безпечного подальшого використання біомаси рослин. Це дозволяє підбирати оптимальні культури, здатні максимально накопичувати або трансформувати шкідливі речовини, з одночасним збереженням екологічної стабільності території. Раціональне планування забезпечує не лише ефективне очищення ґрунтів, а й створює додаткові економічні переваги, наприклад через використання енергетичних культур для виробництва біопалива або промислових матеріалів. Крім того, такий підхід мінімізує ризики для здоров’я населення, знижуючи контакт із токсичними компонентами та запобігаючи потраплянню забруднювачів у харчові ланцюги.

Сучасні підходи до відновлення деградованих, дефльованих та порушених ґрунтів швидко розвиваються, інтегруючи цілісні принципи екосистеми з передовими технологічними інноваціями. На додаток до усталених фізичних, хімічних та біологічних стратегій, які відновлюють структуру ґрунту, підвищують родючість та стабілізують ландшафти, новітні технології трансформують цю галузь з точністю, ефективністю та стійкістю.

Нанотехнології стають перспективним інструментом для відновлення ґрунтів: сконструйовані та біосинтезовані наночастинки можуть впливати на забруднювачі на молекулярному рівні, покращувати кругообіг поживних речовин та забезпечувати вимірювання параметрів ґрунту в режимі реального часу при інтеграції з платформами Інтернету речей. Наносенсори допомагають контролювати показники здоров'я ґрунту, такі як pH, вологість та доступність поживних речовин, тоді як фотокаталітичні наноматеріали можуть прискорити розщеплення залишків пестицидів під впливом сонячного світла.

Передові технології відновлення на місці, включаючи електрокінетичні системи, які мобілізують забруднювачі за допомогою електричних полів, та термічні або хімічні процеси окислення, які руйнують забруднювачі на місці, пропонують цільові варіанти очищення з низьким впливом, особливо підходять для складних забруднень.

Цифрові інновації, такі як моніторинг за допомогою штучного інтелекту, дистанційне зондування та системи вимірювання вологості ґрунту на основі смартфонів, підвищують точність управлінських рішень та адаптивних втручань.

Разом ці новітні технології підвищують ефективність, масштабованість та стійкість відновлення ґрунтів, дозволяючи фахівцям реагувати на різноманітні проблеми деградації більш обґрунтовано та стійко, одночасно підтримуючи ширші екологічні та сільськогосподарські цілі.

РОЗДІЛ 2
МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1. Загальна характеристика території впливу воєнних дій

Територія України, на якій зафіксовано або потенційно відбувається вплив воєнних дій на ґрунти й земельні ресурси, охоплює насамперед зони активних бойових дій, тимчасової окупації та прифронтові регіони. Найбільш ураженими є східні та південні області (Донецька, Луганська, Харківська, Запорізька, Херсонська, частково Миколаївська та Дніпропетровська), де інтенсивні обстріли, вибухи боєприпасів, фортифікаційні роботи та пересування важкої техніки призводять до механічного руйнування ґрунтового покриву, його ущільнення й ерозії. Значних негативних змін зазнають також центральні регіони, де фіксуються ракетні удари та падіння уламків, що зумовлює локальне хімічне забруднення ґрунтів. Особливу загрозу становлять сільськогосподарські угіддя з родючими чорноземами, адже їх деградація має не лише екологічні, а й суттєві агровиробничі та соціально-економічні наслідки для країни.

Картографування впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив здійснюється на різних рівнях управління — від загальнодержавного до локального [1]. У травні 2022 р. фахівцями ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» було створено першу картосхему, що відображає масштаби й просторову структуру впливу бойових дій на ґрунти України (див. рис.2.1). У межах цієї роботи визначено площі ґрунтів різних типів, які зазнали ушкоджень унаслідок воєнних дій та потребують подальшого детального обстеження і систематичного контролю. Розроблена картосхема стала базовою основою картографічною для подальших наукових досліджень у установах НААН, а також для практичної діяльності спеціальної робочої групи при Оперативному штабі Державної екологічної інспекції України. За оцінками науковців, станом на травень 2022 р. найбільші площі впливу бойових дій припадали на чорноземи звичайні (50,1 тис. км²), дернові та дерново-підзолисті ґрунти (29,4 тис. км²), чорноземи південні (16,2 тис. км²) і темно-каштанові ґрунти (9,6 тис.

км²). Таким чином, за просторовими показниками найзначніших втрат зазнали саме чорноземи — одні з найцінніших ґрунтів України.

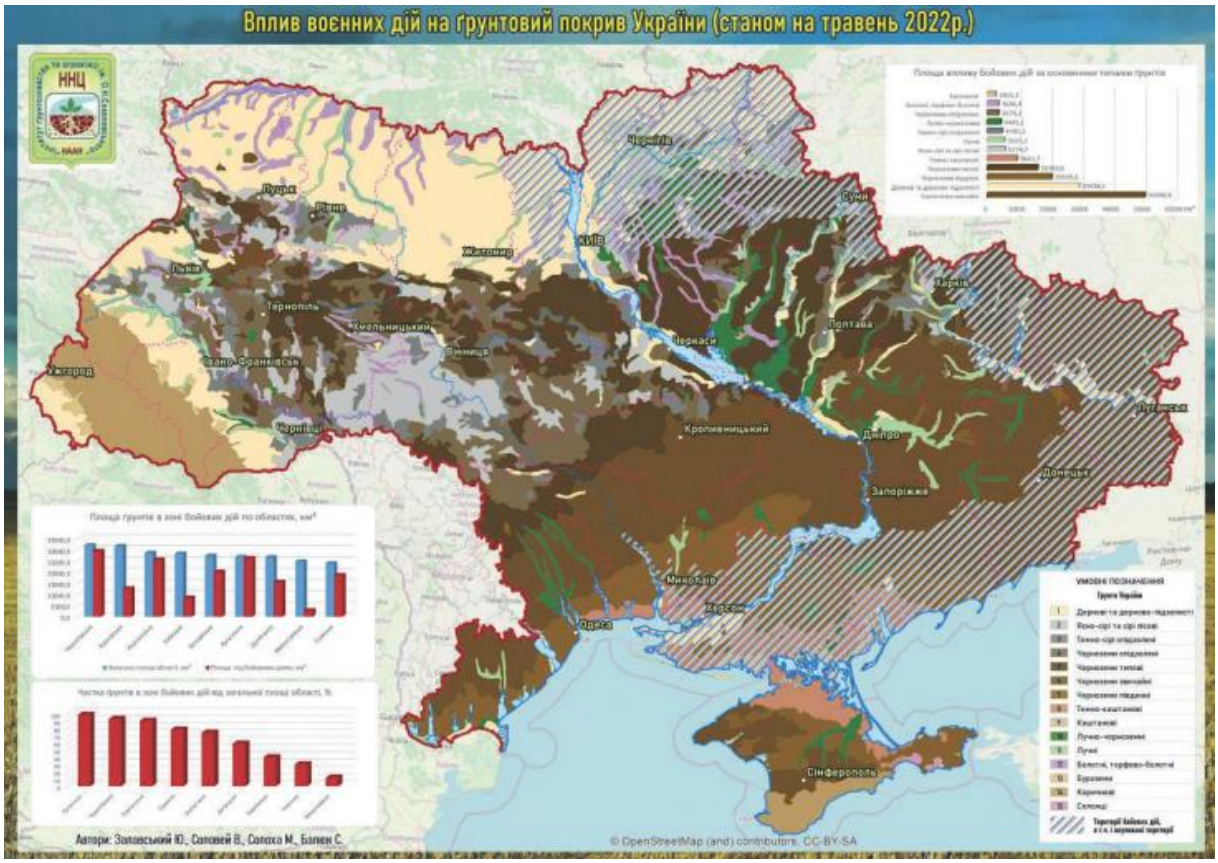

Рис. 2.1. Вплив воєнних дій на ґрунтовий покрив України (станом на травень 2022 р., [1])

У додатках наведено карти-схеми більш локальних ділянок: впливу дій воєнних на ґрунтовий покрив Харківського району Харківської області за даними дослідження вчених ННЦ «Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського та карта-версія у першій редакції впливу бойових дій на ґрунтовий покрив Чкаловської ТГ за даними того ж джерела. Їх аналіз дозволяє стверджувати, що першочергові сліди бойових дій які фіксуються на картах графічно включають окопи та бліндажі, місця пожеж, спричинені обстрілами, ущільнення грунту від проходження військової техніки, а також райони інтенсивних обстрілів.

Зазначимо, що у наведеному переліку відсутні такі чинники, як мінування територій, яке становить одну з найсерйозніших і найдовготриваліших загроз для ґрунтів і земельних ресурсів. Мінні поля та нерозірвані боєприпаси не лише

обмежують можливість господарського використання земель, а й унеможливлюють проведення повноцінних ґрунтових обстежень, моніторингу та відновлювальних робіт. Крім того, процеси встановлення, детонації або корозійного руйнування мін і боєприпасів супроводжуються локальним механічним руйнуванням ґрунтового профілю, накопиченням вибухових речовин, важких металів і продуктів їх трансформації. Такі забруднювачі здатні тривалий час зберігатися у ґрунті, мігрувати в нижчі горизонти та ґрунтові води, формуючи відкладений екологічний ризик. Унаслідок цього мінування слід розглядати як специфічний різновид воєнного антропогенного навантаження, наслідки якого проявляються не лише в короткостроковій, а й у довготривалій перспективі.

Унаслідок повномасштабного вторгнення Росії та бойових дій територія України значною мірою була замінована мінно-вибуховими засобами, що становить серйозну загрозу для ґрунтів, земельних ресурсів і безпеки населення. За даними міжнародних правозахисних організацій і служб, мінування зафіксовано в щонайменше 11 областях України, зокрема в: Чернігівській, Дніпропетровській, Донецькій, Харківській, Херсонській, Київській, Луганській, Миколаївській, Одеській, Сумській, Запорізькій областях [https://www.hrw.org/news/2023/06/13/landmine-use-ukraine – Human Rights Watch].

Ці регіони були заміновані або в ході наступальних/оборонних операцій, або при відступі окупантів, а також під час активних боїв на лінії фронту. Особливо критична ситуація в Харківській, Херсонській і Донецькій областях, де значні площі сільськогосподарських та природних земель досі загрожують мінною небезпекою.

Мінування не лише унеможливлює використання землі за призначенням (сільське господарство, забудова, рекреація), але й підвищує ризики для життя людей і тварин, ускладнює проведення екологічного моніторингу та відновних робіт на постраждалих територіях.

2.2. Методи оцінки стану та пошкодження ґрунту

Для оцінки стану ґрунтів у зонах антропогенного, зокрема воєнного, впливу застосовують комплекс взаємодоповнювальних методів. Узагальнено їх можна поділити на такі групи:

1. Методи оцінки забруднення ґрунтів
2. Методи оцінки деградації ґрунтів
3. Методи оцінки пошкодження ґрунтового покриву

До першої групи можна віднести наступні види методів: *хімічні та фізико-хімічні методи* (атомно-абсорбційна спектрометрія (AAS), індуктивно-зв'язана плазмова мас-спектрометрія (ICP-MS), рентгенофлуоресцентний аналіз (XRF), газова та рідинна хроматографія (для нафтопродуктів, вибухових речовин, ПАВ), визначення pH, вмісту гумусу, катіонного обміну); *біоіндикаційні та токсикологічні методи* (фітотестування – ростові показники рослин-індикаторів, біотестування з використанням ґрунтових безхребетних і мікроорганізмів, мікробіологічні показники – активність ферментів, дихання ґрунту); *індексні підходи* (інтегральні показники забруднення (Zc, Igeo, PLI), порівняння з ГДК і фоновими концентраціями).

До другої групи залічують: *морфологічні та польові методи* (опис ґрунтового профілю, визначення ступеня еродованості, оцінка ущільнення – щільність складання, пенетрометрія); *фізичні та агрофізичні методи* (аналіз гранулометричного складу, водопроникність і вологоємність, структурно-агрегатний стан ґрунту); *хімічні та біологічні методи* (визначення гумусного стану, оцінка мікробіологічної активності, аналіз солонцюватості, закислення або засолення).

Третя група методів переважно представлена: *картографічними і гео-інформаційними методами*, як от дистанційне зондування Землі (супутникові знімки, БПЛА), GIS-аналіз просторових змін ґрунтового покриву, створення карт деградації та порушень; *геоморфологічними та інженерними методами* – оцінка воронок, траншей, окопів, насипів, аналіз змін мікрорельєфу, вимірювання обсягів переміщених ґрунтових мас; є і комплексні підходи:

поєднання польових спостережень, лабораторних аналізів і картографування, експертна оцінка ступеня порушення та придатності земель до подальшого використання.

У контексті воєнних дій найбільш ефективним є інтегрований підхід, що поєднує хімічний аналіз, біотестування та геоінформаційні методи, оскільки він дозволяє врахувати як безпосередні, так і відстрочені наслідки впливу на ґрунти та земельні ресурси.

Зараз ведуться активні дослідження у царині розвитку методів оцінки стану ґрунтів із врахуванням військової складової. Автори [1] розробили комплексну концепцію оціночного підходу до впливу військової агресії на ґрунтовий покрив України, що включає класифікацію видів деградації ґрунтів та картографічне відображення масштабів пошкоджень. У своїй роботі вони застосовували аналітичні та картографічні методи для визначення площ різних типів ґрунтів, які зазнали ушкоджень, що є основою для подальшої оцінки стану ґрунтів. У роботі Lebed та інші (2024) застосовано супутникові знімки та ГІС-аналіз для оцінки впливу бойових дій на ґрунти (наприклад, крізь лінзу ушкоджень від вибухів, ущільнень ґрунту, пожеж). Автори обрали оптимальні поєднання спектральних каналів Sentinel-2, що дозволило виявляти й кількісно оцінювати різні типи воєнно-індукованого пошкодження ґрунтового покриву.

Роль дистанційних методів дослідження та геоінформаційного аналізу в оцінці впливу бойових дій на ґрунти й земельні ресурси істотно зростає в умовах воєнної небезпеки та обмеженого доступу до постраждалих територій. Активні бойові дії, мінування місцевості, наявність нерозірваних боєприпасів і загроза повторних обстрілів значно ускладнюють або повністю роблять неможливим проведення повноцінних польових обстежень. За таких умов дистанційне зондування Землі (супутникові знімки, аерофотозйомка з безпілотних літальних апаратів) у поєднанні з ГІС-аналізом стає ключовим інструментом отримання об’єктивної інформації про просторові масштаби й інтенсивність воєнного впливу.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Основні види та механізми впливу на ґрунти

У роботі [1] запропоновано та науково обґрунтовано виокремлення нового типу деградації ґрунтів — деградації, зумовленої збройною агресією (воєнної деградації). Воєнний вплив має комплексний характер і не може бути зведений до окремих відомих форм порушення ґрунтового покриву. У межах цього підходу воєнну деградацію ґрунтів структуровано на низку взаємно-пов’язаних видів (табл. 3.1), серед яких виділено: механічну деградацію –руйнування ґрунтового профілю внаслідок вибухів, фортифікаційних робіт і пересування важкої техніки; фізичну деградацію, що проявляється у зміні щільності складання, пористості та водно-повітряного режиму ґрунту; хімічну деградацію, зумовлену накопиченням токсичних елементів, продуктів вибуху боєприпасів і нафтопродуктів; фізико-хімічну деградацію, яка охоплює порушення сорбційних властивостей і реакції ґрунтового середовища; біологічну деградацію, що виражається у зниженні біологічної активності та біорізноманіття ґрунтових організмів; а також інші напрями впливу на ґрунти й земельні ділянки, зокрема мінування та вторинні техногенні процеси. Запропонована класифікація створює методологічну основу для комплексної оцінки наслідків воєнних дій і планування заходів з відновлення ґрунтів.

Наведений перелік є концептуально виваженим, однак воєнний вплив на ґрунти має настільки багатофакторний характер, що його доцільно розширити, виокремивши низку додаткових видів деградації, які або лише опосередковано охоплені наявними категоріями, або взагалі не акцентовані. Їх виділення можна методологічно обґрунтувати специфікою саме воєнного чинника.

Можливо варто долучити такі види, як геоморфологічна, ерозійна та дефляційна, гідрологічна, ландшафтно-екосистемна та токсиколого-екологічна деградація. Спробуємо їх обґрунтувати. Вибухи боєприпасів, артилерійські удари, авіабомбардування спричиняють формування воронок, насипів, траншей, що призводить до повного руйнування ґрунтового профілю та зміни

мікро- і мезорельєфу. Ці процеси виходять за межі класичної механічної деградації, оскільки змінюють просторову організацію ґрунтового покриву і запускають вторинні ерозійні процеси. У таблиці 3.1 присутні порушення морфологічної будови профілю ґрунту та активізація ерозійних процесів.

Таблиця 3.1. Воєнний (мілітарний) тип і види деградації ґрунтів [1]

Види деградації	**Основні прояви деградації**
Механічна	Активізація ерозійних процесів, зсувів Механічні порушення морфологічної будови профілю ґрунту Перемішування генетичних горизонтів (педотурбація) Утворення вирв, ровів, ям
Фізична	Погіршення фізичних властивостей ґрунтів Стійкі зміни гранулометричного складу Стійкі зміни агрегатного складу (знеструктурення) Ущільнення
Хімічна	Погіршення гумусового стану ґрунтів Трофічне виснаження ґрунту Засолення Забруднення
Фізико-хімічна	Підкислення, підлуження
Біологічна	Зменшення (звуження) біорізноманіття Зменшення біологічної активності ґрунту Погіршення санітарного стану Токсичність ґрунту

Об’єднання всіх зазначених проявів лише в межах механічної деградації істотно спрощує й збіднює реальну картину воєнного впливу на ґрунти. Звичайний агрогосподарський обробіток також пов’язаний із порушенням ґрунтової структури: під час орання відбувається розпушення та перемішування верхніх горизонтів, змінюється агрегатний склад і мікрорельєф поверхні. Однак такі впливи, як правило, мають контрольований і відносно короткочасний характер, а ґрунт за нормальних умов здатний до самовідновлення. Довготривалі негативні наслідки агротехнічного втручання виникають переважно у специфічних випадках, зокрема під час розорювання крутих схилів, що може активізувати ерозійні процеси — загальновідому і добре досліджену загрозу.

Натомість воєнні дії спричиняють якісно інший тип механічних порушень, що супроводжується глибоким руйнуванням ґрунтового профілю, переміщенням великих об’ємів ґрунтової маси, формуванням воронок і насипів, а також запуском вторинних деградаційних процесів. Тому редукція таких різноспрямованих і довготривалих впливів до єдиної категорії механічної деградації є методологічно некоректною і потребує більш диференційованого підходу.

Дефляція ґрунтів — це процес вивітрювання та перенесення вітром дрібних частинок ґрунту, переважно пилу та піску, з оголеної поверхні, що призводить до втрати родючого верхнього шару і змін у структурі та рельєфі ґрунту. Цей процес належить до типових форм ерозії ґрунтів, але відрізняється тим, що переносом частинок опосередковано керує аеродинамічна дія вітру, а не вода чи механічне ущільнення. Землі півдня Україні традиційно були вразливі до цих процесів особливо у період розорювання первісного степу. Вітрова ерозія (дефляція) є одним із ключових процесів, що призводять до деградації ґрунтів степової зони України, особливо у вигляді пилових бур, здатних охоплювати великі площі та спричиняти значні втрати родючого ґрунту.

Міжнародні дослідники (наприклад, P. D. S. Nettleton у США, 1950–1970-ті роки) вивчали дефляцію в преріях та пустельних районах, визначали швидкість переміщення пилу й агрокліматичні чинники. Дефляція ґрунтів є природним процесом, але може активізуватися в умовах антропогенного чи воєнного впливу, коли верхній шар оголюється, знижується рослинний покрив і зростає рухливість частинок. Розуміння механізмів дефляції необхідне для оцінки деградації ґрунтів, планування захисних заходів і відновлення земель (Чорний, 2024). Так, інтенсивність вітрової ерозії залежить не лише від швидкості вітру, а й від сумарного впливу температури повітря, кількості опадів та випаро-вування, які разом визначають водний баланс ґрунту. Стабільно вологі ґрунти краще протистоять впливу вітру, тоді як сухі шари легко піддаються дефляції. Для кількісної оцінки потенційного ризику вітрової ерозії застосовано параметр

C (кліматичний фактор) із моделі WEQ, який базується на даних про середню довгострокову швидкість вітру та ефективність опадів. Аналіз показав, що в північній частині Степу, де значення індексу ефективних опадів вищі та середня швидкість вітру помірна (3–5 м/с), кліматичний фактор C є низьким (<10), що свідчить про меншу ерозійну небезпеку. Натомість у південних степових районах (Одещина, Миколаївщина, Херсонщина, Крим) зі слабкими опадами та більш сильними вітрами (понад 6 м/с) C значно більший (25–35), що вказує на підвищену схильність до ерозії. Особливо високі ризики вітрової ерозії виявлено у районах із Sod-піщаними, глинисто-піщаними ґрунтами та піщаними субстратами (напр., Олешківські піски), де низька опірність ґрунту у поєднанні з несприятливим кліматом створює сприятливі умови для дефляції.

Урахування кліматичних і ґрунтово-географічних чинників (зокрема вітрової ерозії, дефляції, вологості, типу ґрунтів) під час оцінки впливу воєнних дій на ґрунти та земельні ресурси в зоні окупації РФ є принципово важливим з кількох причин і може здійснюватися такими способами.

По-перше, інтеграція кліматичних факторів у модель воєнної деградації ґрунтів. Порушення ґрунтового покриву внаслідок вибухів, руху важкої техніки, зняття рослинного покриву або пожеж різко підвищує чутливість ґрунтів до природних процесів — передусім дефляції та водної ерозії. Тому кліматичні показники (швидкість і повторюваність сильних вітрів, кількість та сезонність опадів, посушливість) слід враховувати як множники воєнного впливу, що визначають швидкість і масштаб подальшої деградації.

По-друге, просторове зонування ризиків. На основі поєднання даних про типи ґрунтів, кліматичні фактори (наприклад, кліматичний коефіцієнт WEQ) та інтенсивність бойових дій можливо виокремлювати території з критичним ризиком вторинної деградації — особливо в південних і східних регіонах Степу України, де сухий клімат і сильні вітри сприяють розвитку дефляції після механічного руйнування ґрунту.

По-третє, використання дистанційного зондування та ГІС-аналізу. В умовах окупації та мінування територій прямі польові обстеження часто

неможливі. Супутникові дані (NDVI, LST, індекси оголеного ґрунту, сліди пожеж і вибухів) у поєднанні з кліматичними шарами дозволяють опосередковано оцінювати ступінь деградації та прогнозувати її розвиток.

По-четверте, прогнозування довгострокових наслідків. Урахування кліматичних чинників дає змогу оцінювати не лише первинну шкоду від війни, а й потенційну втрату родючості, пилові бурі, деградацію агроландшафтів і загрози продовольчій безпеці після деокупації.

Отже, кліматичні та ґрунтові чинники мають розглядатися не окремо, а як ключові компоненти системного аналізу воєнної деградації земель, що визначають масштаби, інтенсивність і тривалість негативних наслідків збройної агресії.

У разі, коли домінуючим видом воєнної деградації ґрунтів є ***механічна***, механізм впливу має чітко виражений ланцюговий (каскадний) характер, у межах якого первинні механічні порушення запускають подальші фізичні, хімічні та біологічні трансформації ґрунтового покриву (див. рис.3.1).

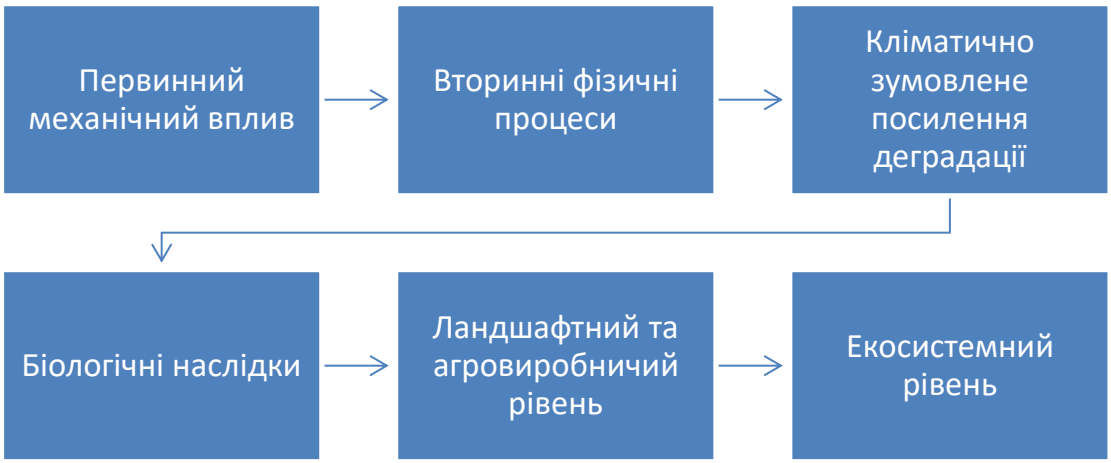

Рис.3.1. Схема механічного впливу на грунти

Первинний механічний вплив. Початковий етап пов’язаний із безпосереднім фізичним руйнуванням ґрунту внаслідок:

- вибухів боєприпасів (утворення воронок, перемішування генетичних горизонтів);
- риття окопів, траншей, бліндажів;
- проходження важкої гусеничної та колісної військової техніки;
- розмінування та інженерних робіт.

У результаті відбувається порушення природної стратифікації ґрунту, руйнування агрегатної структури, оголення малопродуктивних або стерильних підґрунтових шарів, локальне зняття гумусового горизонту.

Вторинні фізичні процеси. Механічне порушення спричиняє комплекс порушень структури і властивостей грунтового тіла:

- ущільнення ґрунту у коліях техніки з різким зниженням пористості;
- зміну водно-повітряного режиму;
- зростання поверхневого стоку та зниження інфільтрації.

Ці процеси створюють умови для активації ерозії — водної на схилах і дефляції на відкритих, оголених ділянках, особливо в степових регіонах України.

Кліматично зумовлене посилення деградації. За наявності сильних вітрів і браку вологи механічно порушені ґрунти швидко втрачають дрібнозем, гумус і поживні елементи, як було описано вище. Таким чином механічна деградація трансформується у комплексну фізико-ерозійну деградацію, роль та масштаби якої значно перевищують площу первинного пошкодження.

Біологічні наслідки. Руйнування ґрунтової структури та ущільнення призводять до: деградації ґрунтової біоти; пригнічення кореневих систем рослин; зниження інтенсивності гумусоутворення. Цей пункт є особливо болючим, оскільки більшість грунтів України мають виразне сільськогосподарське використання. Ґрунт втрачає здатність до самовідновлення, що є критичним у післявоєнний період.

Ландшафтний та агровиробничий рівень. За тривалого або масового механічного впливу формуються нові антропогенно-воєнні мікрорельєфи, які

змінюють напрямки стоку, структуру землекористування та придатність земель до сільськогосподарського використання. Ще досі у багатьох куточках Європи можна натрапити на утворення, що є наслідком інженерних та інших рішень часів першої світової війни. Нині вони інтегровані у довкілля та є основою утворених нових екосистем. Проте ці екосистеми є дещо відмінними від тих, які існували до війни. У цьому прояви **екосистемного рівня** трансформуючого впливу воєнних дій.

Таким чином, «механічна» воєнна деградація ґрунтів є пусковим механізмом більшості інших форм деградації. Вона не обмежується локальним порушенням, а запускає системні процеси, які за несприятливих кліматичних умов призводять до довготривалої втрати родючості та трансформації ґрунтового покриву на рівні ландшафту.

У випадку, коли домінуючим видом деградації ґрунтів, зумовленої воєнними діями, є ***фізична*** деградація, механізм впливу формується навколо зміни фізичних властивостей ґрунту без обов'язкового прямого руйнування його профілю, але з глибокими наслідками для функціонування ґрунтової системи. Цей механізм також має послідовний, каскадний характер.

Ініціювальний чинник воєнного походження – фізична деградація як результат багаторазового проходження військової техніки; тривалого перебування важких машин у стані стоянки; вібраційного навантаження від артилерійських обстрілів; термічного впливу пожеж і вибухів. На відміну від механічної деградації, тут структура профілю формально зберігається, але маємо різку зміну фізичних параметрів ґрунту.

Первинним наслідком переважно є ущільнення орного та підорного горизонтів, зменшення загальної та макропористості, зростання об'ємної маси, порушення капілярності та водопровідності. Утворюються ущільнені шари (плужна або техногенна підошва), які перешкоджають вертикальному руху води та росту коренів. Також ще більш руйнівний результат може бути від термічного впливу унаслідок пожеж, у тому числі ураженої військової техніки та великої кількості паливних матеріалів (див. рис.3.2).

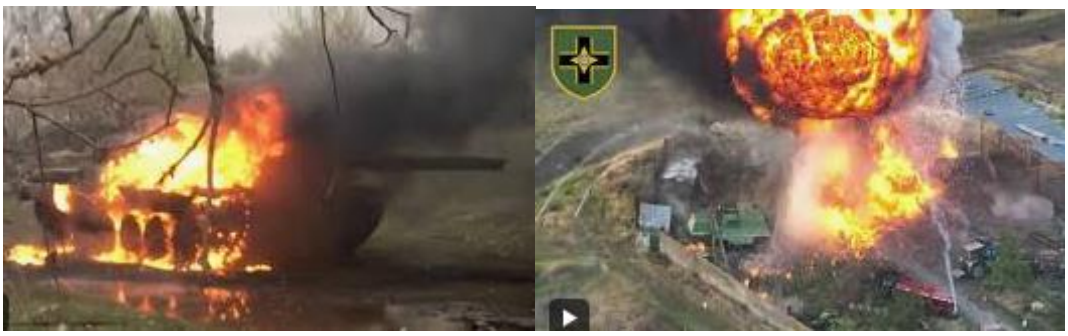

Рис.3.2. Термічний вплив воєнних дій

Порушення водно-повітряного режиму ущільнює ґрунт, котрий у результаті характеризується: дефіцитом кисню в кореневмісному шарі; застійним зволоженням після опадів або, навпаки, швидким висушуванням поверхні; підвищеним поверхневим стоком. Це створює умови для вторинної водної ерозії, особливо на схилах і в умовах зливових опадів.

Біофізичні та біологічні наслідки фізичної деградації проявляються у пригніченні кореневих систем рослин, зменшенні активності ґрунтової мікрофлори; уповільненні мінералізації та гумусоутворення. Деякі прояви вивчено у [1, 7, 8, 9], хоча атрибутовано не власне фізичному, а комбінованому впливу із акцентом на хімічну та токсичну компоненти. Ґрунт втрачає свою екосистемну функціональність, навіть за відсутності видимого руйнування. Зазначимо, що в умовах глобальних кліматичних змін актуальним є кліматичне посилення деградації, коли унаслідок посух, високих температур і сильних вітрів фізично деградовані ґрунти стають більш схильними до кіркоутворення, вразливими до дефляції після висихання поверхні, менш здатними до саморегуляції водного балансу. Таким чином фізична деградація переходить у комбіновану фізико-ерозійну.

Довгострокові агровиробничі наслідки фізичної деградації наближаються до механічних, проте зазвичай накопичення фізичних порушень зумовлює додаткове тривале зниження врожайності. Також слід відзначити обмеження придатності земель до обробітку, потребу у глибоких меліоративних заходах і рекультивації після деокупації. Фізична деградація ґрунтів унаслідок воєнних дій є системно небезпечною формою порушення, бо змінює параметри ґрунту.

3.2. Наслідки забруднення ґрунтів та деградації земельних ресурсів унаслідок воєнних дій

З плином часу інтенсивність наслідків механічних і фізичних впливів воєнних дій на ґрунтовий покрив поступово зменшується, а в порушених ділянках запускаються природні процеси самовідновлення ґрунтового тіла. Вирівнюється мікрорельєф, частково відновлюється агрегатна структура, активізується ґрунтова біота та відбувається повторне формування рослинного покриву. Водночас швидкість і повнота цього відновлення істотно варіюють у просторі.

Орієнтовні терміни, після яких земельні ресурси можуть вважатися умовно придатними для використання, залежать від сукупності чинників: типу ґрунту та його гранулометричного складу, кліматичних умов, ступеня і площі порушення, наявності ерозійних процесів, а також від характеру подальшого землекористування і застосування рекультиваційних заходів. За сприятливих умов і за відсутності значного забруднення, часткове відновлення фізичних властивостей ґрунту можливе протягом 3–5 років, тоді як стабілізація водно-повітряного режиму та продуктивності зазвичай потребує 5–10 років. У випадках глибокого ущільнення, руйнування гумусового горизонту або поєднання фізичної деградації з хімічним забрудненням процес відновлення може тривати десятиліттями і без цілеспрямованих заходів ремедіації залишатися неповним.

Отже, повернення земель до господарського використання після воєнних дій є тривалим і багатофакторним процесом, що потребує науково обґрунтованої оцінки стану ґрунтів і поєднання природного відновлення з активними відновлювальним втручанням. Так, дійсно, щоб зменшити вплив вирви від вибуху, траншеї чи окопу, часто достатньо їх засипати, зберігаючи по можливості структуру шарів ґрунту – це проста дія скорочує час відновлення у рази. Проте зовсім інші механізми та часові шкали проявляються, якщо окрім фізичного та механічного впливу присутнє хімічне забруднення. Цей вид порушення ґрунтів та деградації земельних ресурсів може мати віддалені небезпечні наслідки.

Такі наслідки проявляються не одразу, а поступово, у міру міграції токсичних речовин у ґрунтовому профілі, їхнього залучення до біогеохімічних циклів та накопичення в рослинності. Продукти вибуху боєприпасів, важкі метали, залишки пально-мастильних матеріалів і вибухових речовин можуть тривалий час зберігатися у ґрунті, порушуючи його хімічну рівновагу, змінюючи реакцію середовища, катіонний обмін і доступність поживних елементів. На відміну від механічних порушень, хімічне забруднення не нейтралізується самостійно в короткостроковій перспективі та часто потребує спеціальних заходів — хімічної, фізико-хімічної або біологічної ремедіації.

Крім того, небезпека цього типу деградації полягає у його латентному характері: зовні відновлений ґрунтовий покрив може залишатися джерелом токсикантів, що потрапляють у сільськогосподарську продукцію, ґрунтові та поверхневі води, а відтак — у харчові ланцюги. Це зумовлює ризики для здоров’я населення та обмежує можливість повноцінного агровиробничого використання земель навіть через роки після завершення бойових дій.

Отже, оцінювання придатності порушених війною земель має базуватися не лише на візуальних або морфологічних ознаках відновлення, а й на результатах ґрунтово-хімічного моніторингу та екотоксикологічної оцінки. Лише комплексний підхід дозволяє обґрунтовано визначати строки повернення земель у господарський обіг і обирати адекватні стратегії їх безпечного та сталого використання у післявоєнний період.

Яскравими прикладами таких змін є дослідження біотестування різних зразків ґрунту з метою визначення їх фітотоксичності за допомогою методів фітоіндикації, виконане у роботі [8]. Застосований метод дає змогу ідентифікувати наявність токсичних агентів в едафотопі, здатних пригнічувати ріст і розвиток рослинних організмів. За результатами комплексної морфо-фізіологічної оцінки проростків, виконаної відповідно до шкали токсичності Кабірова, встановлено рівень токсичності, близький до середнього: інтегральний показник становив близько 0,7, що відповідає межі між слабким і середнім ступенями токсичного впливу. Такий результат може свідчити про відносну

стійкість ґрунтової екосистеми, зумовлену високим природним потенціалом родючості та буферними властивостями ґрунту.

Водночас аналіз інформаційних джерел [8] указує на значно вищу інтенсивність бойових дій у межах Інгульського району м. Миколаєва, що узгоджується з отриманими результатами біотестування. Зокрема, зафіксовано сповільнення процесів схожості та початкового росту рослин, що непрямо підтверджує негативний вплив воєнних чинників на стан ґрунтів і їх екологічні властивості.

У разі, коли домінуючим видом деградації ґрунтів унаслідок воєнних дій є ***хімічна*** деградація, механізм впливу формується навколо надходження, трансформації та міграції токсичних речовин у ґрунтовому профілі, що призводить до тривалого порушення хімічних, біологічних і функціональних властивостей ґрунту. На відміну від механічних і фізичних порушень, цей тип деградації має високу інерційність і віддалені наслідки.

Джерела хімічного навантаження воєнного походження суттєво відрізняються від забруднень, які у мирний час потрапляють у грунт унаслідок промислової діяльності чи використання землі у сільському господарстві.

Початковий етап пов’язаний із потраплянням у ґрунт: продуктів вибуху боєприпасів (нітросполуки, перхлорати, сполуки азоту); важких і потенційно токсичних елементів (Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Ni), що входять до складу боєприпасів, осколків і металевих конструкцій; залишків пально-мастильних матеріалів, мастил і технічних рідин; продуктів горіння (поліциклічні ароматичні вуглеводні, діоксини). Ці речовини формують первинний хімічний імпульс деградації.

Трансформація і фіксація токсикантів у ґрунті – визначальний етап, що впливає на те, як буде розвиватись забруднення далі і наскільки токсичні речовини будуть мобільними. Після надходження токсиканти: адсорбуються на мінеральних і органічних колоїдах; вступають у реакції іонного обміну; змінюють кислотно-лужний стан ґрунту та окисно-відновні умови. Залежно від властивостей ґрунту (вміст гумусу, гранулометричний склад, pH) забруднювачі

можуть тимчасово фіксуватися або, навпаки, переходити в рухомі форми. Має місце хімічна та фізична (дифузійна) міграція іонів та комплексів.

Вертикальна та горизонтальна міграція токсичних сполук відбувається передусім за участі води, що є одним із найкращих розчинників. Згадані токсичні (нетоксичні теж, але вони нас цікавлять менше) речовини мають можливість переміщатись вниз по профілю ґрунту, досягаючи ґрунтових вод; вони змиваються у поверхневі водні об'єкти; повторно мобілізуються під час зміни вологості або кислотності. Таким чином зона хімічного впливу часто виходить за межі первинного осередку бойових дій. У роботі [46] вивчено забруднення ґрунту у контрольних точках на відстані від 1 до 5 м від утворених вирв (див. рис.3.3). Якщо вимірювання провести через рік чи декілька, у згаданих точках концентрація забруднюючих речовин впаде, проте може зрости у віддалених точках.

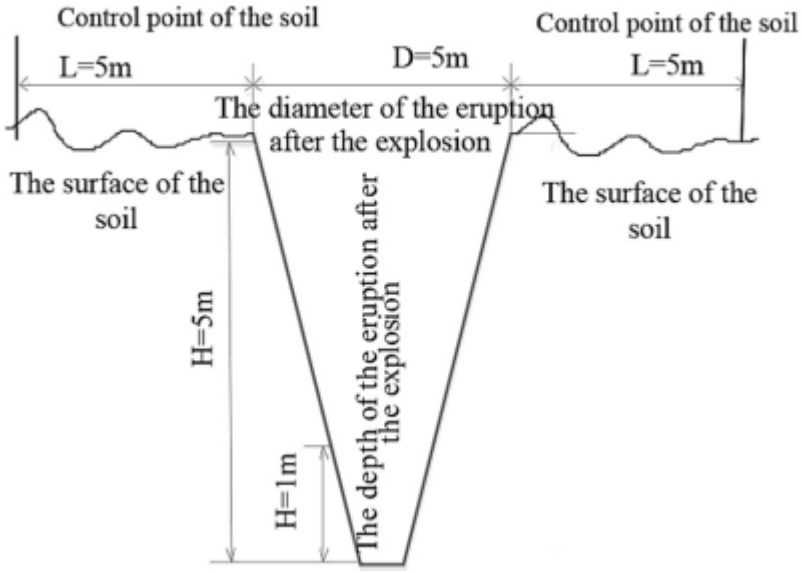

Рис.3.3. Локалізація забору точок забрудненого ґрунту довкола місця вибуху – механічний, фізичний та хімічних впливи військових дій згідно [46]

Біологічні та екотоксикологічні ефекти й наслідки впливу хімічного типу. Хімічна деградація призводить до: пригнічення ґрунтової мікрофлори та мезофауни; порушення процесів мінералізації та гумусоутворення; накопичення токсикантів у рослинах і їх потрапляння в трофічні ланцюги. Навіть за

зовнішньо «відновленого» ґрунту екосистема залишається функціонально порушеною.

Довгострокові наслідки для земельних ресурсів має деградація із хімічними компонентами. Унаслідок хімічної деградації: ґрунти можуть тривалий час залишатися непридатними для сільськогосподарського використання; виникає потреба у зонуванні територій за рівнем екологічного ризику; відновлення можливе лише за умови цілеспрямованої ремедіації (фіторемедіація, хімічна стабілізація, заміна ґрунту).

Хімічна деградація ґрунтів унаслідок воєнних дій є найбільш довготривалою і потенційно небезпечною формою порушення, оскільки її наслідки часто мають прихований характер, виходять за межі зон бойових дій і потребують науково обґрунтованих заходів контролю та відновлення перед поверненням земель у господарський обіг. Хімічний вплив є одним із системних і практично неминучих наслідків активних бойових дій. Використання вибухових боєприпасів супроводжується утворенням значних об’ємів газоподібних, аерозольних і твердих продуктів детонації та згоряння вибухових речовин. Зокрема, за даними [21], вибух 115-мм осколково-фугасного снаряда, спорядженого гексогеном, призводить до формування тисяч літрів газоподібних продуктів, що містять оксиди вуглецю, азоту та інші хімічні сполуки. Частина цих продуктів розсіюється в атмосфері, тоді як значна їх кількість у вигляді аерозолів, конденсованих фракцій і частинок металів осідає на поверхні та акумулюється у ґрунті. Це зумовлює локальне та регіональне хімічне забруднення едафотопів, здатне тривало впливати на ґрунтові екосистеми, біоту й агроекологічну безпеку територій.

У [46] окрім аналізу забруднення іонами Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Ti, Zn, Zr у місцях вибуху російських ракет також шляхом аналізу літературних джерел проаналізовано інші мілітарні впливи і підтверджено, що у місцях розміщення військових баз спостерігається підвищення концентрацій токсичних елементів у ґрунтах територій. Як було підтверджено, надлишок цих елементів пригнічує ріст рослин приблизно на 5–10%.

Забруднення ґрунтів важкими металами внаслідок воєнних дій має тривалий, еволюційний у часі вплив на біоту, який змінюється за фазами. Важливо, що на відміну від багатьох органічних токсикантів, важкі метали не руйнуються, а лише переходять між формами та екологічними нішами.

На основі аналізу літературних джерел (Liaquat, 2024; Oliveira, Pampulha, 2006; Zhang et al., 2025) можна стверджувати, що початкова фаза триває 0–1 рік після забруднення. Протягом неї домінуючі процеси є осідання металів у вигляді пилу, аерозолів, уламків боєприпасів. При цьому є висока частка рухомих (біодоступних) форм металів, а різка зміна pH ґрунту (часто закислення) підсилює токсичність. Найбільше від таких процесів страждають мікроорганізми ґрунту (бактерії, гриби, актиноміцети). Це проявляється у зниженні мікробної біомаси, пригніченні ферментативної активності, порушенні колообігу азоту та фосфору. У рослин-індикаторів відзначають пригнічення проростання, кореневі некрози. Також страждають ґрунтові безхребетні (дощові черв'яки, кліщі), у них виявляють гостру токсичність і загибель. Це фаза максимального екологічного ризику.

Перехідна фаза триває 1–5 років. Тут домінуючі процеси – фіксація металів ґрунтовим поглинальним комплексом, перехід частини металів у умовно малорухомі форми (карбонати, оксиди Fe і Mn, органо-мінеральні комплекси). Характерною є вертикальна міграція у профілі ґрунту.

Вплив на біоту має наступні ознаки: мікроорганізми частково відновлюються, але структура угруповань змінюється; у рослин маємо зменшення гострої фітотоксичності, проте переважає хронічне накопичення металів у біомасі. Вищі трофічні рівні (комахи, дрібні хребетні) часто проявляють порушення репродукції, у них спостерігаємо біоакумуляцію. Найуразливішими стають рослини та ґрунтові безхребетні, які забезпечують перенесення металів у трофічні ланцюги.

Хронічна фаза триває 5–30 років і більше. Характерними ознаками є переважання зв'язаних форм металів. За дії певних факторів може відбуватись повільна ремобілізація при: закисленні ґрунту; ерозії; зміні гідрологічного

режиму. Мікробні та рослинні угруповання адаптуються, зменшується токсичність, але не зникає ризик: накопичення у харчових ланцюгах; вплив на генетичну стабільність популяцій. Дикі тварини страждають менше, ніж агроекосистеми, але ефект залишається. Найчутливішими залишаються організми нижчих трофічних рівнів і культурні рослини.

Ключовим є те, що для важких металів, які на відміну від багатьох інших сполук (нафтопродукти, леткі органічні сполуки тощо) не розкладаються, а тому не існує універсального “безпечного часу”, після якого вплив автоматично зникає. Приймається, що без активної рекультивації) час переходу до умовно низького ризику становить: 30-100 років для свинцю, 10-50 років для кадмію, 5-20 (сильно залежить від pH ґрунту) років для цинку і міді.

Вплив можна вважати нехтувально малим, якщо одночасно: концентрації нижчі за екологічні нормативи; біодоступна фракція < 10–15%; відсутнє накопичення у біомасі індикаторних видів.

Насправді у кожному конкретному випадку наслідки забруднення ґрунтів дуже суттєво залежать від складу забруднювачів, їх хімічної та фізичної форми, а також сумарного обсягу надходження. Визначальну роль відіграє біодоступність токсикантів, яка обумовлюється їх здатністю переходити в ґрунтовий розчин, взаємодіяти з ґрунтово-поглинальним комплексом і включатися в біогеохімічні цикли. Не менш важливими є властивості самого ґрунту — гранулометричний склад, вміст органічної речовини, кислотно-лужний режим і гідрологічні умови, що можуть як посилювати, так і послаблювати токсичний ефект. У результаті навіть за однакових рівнів формального забруднення екологічні наслідки можуть істотно відрізнятися — від короткочасного локального пригнічення біоти до тривалих змін структури ґрунтових екосистем і стійкого накопичення токсичних елементів у трофічних ланцюгах. Існує багато наукових робіт і оглядів, у яких безпосередньо оцінюють вплив різних факторів (pH, органічна речовина, гранулометричний склад, форми металів тощо) на поведінку, мобільність і токсичність важких металів у ґрунтах (Bayraklı, Dengiz, Özyazıcı, Koç, Kesim, Türkmen).

3.4. Напрями екологічної реабілітації ґрунтового покриву після воєнних порушень

Воєнні дії є одним із найпотужніших антропогенних чинників деградації ґрунтового покриву, наслідки яких часто мають тривалий, а подекуди й незворотний характер. У процесі бойових операцій ґрунти зазнають комплексного фізичного, хімічного та біологічного порушення внаслідок вибухів боєприпасів, руху важкої військової техніки, руйнування промислової та цивільної інфраструктури, а також накопичення продуктів згоряння пального й вибухових речовин. Це призводить до зміни морфологічної будови ґрунтів, порушення їх фізико-хімічних властивостей, зниження біологічної активності та втрати екосистемних функцій.

У цьому контексті екологічна реабілітація ґрунтового покриву після воєнних порушень набуває стратегічного значення як складова повоєнного відновлення територій. Вона передбачає комплекс науково обґрунтованих заходів, спрямованих на зменшення токсичного навантаження, відновлення фізичної структури ґрунтів, активізацію біологічних процесів і повернення ґрунтам здатності виконувати свої природні та господарські функції. Вибір ефективних напрямів реабілітації потребує врахування характеру воєнних ушкоджень, типу ґрунтів, складу забруднювачів і природно-кліматичних умов, що зумовлює актуальність системного аналізу сучасних підходів до відновлення ґрунтового покриву в постконфліктний період.

Особливу небезпеку становить забруднення ґрунтів важкими металами, залишками вибухових речовин і токсичними сполуками, які характеризуються високою стійкістю та здатністю до тривалої міграції й акумуляції в ґрунтовому профілі. Такі забруднювачі негативно впливають на ґрунтову біоту, рослинний покрив і трофічні ланцюги, створюючи ризики для агроекологічної безпеки, здоров’я населення та відновлення природних екосистем. За відсутності цілеспрямованих відновних заходів деградовані території можуть залишатися екологічно небезпечними протягом десятиліть. Важливо розуміти фактори та механізми можливої реабілітації грунтів.

Фактори, що прискорюють або сповільнюють відновлення

Прискорюють

- нейтральний або слабколужний pH;
- високий вміст гумусу;
- фітомеліорація (гіпер- і фітоекстрактори);
- внесення сорбентів (біочар, фосфати).

Сповільнюють

- кислі ґрунти;
- піщані ґрунти;
- повторні бойові впливи;
- ерозія та підтоплення.

Існують таким чином аргументи на користь того, що більшість цінних ґрунтів, що зазнали впливу бойових дій, можна буде відновити, хоча загалом відновлення ґрунтів, зокрема чорнозему, порушеного внаслідок бойових дій, є реальним, але це довготривалий, поетапний і не завжди повний процес, який суттєво залежить від типу ушкоджень, глибини порушення та характеру забруднення. А також залежить від виду ґрунту.

У [1] проведено таку оцінку (станом на березень 2023 року) – найбільшу частку серед ґрунтів, на які вплинули бойові дії становлять чорноземи звичайні на площі 59,24 тис. км², слідом за ними йдуть дернові та дерново-підзолисті ґрунти на площі 29,64 тис. км², далі чорноземи південні (27,74), потім чорноземи типові (16,16), згодом темно-каштанові ґрунти на площі 14,73 тис. км². Далі із значним відривом ідуть ясно-сірі та сірі лісові, лучні, лучно-чорноземні, темно-сірі опідзолені, коричневі, чорноземи опідзолені, болотні, торфово-болотні та каштанові ґрунти, останніх біля 2,83 тис. км².

Про потребу і напрями ремедіації ґрунтів України по завершенню збройної агресії пишуть чимало авторів в даній темі. Зокрема, у [19] зазначено, що пріоритетність заходів з відновлення ґрунтів має передбачати комплексний підхід, що охоплює:

- меліорацію та відновлення ґрунтової структури,
- застосування біоремедіаційних технологій і відновлення мікробіоти,
- ландшафтну рекультивацію, а також
- запобігання розвитку ерозійних процесів.

Систематичний моніторинг ефективності відновлювальних заходів забезпечує адаптивність управлінських рішень і своєчасне коригування стратегії залежно від отриманих результатів. Заходи із відновлення дозволять зменшити токсичне, фізичне та біологічне навантаження, стабілізувати екологічний стан і забезпечити безпеку населення.

Автор [21] вказує, що подальші наукові дослідження доцільно зосередити на розробленні та апробації екологічно безпечних, ресурсоефективних і економічно обґрунтованих технологій відновлення ґрунтового покриву, адаптованих до різних типів воєнних порушень і рівнів деградації. Реалізація таких підходів дасть змогу знизити довготривалі екологічні ризики, пов’язані з наслідками військових дій, обмежити поширення забруднювачів у суміжні компоненти довкілля та відновити ключові екосистемні функції ґрунтів. У перспективі це сприятиме екологічній стабілізації та сталому соціально-економічному розвитку постконфліктних територій, а також формуванню науково обґрунтованої політики управління деградованими землями.

Відновлення земель та грунтів дороговартісний, складний і тривалий процес. У роботі [1] проведено економічну оцінку збитків від різних видів пошкодження земель і вказано, що найбільшою розмір збитків завдано саме хімічним забрудненням (у 2 303,744 млн грн оцінено забруднення полів на площі у 7 194,71 ± 245,46 га), порівняно невисокий збиток від ущільнення грунтів (1,443 млн грн, площа пошкодження 572,8 га). Зазначимо, це дані станом на 2023 рік, з того часу частка деградованих земель зросла. Проте для того, аби ці землі працювали на благо України, їхнє відновлення доконче потрібно. Екологічна реабілітація ґрунтового покриву, порушеного внаслідок воєнних дій, потребує інтегрованого міждисциплінарного підходу, що поєднує інженерно-технічні, агроекологічні, біогеохімічні та ландшафтні заходи

Напрями відновлення земельних ресурсів що зазнали впливу воєнних дій, є у центрі уваги дослідників та предметом роботи цілих конференцій, як от 4 грудня 2023 року у Києві під егідою Міністерства аграрної політики та продовольства України та державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» проведена міжнародна науково-практична конференція «Моніторинг ґрунтів: пріоритети досліджень для сприяння відновленню України», результати якої підсумовано у відповідному збірнику праць за ред. Паламарчук Р.П. Автори підкреслюють важливість впровадження системного моніторингу стану ґрунтів на постраждалих територіях, що дозволяє визначити ступінь деградації та оптимізувати заходи щодо їх реабілітації. Акцент зроблено на необхідності розроблення і застосування науково обґрунтованих методик очищення ґрунтів, екологічного моніторингу, раціонального землекористування та біоремедіації, які сприятимуть відновленню їх продуктивності та забезпеченню сталого розвитку аграрного сектору у післявоєнний період. Такий підхід, як зазначено, є ключовим для збереження природних ресурсів і стабільності аграрної галузі України після завершення бойових дій.

Під час відновлення ґрунтів і земельних ресурсів, що зазнали деградації внаслідок збройної агресії Російської Федерації проти України, доцільно розробляти, оптимізувати та послідовно реалізовувати комплексний план реабілітаційних заходів. Конкретні параметри такого плану мають уточнюватися в ході спеціалізованих наукових і прикладних досліджень з урахуванням регіональних особливостей та характеру ушкоджень. Водночас загальна концептуальна схема відновлення є чітко окресленою та включає низку взаємопов’язаних етапів.

Першим етапом має бути попередній аналіз стану пошкоджених територій, який доцільно здійснювати із застосуванням дистанційних методів дослідження (дані супутникового моніторингу, аерофотозйомка, ГІС-аналіз). Це дозволяє оперативно оцінити масштаби деградації, визначити пріоритетні ділянки та обсяги необхідних відновлювальних робіт.

Наступним критично важливим кроком є знешкодження постраждалих територій, з огляду на можливу наявність мін, нерозірваних боєприпасів, уламків військової техніки, а також високотоксичних хімічних сполук. Проведення цього етапу є обов’язковою умовою безпечної реалізації подальших рекультиваційних заходів.

Подальше інженерно-ландшафтне відновлення передбачає усунення грубих порушень рельєфу та ґрунтового профілю, зокрема планування й вирівнювання поверхні, ліквідацію вирв, траншей та окопів, а також локальне видалення або ізоляцію сильно забруднених ґрунтових мас. Метою цього етапу є створення базових умов для стабілізації ґрунтового покриву.

Більш детальне відновлення включає формування або відновлення родючого шару ґрунту, а за наявності токсичних домішок — застосування заходів хімічної та фізико-хімічної ремедіації, спрямованих на зниження екологічних ризиків та міграції забруднювачів.

Важливим компонентом реабілітаційного процесу є біологічна реабілітація та відновлення ґрунтової біоти, що досягається шляхом фітомеліорації, використання сидеральних культур, внесення органічних матеріалів і стимуляції мікробіологічних процесів.

Завершальним етапом виступає ландшафтно-екологічна стабілізація територій, яка передбачає формування буферних зон і захисних насаджень, оптимізацію структури землекористування, впровадження протиерозійних заходів, а також створення системи довгострокового моніторингу та адаптивного управління станом ґрунтів.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ

В умовах повномасштабної збройної агресії Російської Федерації проти України роботи з обстеження, відновлення та реабілітації ґрунтів і земельних ресурсів здійснюються в середовищі підвищеної небезпеки. Території, що зазнали бойових дій, часто характеризуються наявністю нерозірваних боєприпасів, мін, уламків військової техніки, а також хімічного, токсичного чи радіаційного забруднення. Це створює значні ризики для життя і здоров'я фахівців, залучених до польових, лабораторних та інженерно-рекультиваційних робіт, і потребує спеціального підходу до організації охорони праці, відмінного від стандартних умов цивільної діяльності.

Ключовим елементом забезпечення безпеки є оперативна оцінка професійних ризиків, яка передбачає ідентифікацію потенційно небезпечних ділянок земель, визначення зон мінної небезпеки, хімічного або радіаційного забруднення, а також оцінку фізичних загроз, пов'язаних із порушенням рельєфу та ґрунтового профілю. На основі такої оцінки розробляються сценарії надзвичайних ситуацій з урахуванням імовірності вибухів, обвалів, займання рослинності або вторинного забруднення довкілля. Планування включає визначення безпечних маршрутів пересування, місць укриття, порядку евакуації та алгоритмів дій персоналу у разі виникнення небезпечних ситуацій.

Інженерно-технічні заходи охорони праці під час робіт на постраждалих землях охоплюють облаштування тимчасових захисних укриттів і безпечних зон, обмеження доступу до небезпечних ділянок, застосування дистанційних методів дослідження (дрони, сенсори), а також використання спеціалізованого обладнання для роботи з забрудненими ґрунтами. Важливим є оснащення робочих майданчиків засобами зв'язку, сигналізації та оповіщення про можливі загрози, у тому числі хімічного або вибухонебезпечного характеру.

Особливу увагу слід приділяти організації роботи персоналу, зокрема проведенню обов'язкових інструктажів і навчань з питань безпечної поведінки на територіях, що зазнали бойових дій, правил дій у разі виявлення вибухонебезпечних предметів, роботи в умовах токсичного забруднення та надання домедичної допомоги. Призначаються відповідальні особи за охорону праці, які здійснюють постійний контроль за дотриманням вимог безпеки, а також впроваджується почерговість виконання робіт і дистанційний моніторинг там, де

це можливо, з метою мінімізації перебування людей у небезпечних зонах. Працівники забезпечуються індивідуальними засобами захисту — касками, захисним взуттям, рукавичками, респіраторами або протигазами, захисним одягом та іншими засобами відповідно до характеру ризиків.

Роботи з обстеження та відновлення земель проводяться у взаємодії з підрозділами ДСНС, саперними службами, органами місцевої влади та військовими формуваннями, що забезпечує своєчасне реагування на надзвичайні ситуації та зниження рівня ризику. За потреби створюються оперативні групи або штаби, які координують дії з безпеки, контролюють стан робочих зон і приймають рішення щодо припинення або відновлення робіт.

Постійний моніторинг умов праці, фіксація небезпечних інцидентів і аналіз ефективності впроваджених заходів дозволяють підвищувати рівень безпеки та коригувати систему охорони праці. Використання безпілотних літальних апаратів, геоінформаційних систем і автоматизованих сенсорів є доцільним для оцінювання стану територій без безпосередньої присутності персоналу у зоні підвищеної небезпеки.

Таким чином, охорона праці під час виконання робіт з реабілітації ґрунтів і земельних ресурсів у зоні воєнних порушень потребує поєднання загальноприйнятих норм безпеки з додатковими інженерними, організаційними та протиаварійними заходами. Основною метою є збереження життя і здоров’я працівників, запобігання нещасним випадкам і створення безпечних умов для реалізації заходів з відновлення земель.

Основні вимоги до умов і безпеки праці регламентуються чинним законодавством України, посадовими інструкціями та інструкціями з охорони праці, які в умовах воєнного стану мають бути актуалізовані з урахуванням специфіки робіт на постраждалих територіях. Проходження інструктажів з охорони праці є обов’язковою умовою допуску до виконання робіт. Роботодавець зобов’язаний створити службу охорони праці, розробити колективний договір за участі первинної профспілкової організації, усувати причини нещасних випадків і професійних захворювань, забезпечувати належний технічний стан обладнання та споруд, проводити аудит умов праці, лабораторні дослідження, атестацію робочих місць і здійснювати постійний контроль за дотриманням працівниками вимог безпеки та правил використання засобів колективного й індивідуального захисту.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У процесі виконання роботи «Оцінка впливу воєнних дій на стан ґрунтів і земельних ресурсів» здійснено комплексний аналіз сучасних наукових підходів до вивчення воєнного антропогенного впливу на ґрунтовий покрив, а також узагальнено основні механізми деградації ґрунтів і земель у зонах бойових дій. Встановлено, що воєнні дії є одним із найпотужніших факторів антропогенного порушення ґрунтів, який за масштабами та інтенсивністю впливу перевищує більшість традиційних видів господарської діяльності.

За результатами літературного огляду визначено, що воєнний вплив на ґрунти має комплексний характер і поєднує механічні, фізичні, хімічні та біологічні механізми деградації.

- До основних механічних порушень та їх наслідків належать
  - Механічні порушення морфологічної будови профілю ґрунту
  - Перемішування генетичних горизонтів
  - Утворення вирв, ровів, ям
  - Активізація ерозійних процесів, зсувів
- До основних фізичних порушень та їх наслідків належать
  - Погіршення фізичних властивостей ґрунтів
  - Стійкі зміни гранулометричного та агрегатного складу
  - Зміни пов’язані з високими температурами: вигорання органіки, спікання часток, зміна щільності, водо та газопроникності
- До основних хімічних порушень та їх наслідків належать
  - Стійкі зміни хімічного складу
  - Накопичення важких металів, продуктів вибуху боєприпасів, залишків паливно-мастильних матеріалів і токсичних сполук,
  - Зростання фітотоксичності, порушення біогеохімічних циклів
- Біологічні наслідки полягають у
  - зниженні активності ґрунтової мікробіоти,
  - деградації ґрунтової фауни та
  - пригніченні процесів гумусоутворення.

Встановлено, що значні площі земель України, передусім чорноземи, постраждали від хімічного забруднення, засмічення, знищення озимих, ущільнення ґрунтів – збитки ще два роки тому оцінювали у декілька мільярдів гривень. Значну небезпеку при відновленні становлять міни та залишки вибухових речовин у землях України.

Віддаленими наслідками впливу воєнних дій слід вважати порушення ландшафтної структури та екосистемної цілісності територій, практичні результати – потреба значних ресурсів та часу на відновлення, а також пригнічення росту та погіршення схожості рослин на полях, що зазнали впливу війни. Оцінка екологічних і агровиробничих наслідків порушення ґрунтового покриву свідчить, що деградація ґрунтів унаслідок воєнних дій призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур, погіршення якості продукції, втрати екосистемних функцій ґрунтів та зростання ризиків для здоров’я населення.

У роботі узагальнено сучасні методи оцінки стану ґрунтів у зонах воєнного впливу, які поєднують дистанційні методи дослідження, геоінформаційні технології, польові обстеження та лабораторні аналізи фізичних, хімічних і біологічних показників.

Проаналізовано основні підходи до рекультивації та відновлення деградованих земель, порушених унаслідок воєнних дій. Обґрунтовано доцільність поетапної екологічної реабілітації, яка включає:

- попередню оцінку і знешкодження територій,
- інженерно-технічну рекультивацію,
- хімічну та біологічну ремедіацію, а також
- ландшафтно-екологічну стабілізацію.

Відновлення ґрунтів має орієнтуватися не лише на повернення агровиробничої функції, а й на відновлення екологічної стійкості територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Балюк С. А., Кучер А. В., Солоха М. О., Соловей В. Б. (2024). Оцінювання впливу збройної агресії рф на ґрунтовий покрив України. *Український географічний журнал*, (1), 7-18.
2. Балюк, С. А., Медведєв, В. В., Мірошниченко, М. М., Скрильник, Є. В., Тимченко, Д. О., Фатєєв, А. І., ... & Цапко, Ю. Л. (2012). Екологічний стан ґрунтів України. *Український географічний журнал*, (2), 38-42.
3. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / [ред. Желібо Є.П.]. – К.: Каравела, 2008. – 344 с.
4. Бойко М., Гальчук І. (2023). *Вплив бойових дій на родючість українських ґрунтів*. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Моніторинг ґрунтів: пріоритети досліджень для сприяння відновленню України». За ред. Паламарчук Р.П. – Київ, 2023. – С. 117.
5. Браславська О. В. Використання супутникових даних для оцінки деградації ґрунтів в аграрних регіонах України / О. В. Браславська, О. М. Грицик, Т. А. Рожі. - С .451-465 // у Просторовий розвиток [] = Spatial development : наук. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури; [голов.ред. О. І. Шкуратов]. – Вип. № 13. - 2025. - 961 с.
6. Василюк О., Норенко К. Вплив військової діяльності на природу України: посібник / О. Василюк, К. Норенко; [за заг. ред. О. Кравченко] — Видавництво «Компанія "Манускрипт"» — Львів, 2019. — 68 с.
7. Гончарова, А. Є. (2024). Вплив війни на ґрунт і сільськогосподарські землі: бібліометричний аналіз та вдосконалення методів оцінки битку. *Збалансоване природокористування*, (4), 87-97.
8. Градович Н., Малиновська О., Параняк Р. (2024). Вплив бойових дій на ґрунтову екосистему Миколаївщини // *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*, 26(100), 150–156. https://doi.org/10.32718/nvlvet-a10023

9. Дідур О. О., Кулік А. Ф., Доценко Л. В. (2024). Оцінка морфометричних змін паростків гравілату міського (Geum urbanum) за умов моделювання попадання підвищених доз кадмію в ґрунт унаслідок бойових дій. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, *53*, 64-74.
10. Зав'ялова, Л. В., Протопопова, В. В., Панченко, С. М., Смаголь, В. О., Коломійчук, В. П., Кучер, О. О., & Шевера, М. В. (2022). Синантропізація рослинного покриву України унаслідок воєнних дій. *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля вумовах надзвичайних ситуацій. Полтава—Львів: НУПП імені Юрія Кондратюка: Середняк ТК–С*, 31-52.
11. Зайцев Ю. О., Грищенко О. М., Романова С. А., & Зайцева І. О. (2022). Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл. *Agroecological journal*, 3, 136–149.
12. Запольський А. К., Салюк А. І. Основи екології: Підручник / За ред. К. М. Ситника. – К.: Вища шк., 2001. – 358 с.
13. Заришняк А. С., Балюк С. А., Шимель В. В., Дегтярьов В. В. До 135-річчя від дня народження О. Н. Соколовського (1884-1959). *Вісник аграрної науки*. 2019. № 4 (793). С. 87-88.
14. Мельник Є., Погорєлова О., Бицюра Л., Бондар О., Головатюк Л. (2025). Аналіз результатів впливу військових дій на довкілля та інфраструктуру України. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(1), 60-67. https://doi.org/10.36930/40350108
15. Невольніченко А. І., Чумаченко С. М., Михайлова А. В., Пиріков О. В., Мурасов Р. К. (2022). Моделювання загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури з використанням методу системної динаміки. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, (3), 88-99.
16. Олійник Я. Б. Основи екології: Підручник. Затверджено МОН / Гавриленко О.П., Олійник Я.Б., Шищенко П.Г. – К., 2012. – 558 с.

17. Основи екології : навч. посіб. / В. О. Аніщенко. — К.: ДП «Вид. дім. «Персонал», 2011. – 148 с.
18. Полупан, М. І., Соловей, В. Б., & Величко, В. А. (2005). Класифікація ґрунтів України. *К.: Аграрна наука*, 144-156.
19. Попсуй А.О. Методологічні основи системного аналізу деградаційних процесів у ґрунтах воєнного походження // *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. Випуск 44. – С. 108-119.
20. Рудько Г.І. Екологічна безпека техноприродних геосистем (наукові та методичні основи): Автореф. дис. … д-ра т. наук: 21.06.01. – Сімферополь, 2005. – 35 с.
21. Сакун А. О., Кутковий Д. О. Оцінка впливу наслідків військових дій на ґрунти. *Екологічні науки*. 2025. № 1 (58). С. 350-353. http://ecoj.dea.kiev.ua /archives/2025/58/58.pdf
22. Смілка, В. А. Теоретико-методичні засади проведення моніторингу земель різних категорій / В. А. Смілка. - С .531-543 // у Просторовий розвиток [] = Spatial development : наук. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури; [голов.ред. О. І. Шкуратов]. – Вип. № 10. - 2024. - 756 с.
23. Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Кучма Т.Л., Ільєнко Т.В. Аерокосмічний моніторинг опустелювання та деградації земель / за ред. О.І. Фурдичка. – К., 2017. – 55 с.
24. Феденко В. С. Трансформація рослинності за умов впливу воєнних дій на природне середовище в Україні (огляд літератури). *Ecology and Noosphe-rology*, 34(2), 101–107.
25. Чайка Т. О., Короткова І. В. (2022). Відновлення родючості ґрунту в Україні після воєнних дій. *Захист і відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем: колективна монографія*, 232-281.
26. Чорний, С. Г. (2024). Кліматичний фактор вітрової ерозії ґрунту в Степу України: просторовий аналіз. *AgroChemistry and Soil Science*, *97*, 25-30.

27. Bayraklı, B., Dengiz, O., Özyazıcı, M. A., Koç, Y., Kesim, E., & Türkmen, F. (2023). Assessment of heavy metal concentrations and behavior in cultivated soils under humid-subhumid environmental condition of the Black Sea region. *Geoderma Regional*, *32*, e00593.
28. Blum, W. E. (2005). Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, *4*(3), 75-79.
29. Certini, G., Scalenghe, R., & Woods, W. I. (2013). The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*, 127, 1–15.
30. Dokoutchaief B. 1879. Tchernozème (terre noire) de la Russie d'Europe. St.-Ptb.: Soc. imp. libre économ. 66 p. (C.R. Soc. imp. libre économ. T. 4).
31. Hanson, T. (2018). Biodiversity conservation and armed conflict: a warfare ecology perspective. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1429(1), 50–65.
32. Hillel, D. (2003). *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier.
33. Huang, P. M., Li, Y., & Sumner, M. E. (Eds.). (2011). *Handbook of soil sciences: properties and processes*. CRC press.
34. Hupy, J. P., & Schaetzl, R. J. (2006). Introducing "bombturbation", a singular type of soil disturbance and mixing. *Soil Science*, 171(11), 823–836.
35. Lacan, I., & McBride, J. R. (2009). War and trees: The destruction and replanting of the urban and peri-urban forest of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(3), 133–148.
36. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *science*, *304*(5677), 1623-1627.
37. Lal, R., Bouma, J., Brevik, E., Dawson, L., Field, D. J., Glaser, B., ... & Zhang, J. (2021). Soils and sustainable development goals of the United Nations: An International Union of Soil Sciences perspective. *Geoderma Regional*, *25*, e00398.
38. Lawrence, M. J., Stemberger, H., Zolderdo, A. J., Struthers, D. P., & Cooke, S. J. (2015). The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environmental Reviews*, 23(4), 443–460.

39. Lebed, V., Solokha, M., Solovei, V., Kucher, A., & Vorotyntseva, L. (2024). Methodological and practical aspects of using satellite imagery to assess the military impact on soils. *Scientific Horizons*, *12*(27), 56-75.
40. Liaquat A. Remediation of Heavy Metals in Contaminated Soil: A Review of Effects, Mechanisms and Strategies, *International Journal of Economic and Environmental Geology* (2024).
41. McBratney, A. B., Minasny, B., Malone, B. P., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., ... & Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, *292*, 59-86.
42. Meaza, H., Ghebreyohannes, T., Nyssen, J., Tesfamariam, Z., Demissie, B., Poesen, J., Gebrehiwot, M., Weldemichel, T. G., Deckers, S., Gidey, D. G., & Vanmaercke, M. (2024). Managing the environmental impacts of war: What can be learned from conflict-vulnerable communities? *The Science of the total environment*, 927, 171974.
43. Naidu, R., Smith, E., & Alston, A. M. (1998). Arsenic in the soil environment: a review. *Advances in agronomy*, *64*(149195), 60504-0.
44. Nettleton, W. D., Nelson, R. E., Brasher, B. R., & Derr, P. S. (1982). Gypsiferous soils in the western United States. *Acid sulfate weathering*, *10*, 147-168.
45. Oliveira A, Pampulha ME. Effects of long-term heavy metal contamination on soil microbial characteristics. J Biosci Bioeng. 2006 Sep;102(3):157-61. doi: 10.1263/jbb.102.157. PMID: 17046527.
46. Petrushka, K., Malovanyy, M., Skrzypczak, D., Chojnacka, K., & Warchoł, J. (2024). Risks of soil pollution with toxic elements during military actions in Lviv. *Journal of Ecological Engineering*, 25(1), 195–208.
47. Rodríguez-Seijo, A., Fernández-Calviño, D., Arias-Estévez, M., & Arenas-Lago, D. (2024). Effects of military training, warfare and civilian ammunition debris on the soil organisms: an ecotoxicological review. *Biology and Fertility of Soils*, 60, 813–844.

48. Shan, Q., Guan, J., Yang, Y., Chai, T., Gong, S., Wang, J., & Qiao, K. (2024). Cadmium-induced protein AS8: A protein to improve Cd accumulation and transport via Cd uptake in poplar. *Plant physiology and biochemistry*, 216, 109199.
49. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskyi, V., De Meester, L., Stepanenko, S., Trokhymenko, G., Hernández-Agüero, J. A., & Gleick, P. (2023). Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, 6, 578–586.
50. Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. (2024). Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*, 13, 1614.
51. Xu, L., Zhao, F., Xing, X., Peng, J., Wang, J., Ji, M., & Li, B. L. (2024). A review on remediation technology and the remediation evaluation of heavy metal-contaminated soils. *Toxics*, *12*(12), 897.
52. Zhao, F. J., & Wang, P. (2020). Arsenic and cadmium accumulation in rice and mitigation strategies. *Plant and Soil*, 446, 1–21.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

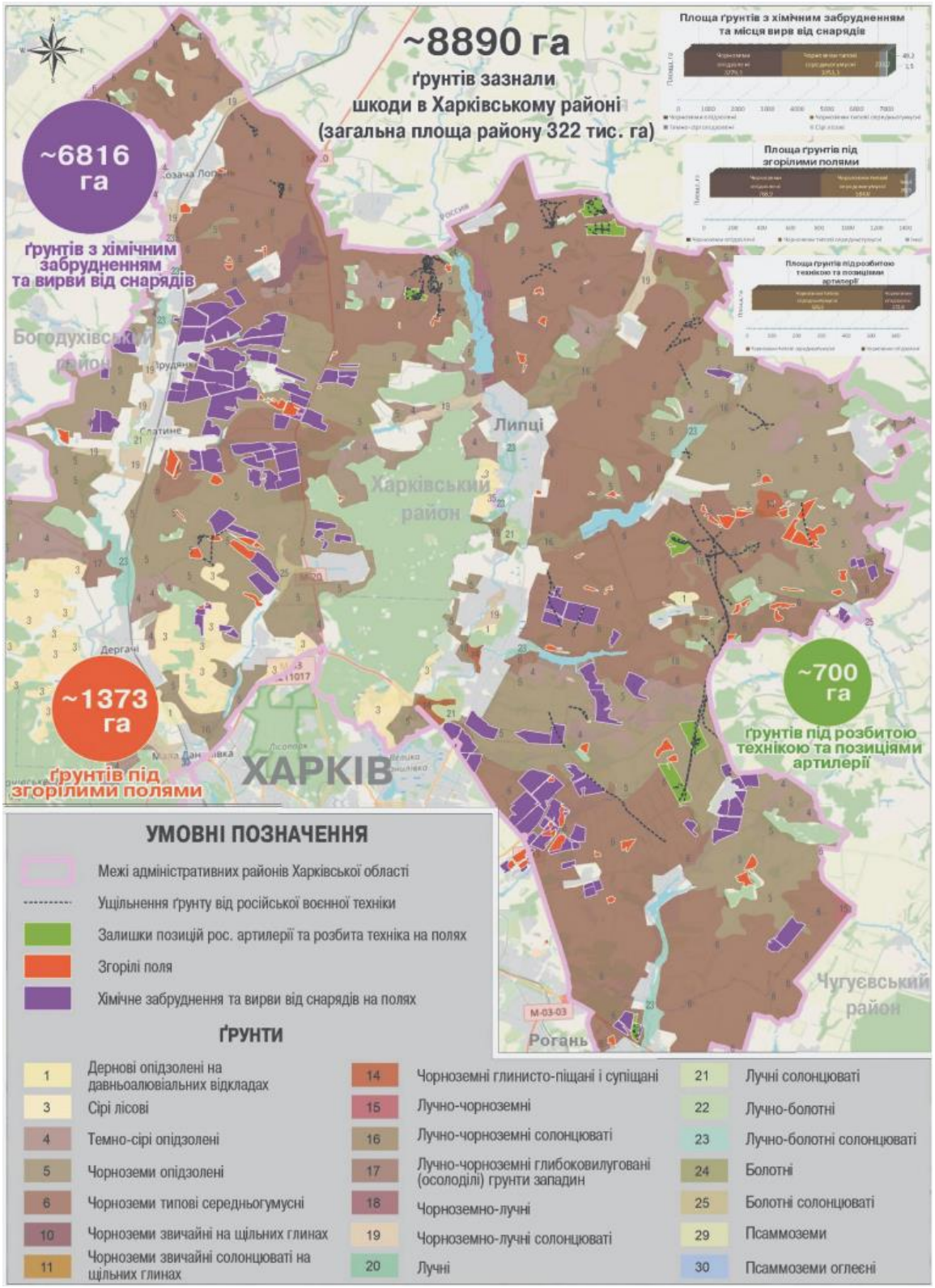

Рис. А.1. Вплив воєнних дій на ґрунтовий покрив Харківського району Харківської області (станом на вересень 2022 р.) Джерело: [1] за даними дослідження вчених ННЦ «Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського».

ДОДАТОК Б

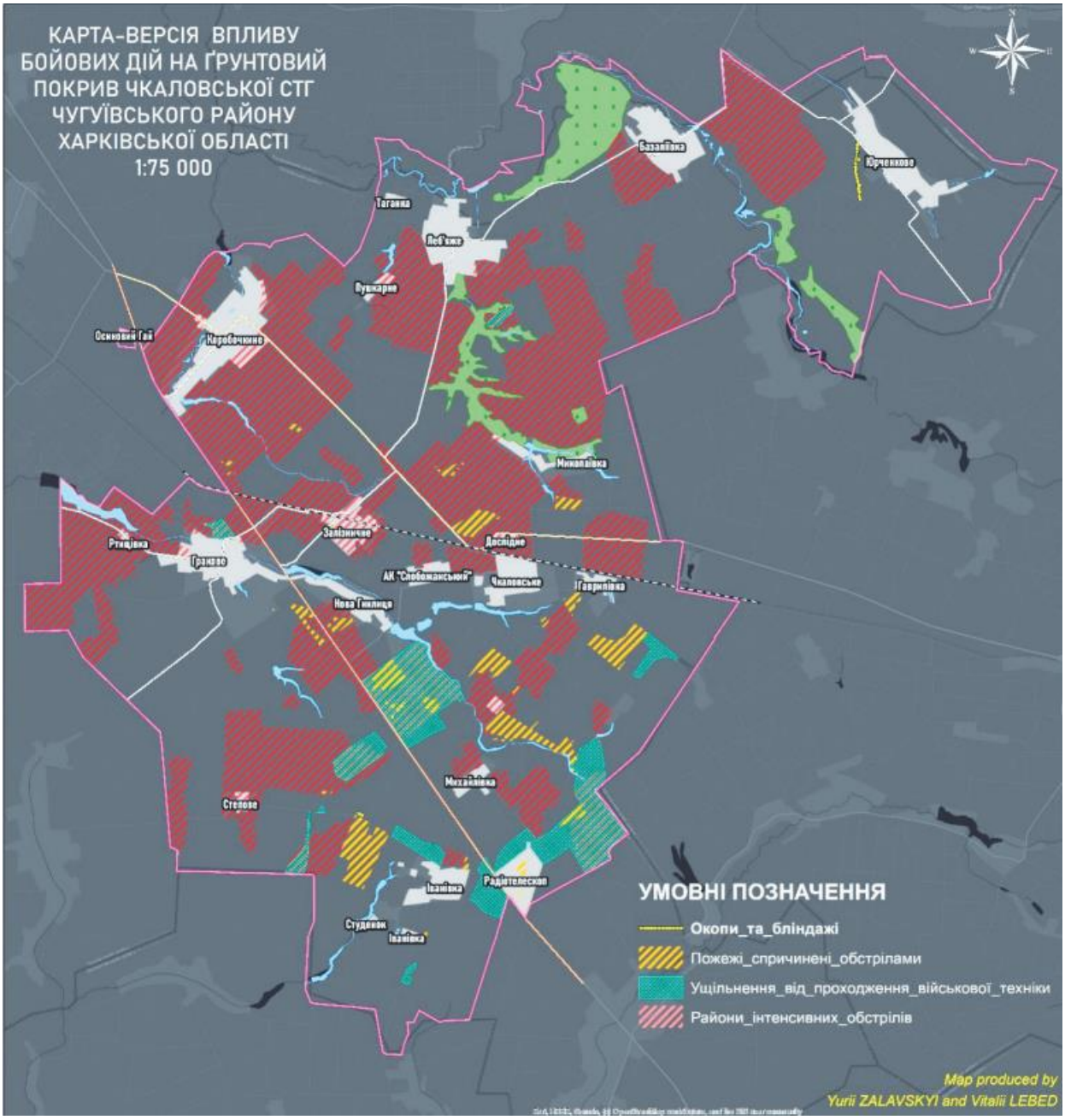

Рис. Б.1. Карта-версія впливу бойових дій на ґрунтовий покрив Чкаловської ТГ Джерело: [1] за даними дослідження вчених ННЦ «Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського».