

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО
Декан факультету захисту рослин,
біотехнологій та екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри загальної екології,
радіобіології та безпеки
життєдіяльності

_____ **Юлія КОЛОМІЄЦЬ**
« ____ » _____ 2026 р.

_____ **Алла КЛЕПКО**
« ____ » _____ 2026р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Оцінка стану наземних екосистем за впливу воєнних дій»

Спеціальність _____ 101 «Екологія»

Освітня програма _____ «Екологія»

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

доктор педагогічних наук, професор _____ **Володимир БОГОЛЮБОВ**

Керівник бакалаврської роботи

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент _____ **Валерія БОНДАРЬ**

Виконала

_____ **Анна МАРТИНЕНКО**

КИЇВ-2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри загальної екології,
радіобіології та безпеки життєдіяльності
Алла КЛЕПКО
«__» _____ 2026р.

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ**

Мартиненко Анна Євгеніївна

(прізвище, ім'я по батькові)

Спеціальність

101 «Екологія»

Освітня програма

«Екологія»

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Оцінка стану наземних екосистем за впливу воєнних дій»

Затверджена наказом від « 27 » жовтня 2025 р. № 2537 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2026. 05.14

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи. Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- Оцінити сучасний стан територій та визначити зони забруднення;
- Дослідити фізико-хімічні властивості ґрунтів;
- Оцінити стан біоти за біо-індикаційними показниками;
- Узагальнити результати та надати екологічну оцінку антропогенному

втручанню у вигляді воєнних дій.

Дата видачі завдання « 30 » жовтня 2024 р

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____

Бондарь В.І.

Завдання прийняла до виконання _____

Мартиненко А.Є.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ КОМПОНЕНТІВ ЕКОСИСТЕМ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ	8
1.1 Теоретичні положення екологічної оцінки стану компонентів екосистеми під впливом воєнних дій	8
1.2 Сутність та завдання екологічної оцінки довкілля	10
1.3 Вплив воєнних дій на стан компонентів екосистеми	14
1.3.1 Трансформація ґрунтового покриву	16
1.3.2 Вплив на стан водних ресурсів	20
1.3.3 Вплив на атмосферне повітря	21
РОЗДІЛ 2. УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	24
2.1 Умови проведення досліджень	24
2.2 Методика визначення еко-токсикологічних показників ґрунту	25
2.3 Методика дослідження мікробіологічної активності ґрунтів	26
2.4 Методика оцінки стану біорізноманіття	27
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	30
3.1 Екотоксикологічні показники	30
3.2 Мікробіологічні показники.....	32
3.3 Екологічна оцінка за станом біорізноманіття	37
ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	44
ДОДАТКИ.....	49

РЕФЕРАТ

Мета дослідження полягає у комплексній екологічній оцінці стану компонентів екосистем територій, що зазнали воєнного впливу, на прикладі села Мощун Київської області.

Задля досягнення поставленої мети було визначено та виконано такі завдання:

- Оцінити сучасний стан територій та визначити зони забруднення;
- Дослідити фізико-хімічні властивості ґрунтів;
- Оцінити стан біоти за біо-індикаційними показниками;
- Узагальнити результати та надати екологічну оцінку антропогенному втручання у вигляді воєнних дій.

Об'єкт дослідження. Це дослідження процесу воєнно-зумовленої трансформації екосистеми села Мощун, зокрема її основних компонентів – ґрунту та біоти.

Предмет дослідження. Це екологічний стан ґрунтів і біоти на території села Мощун та закономірності їх змін під впливом воєнних дій.

Методи дослідження. У процесі виконання роботи було застосовано польовий, лабораторний та аналітичний методи дослідження. Еко-токсикологічну оцінку здійснювали на основі валового вмісту хімічних елементів у ґрунтах. Оцінку біорізноманіття проводили із застосуванням індексу Шеннона-Вівера та шкали О. Друде. Мікробіологічну активність ґрунтів визначали методом висіву ґрунтових суспензій на селективні поживні середовища з подальшим розрахунком чисельності основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів. Для обробки та узагальнення результатів було застосовано аналітичний та статистичний методи.

Практичне значення роботи. Воно полягає у можливості використання отриманих результатів органами місцевої влади, природоохоронними організаціями для екологічного моніторингу за постраждалими територіями, оцінки рівня деградації природних екосистем, наукового обґрунтування заходів з екологічної реабілітації антропогенно змінених екосистем та

використовуватись у навчальному процесі при викладанні дисциплін екологічного профілю.

Наукова новизна отриманих результатів. У роботі вперше наведено деталізовану екологічну характеристику локальних ділянок деокупованих територій Київського Полісся – села Мощун за інтегральними вищезгаданими показниками. У роботі було здійснено порівняльний аналіз ґрунтів із різним ступенем механічного порушення, визначено особливості трансформації мікробіоценозів, зміни структури рослинних угруповань та накопичення окремих токсичних елементів у ґрунтовому покриві.

На захист виносяться такі положення:

- Оцінка ступеня та просторової неоднорідності хімічної трансформації ґрунтового покриву в околицях села Мощун під впливом мілітарного тиску;
- Закономірності змін структури та функціонального потенціалу ґрунтової мікробіоти, як індикатора поствоєнної деградації едафотопу;
- Характеристика сукцесійних змін, зниження видового різноманіття та проекційного покриття фітоценозів на механічно порушених ділянках ландшафту;
- Комплекс науково-обґрунтованих заходів із екологічного відновлення та оптимізації стану деградованих воєнними діями ділянок.

ВСТУП

Повномасштабна військова агресія російської федерації проти України спричинила виняткові за своїми масштабами та глибиною екологічні наслідки на навколишнє середовище. Сучасні воєнні дії характеризуються застосуванням широкого спектра важкого озброєння, ракетно-бомбових ударів, масованих артилерійських обстрілів та бронетехніки, що призводить до формування специфічного виду антропогенного навантаження. Проблема оцінки екологічного стану територій, що зазнали поєднання механічного, хімічного та пірогенного навантаження в зоні бойових дій чи окупації, є наразі одним з найбільш пріоритетних напрямів екологічних досліджень в Україні, оскільки такий вплив призводить до формування стійких антропогенно-трансформованих екосистем.

Одним із таких регіонів є село Мощун Київської області, яке у 2022 році стало зоною інтенсивних бойових дій. Фізичне руйнування ландшафтів, утворення чисельних вирв від вибухів від артилерійських снарядів, мін та авіабомб, механічне ущільнення ґрунтового покриття внаслідок проходження важкої техніки, порушення функціонування мікро-біоценозів, а також масові лісові пожежі призвели до комплексного характеру деградації складової ландшафтів. Біота реагує на ці фактори зміною видового складу, розривом трофічних ланцюгів та критичною втратою біорізноманіття. Такі зміни мають довготривалий характер та можуть суттєво впливати на здатність екосистем до самовідновлення.

У зв'язку з цим, виникає гостра потреба у переході від первинної візуальної фіксації збитків довкіллю до детального науково-обґрунтованого дослідження найбільш інформативних маркерів деградації – компоненти екосистеми. Аналіз еко-токсикологічних показників, стану біорізноманіття та мікробіологічної активності ґрунтів дозволяє визначити глибину трансформації природних систем, оцінити рівень екологічного ризику та визначити потенціал відновлення досліджуваних екосистем

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ КОМПОНЕНТІВ ЕКОСИСТЕМ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ

1.1 Теоретичні положення екологічної оцінки стану компонентів екосистеми під впливом воєнних дій

У сучасному світі, природні екосистеми функціонують в умовах постійно зростаючого антропогенного навантаження. Посилення цього навантаження, неминуче призводить до деструкції природних ландшафтів, дестабілізації екологічної рівноваги та погіршення якості життя населення.

Згідно з класичним визначенням екосистеми, вона є основною функціональною одиницею екології, що об'єднує живі організми (біоценоз) та їхнє середовище існування (екотоп), і характеризується наскрізними потоками енергії та кругообігом речовин (за Ю.Одумом) [1, с. 3-4]. Також, екосистема розглядається, як інтегрована система взаємодії організмів і фізичного середовища, що діє як єдине ціле (за M.Begon et al., 2006) [2, с. 3]. Таким чином, екосистема сприймається як цілісна та динамічна система. Оскільки, екосистема є цілісною та динамічною структурою, всі її компоненти перебувають у постійній взаємодії та взаємозалежності. Пошкодження або деградація, навіть одного з елементів унаслідок зовнішнього впливу запускає ланцюгові процеси трансформації. Це призводить до модифікації стану всієї системи, що супроводжується порушенням її рівноваги та зниженням функціональної стійкості.

Катастрофічним фактором впливу на довкілля є війна, наслідки якої за масштабами та глибиною руйнувань часто перевищують наслідки промислових аварій. На сьогоднішній день, військова агресія РФ проти України стала одним із яскравих прикладів такого антропогенного впливу на довкілля, що носить комплексний і багаторівневий характер.

В основні теоретичного аналізу такого впливу лежить принцип каскадності порушень [3,4]. Відповідно до нього первинні механічні руйнування, зокрема утворення вирв від вибухів боєприпасів та деформація субстрату, ініціюють ланцюгову реакцію – зміну гідрологічного режиму,

хімічну трансформацію ґрунтових горизонтів з подальшою деградацією рослинного покриву.

Важливим наслідком цих процесів є формування техногенних геохімічних аномалій – локалізованих зон із надзвичайно високими концентраціями токсичних елементів та сполук, у місцях активних бойових дій.

Механізм їх виникнення безпосередньо пов'язаний із детонацією боєприпасів, під час якої відбувається миттєве вивільнення колосальної кількості енергії та хімічних сполук. Це зумовлює утворення локальних зон концентрованого забруднення важкими металами, зокрема: свинцем (Pb), кадмієм (Cd), стронцієм (Sr), титаном (Ti) та продуктами неповного згоряння вибухових речовин [5]. Зазначені чинники, обумовлюють довготривалу деградацію ґрунтів і суттєво обмежують можливості їх природного самовідновлення.

Таким чином, мілітарний тиск є комплексним деструктивним чинником, що поєднує в собі: фізичні, хімічні, біологічні, техногенні та радіаційні порушення [3]. Тривала деградація біотопів, викликана ним, веде до значного пригнічення основних екосистемних функцій: продукційної, регуляторної, середовищотвірної та редуційної. Окрім цього, відбувається руйнування або фрагментація середовищ існування, порушення трофічних ланцюгів та міграційних шляхів, а також зменшення біорізноманіття [6]. За умов тривалого збройного протистояння та значних територіальних масштабів бойових дій, такі порушення можуть виходити за межі локального впливу, формуючи регіональні та транскордонні ризики [7].

У зв'язку з цим, у сучасних екологічних дослідженнях для опису зазначених деструктивних процесів дедалі частіше використовується поняття «воєнно зумовлена деградація екосистем». Цей термін охоплює всю сукупність прямих і опосередкованих змін природного середовища, що виникають безпосередньо внаслідок бойових дій.

Згідно з даними індексу екологічної ефективності (Environmental performance Index, EPI) [8], Україна ще до початку повномасштабного вторгнення держави-окупанта у лютому 2022 року, характеризувалась низькими показниками якості основних природних екосистем. Негативні оцінки стосувались стану атмосферного повітря, водних ресурсів, земельних угідь та рівня збереження біорізноманіття. Одночасно з цим, державна система моніторингу якості навколишнього середовища в Україні, до початку активної фази військової агресії, оцінювалася, як недостатньо ефективна, що обмежило можливості своєчасного виявлення та реагування на екологічні загрози [9, 10]. У сукупності, це вказує на те, що бойові дії відбувалися вже на тлі існуючих системних екологічних проблем.

Отже, з огляду, на численні наслідки, постає нагальна потреба в розробці й впровадженні сучасних наукових підходів до для комплексної оцінки стану природних екосистем. Одним із таких підходів є екологічна оцінка, що виступає універсальним інструментом для аналізу впливу різноманітних діяльностей, включаючи військові дії, на навколишнє середовище. Застосування цього підходу дозволяє оцінити масштаби завданої шкоди та розробити науково-обґрунтовані рішення для подальшого управління та відновлення пошкоджених територій.

1.2 Сутність та завдання екологічної оцінки довкілля

У сучасній науковій парадигмі екологічна оцінка розглядається не лише як діагностичний інструмент, але й як комплексний процес із вираженою практичною спрямованістю.

Важливим інструментом забезпечення збалансованого розвитку територій є стратегічна екологічна оцінка (CEO), концептуальні засади якої формуються на міжнародних екологічних стандартах [11]. CEO визначається, як систематичний процес оцінювання екологічних наслідків запланованих державних і регіональних ініціатив ще на етапі їхнього проєктування, що

дозволяє інтегрувати екологічні цілі у загальну стратегію повоєнного відновлення ландшафтів.

В Україні, ці фундаментальні підходи до оцінки стану довкілля практично втілюються через дві взаємопов'язані процедури: оцінку впливу на довкілля (ОВД) та стратегічну екологічну оцінку (СЕО). Вони регламентуються Законами України «Про оцінку впливу на довкілля» № 2059-VIII (редакція 2024) [12] та «Про стратегічну екологічну оцінку» [13].

Зазначені правові механізми передбачають підготовку звітної документації, проведення обов'язкових громадських обговорень, аналіз потенційних наслідків для навколишнього середовища та ухвалення відповідних висновків уповноваженими державними органами ще на етапі планування діяльності. Такий підхід забезпечує ефективну інтеграцію екологічних чинників у процес прийняття управлінських рішень і виконує свою ключову функцію – сприяє запобіганню значних негативних впливів на довкілля.

Однак, у період воєнних дій, сутність і завдання екологічної оцінки зазнають докорінних змін. У військовому контексті, класичне визначення даного поняття суттєво розширює свій зміст. Екологічна оцінка зміщує свій фокус з попереднього проєктування на експертний аналіз фактично завданої шкоди, ретроспективну оцінку екодеструкції та екологічний аудит постраждалих територій. Специфіка мілітарного навантаження виявляється у формі реальних наслідків воєнних руйнувань, які характеризуються неконтрольованим, масштабним, дифузним та довготривалим кумулятивним впливом на всі компоненти довкілля, що ускладнює застосування виключно превентивних підходів до оцінювання екологічних ризиків. Водночас її прогностична функція залишається ключовою, оскільки результати такої оцінки стають основою для планування та проєктування подальших заходів з рекультивації ґрунтів, відновлення біорізноманіття та загальної повоєнної відбудови екосистем.

Важливо відмітити, що врахування кумулятивного впливу, який виникає внаслідок одночасної або послідовної дії кількох негативних факторів у просторі та часі [11], є важливим чинником для надання повноцінного опису стану навколишнього середовища з усіма його наслідками.

Як зазначають сучасні дослідники, екологічні наслідки війни не обмежуються прямим механічним руйнуванням, а включають в себе процеси довготривалого вторинного забруднення, трансформації природних компонентів та порушення екосистемних зв'язків. Зокрема, мілітарно зумовлена інтоксикація ґрунтового та водного середовищ виступає тригером синергетичного посилення екологічних загроз, призводячи до глибокої дестабілізації гомеостазу та блокування корінних механізмів регенерації біотопів [14].

Якщо брати до уваги наслідки воєнних дій в Київській області, вони мають затяжний характер, що посилює наслідки різнохарактерного навантаження антропогенного походження. В такому випадку, сутність оцінки полягає у виокремленні частки кожного фактора у загальній деградації екосистеми. Такий підхід, дозволяє ідентифікувати закономірності деструктивного впливу.

Базуючись на вищезгаданій концепції екологічної оцінки з урахуванням наведених теоретичних положень та специфіки воєнного впливу, можна окреслити низку взаємопов'язаних наукових і практичних завдань:

- 1) Визначення поточного стану компонентів екосистеми та рівня їх антропогенної трансформації шляхом проведення моніторингу, вимірювання якісних і кількісних параметрів та їх аналізу;
- 2) Виявлення джерел, характеру та інтенсивності негативного впливу на природні ландшафти та навколишнє середовище загалом;
- 3) Оцінка масштабів і ступеня екологічної шкоди, завданої природним екосистемам та ландшафтам, як базису для формування доказової бази щодо завданих екологічних збитків з метою подальшого стягнення репарацій та компенсацій у міжнародних судових інстанціях;

- 4) Аналіз кумулятивних ефектів та просторово-часових змін екологічного стану територій;
- 5) Прогнозування можливих тенденцій змін у довкіллі та екологічних ризиків у післявоєнний період;
- 6) Наукове обґрунтування управлінських рішень, спрямованих на мінімізацію негативних наслідків, планування заходів з відновлення та реабілітації порушених екосистем.

Як зазначають Н. Лелеченко та Т. Дерун, ці завдання мають забезпечувати екологічну безпеку та стійкість територій не лише в короткостроковій перспективі, а й як фундамент для кліматично-нейтрального пост-воєнного відновлення [15].

Реалізація вищезгаданих завдань вимагає застосування інтегрованого підходу, який гармонійно поєднує експертну оцінку традиційних фізико-хімічних та біологічних показників з аналізом взаємозв'язків між компонентами екосистеми, соціально-економічними факторами та ризиками для здоров'я населення. Такий підхід, дозволяє всебічно оцінити руйнування природного середовища та передбачити потенційні загрози для життєдіяльності територіальних громад.

Ключовим інструментом практичного втілення в даному дослідженні виступає екологічний моніторинг. Він забезпечує безперервний контроль за міграцією екотоксикантів у трофічних ланцюгах в умовах збройного конфлікту та дозволяє оперативно оцінювати безпекову ситуацію на досліджуваній території з метою повернення населення.

Підсумовуючи вищесказане, в умовах війни екологічна оцінка трансформується з переважно превентивного інструменту у комплексний діагностичний та компенсаційний механізм, спрямований на виявлення фактичної екологічної шкоди, визначення масштабів деградації природних компонентів та наукове обґрунтування заходів із подальшого відновлення і реабілітації порушених екосистем. Реалізація цієї діагностично-компенсаційної функції потребує першочергового та детального аналізу

специфіки руйнівного впливу мілітарного тиску на ключові елементи довкілля, що й становить основний зміст наступного підрозділу дослідження.

1.3 Вплив воєнних дій на стан компонентів екосистеми

Вплив воєнних дій характеризується не лише довгостроковими наслідками для конкретної місцевості; першочергової деструкції зазнають компоненти навколишнього середовища. Умови збройного конфлікту суттєво змінюють характер взаємодії між елементами екосистеми, порушуючи вже сформовані природні взаємозв'язки та функціональні процеси. Військовий тиск діє одночасно на біотичні та абіотичні складові довкілля, формуючи складну мережу взаємозалежних деструктивних процесів. В межах цієї мережи, окремі фактори не тільки діють самостійно, а й взаємодіють одне з одним, що лише підсилює ефект сумарно завданої шкоди [16].

Основна трагедія даного збройного конфлікту, криється в його наслідках. Пріоритетності набуває аналіз впливу бойових дій на окремі компоненти природного середовища, оскільки саме їх деградація визначає масштаб екологічної шкоди та перспективи подальшого відновлення територій.

Аналіз ситуації в Україні підтверджує: військовий вплив трансформує саму структуру природних компонентів, зумовлюючи глибоку деградацію ключових екосистемних елементів: біоти, водного середовища, ґрунтового покриву та атмосферного повітря [17].

Отож, враховуючи наявні масштаби завданого екоциду, застосування систематизації воєнно-екологічних впливів набуває стратегічного значення, оскільки формує доказову базу для розробки алгоритмів екологічного відновлення. В межах такої систематизації, першочергово доцільно розглянути класифікацію антропогенного впливу в умовах воєнних дій, яка дозволяє узагальнити характер і механізми виникнення деструктивних процесів та забезпечує системний підхід до їх оцінювання.

Відповідно до підходів, запропонованих у звітах Програми ООН з охорони навколишнього середовища (UNEP) та аналітичних матеріалах центру

спостереження за конфліктами та довкіллям (CEOBS) [18,19], воєнно-зумовлений вплив доцільно класифікувати на:

- Фізико-механічний вплив: пов'язаний із трансформацією ландшафтної структури, порушенням цілісності ґрунтового покриву та зміною морфології території від вибухів, проходів важкої техніки та будівництва укріплень. Як зазначає Коротун С.І., воєнні дії формують новий тип специфічних антропогенно-трансформованих природних комплексів. Для них характерно стійкі механічні деформації та тривале порушення геосистемних зв'язків [20].

- Хімічний вплив: зумовлений надходженням до довкілля токсичних сполук техногенного походження (детонації боєприпасів, неповного згоряння вибухових речовин, руйнування промислових і складських об'єктів). Такі речовини формують стійкі геохімічні аномалії з кумулятивним ефектом, що можуть становити довготривалу екологічну небезпекову ситуацію для водного та ґрунтового середовищ на локальному або регіональному рівнях.

- Біологічний вплив: проявляється у знищенні або фрагментації біоценозів, порушенні трофічних ланцюгів, міграційних шляхів та зниженні видового різноманіття [6]. Синергія цих факторів, суттєво знижує потенціал саморегуляції та стійкості екосистем. Особливо вразливими до таких трансформацій вважаються лісові та водно-болотні екосистеми.

- Техногенний вплив: пов'язаний із руйнуванням об'єктів цивільної та промислової інфраструктури, що утворює вторинне забруднення довкілля та ускладнює проведення природоохоронних та відновлювальних заходів. У довгостроковій перспективі, даний вплив виступає підсилювачем вищезгаданих.

Застосування методу класифікації дає змогу виокремити основні типи мілітарного тиску на довкілля та перейти до аналізу практичних проявів їх наслідків для кожного елемента природного середовища.

1.3.1 Трансформація ґрунтового покриву

Ґрунтовий покрив є однією з найбільш уразливих частин екосистеми в умовах збройного конфлікту, оскільки він є основним депонуючим середовищем для токсичних речовин і акумулює різнохарактерний антропогенний вплив. З огляду на складний характер воєнного впливу, доцільним є його систематизація, шляхом класифікації на такі категорії: за походженням, за характером впливу, за глибиною ураження, за стійкістю та масштабом.

За походженням розрізняють:

- Первинне забруднення – виникає безпосередньо в зоні ведення активних бойових дій у момент здійснення військового впливу. Воно обумовлюється процесами детонації вибухових речовин та виникненням пожеж. Як наслідок, в довкілля миттєво потрапляє значна кількість продуктів неповного згоряння вибухових речовин, важких металів та продуктів піролізу. Характерною особливістю цього етапу є висока концентрація забруднювачів на відносно обмеженій площі.
- Вторинне забруднення – обумовлюється запуском ланцюгових реакцій деградації ґрунтів та носить кумулятивний характер. Цей етап характеризується інтенсифікацією деградаційних процесів, таких як водна та вітрова ерозія, підтоплення, засолення, пірогенна деструкція та дегуміфікація. Даний тип мілітарного навантаження, має особливість у вигляді складного механізму перерозподілу небезпечних речовин у природному середовищі, що часто призводить до витоку токсичних речовин за межі зон бойових дій на значні відстані від епіцентру забруднення.

За характером впливу виділяють:

- Хімічне забруднення. Характеризується широким спектром уражуючих речовин – від вибухівки, важких металів та нафтопродуктів до радіоактивних речовин. Під дією полютантів, відбувається ряд змін в природних параметрах ґрунтового покриву. Найрозповсюдженішим явищем є – зміна кислотно-лужного балансу (рН) ґрунту та пригнічення його

ферментативної активності, що є сигналом про порушення біохімічних процесів. Також, значну загрозу становить забруднення вуглеводнями (зокрема пально-мастильними матеріалами), що потрапляють у довкілля під час експлуатації техніки та руйнування складських приміщень. Після проникнення у ґрунтовий профіль, вуглеводні здатні частково або повністю блокувати доступ до повітря та вологи. Це призводить до пригнічення дихання корневих систем рослин, зниження активності ґрунтових мікроорганізмів та порушення функціонування ґрунтової біоти загалом. З часом, такі ґрунти стають джерелом токсичних газів і пилу, оскільки з їх поверхні вивільняються отруйні леткі сполуки та пилові фракції, що переносяться повітряними масами [21].

Зокрема, виділення таких сполук як C_6H_6 (бензол), C_7H_8 (толуол), C_8H_{10} (етилбензол) та C_8H_{10} (ксилол) зі свіжозабруднених ділянок, формує ризики хронічного впливу на здоров'я населення.

У сукупності, даний тип впливу спричиняє погіршення агрофізичних та біохімічних властивостей ґрунту, фактично «консервуючи» його у деградаційному стані.

- Біологічне виснаження. Такий тип впливу, може виникати як опосередкований наслідок фізичних та хімічних змін властивостей ґрунтового середовища або стати наслідком цілеспрямованого потрапляння патогенних організмів в ґрунт. Йдеться, зокрема, про збудників небезпечних інфекційних захворювань, здатних тривалий час зберігатись у ґрунті. Завдяки, сприятливим та специфічним умовам ґрунтового середовища, такі патогени можуть підтримувати свою життєдіяльність та вірулентність протягом десятиліть, що створює довготривалі ризики для тварин, населення та функціонування екосистем [22].

- Механічно-фізичний вплив. Проявляється у порушенні цілісності ґрунтового покриву та докорінній зміні морфології територій унаслідок бойових дій. Цей процес охоплює руйнування ґрунтового профілю та перемішування генетичних горизонтів через утворення вирв, кратерів та

насипів від вибухів, а також через риття траншей та будівництво оборонних інфраструктури. Пересування важкої військової техніки та детонації боєприпасів спричиняють ущільнення ґрунтів, внаслідок чого з'являється деградація у водно-фізичних властивостях, зокрема порушення природної дренажної мережі та аерації. Знищення структури дернового шару, суттєво знижує здатність ґрунту утримувати вологу та підтримувати рослинний покрив.

- Пірогенний вплив. Спричиняє термічну деструкцію гумусового горизонту, знищення органічної речовини та біоти. Провокує ерозійні процеси, вивітрювання гумусу та створення водовідштовхувального шару, що заважає процесу природного зволоженню [23].

Сукупна дія пірогенного та фізико-механічного впливу зумовлює активацію ерозійних процесів, і призводить до повної деградації окремих ділянок ландшафту, оскільки саме рослинність забезпечує структурну стабільність ґрунту та його здатність до саморегуляції [24]. У довгостроковій перспективі, такі процеси можуть набувати масштабного характеру й призводити до формування деградованих територій із ознаками опустелювання.

За глибиною ураження розрізняють:

- Поверхнєве ураження (0 – 10 см): охоплює переважно верхній гумусовий прошарок ґрунту, що найбільше страждає від осідання продуктів вибухів, горіння, пилових часточок і токсичних аерозолів [21]. Поверхнєве ураження призводить до пригнічення мікробіологічної активності та загибелі ґрунтової фауни, проте саме цей шар є найбільш динамічним і здатним до відносно швидкої саморегенерації флори [6].

- Профільне ураження (до 1 – 1,5 м): характеризується ураженням декількох генетичних горизонтів та інтенсивною педотурбацією. Ці процеси є безпосереднім наслідком розривів снарядів великого калібру, зведення оборонних споруд та проникнення забруднювачів у глибші прошарки [23]. На цьому рівні відбувається порушення природного розшарування та

гідрологічного режиму, хімічне забруднення набуває стабільного характеру через відсутність процесів фотолізу та вивітрювання.

- Глибоке ураження (1,5 – 2 м): є характерним для місць локалізації ракетних ударів та використання надпотужних авіабомб, які спричиняють деформацію не лише гумусового профілю ґрунту, а й підстилаючої материнської породи [23]. Також, на даному етапі екодеструкції починається процес інфільтрації токсичних речовин у підземні водоносні горизонти, що масштабує свій вплив на суміжні екосистеми [6].

За стійкістю забруднень розрізняють:

- Короткотривалі (тимчасові): характеризуються відносно швидким відновленням до вихідного стану екосистеми. Такі порушення, можуть бути нівельовані завдяки природним процесам самоочищення та регенерації або шляхом проведення мінімальних агротехнічних і рекультиваційних заходів.

- Довготривалі (стійкі): відзначаються високою стійкістю та кумулятивним ефектом. Така тривалість обумовлена накопиченням у ґрунтовому профілі важких металів, радіоактивних ізотопів або стабільних продуктів розпаду вибухових речовин. Усунення таких наслідків потребує значних часових ресурсів, залучення спеціалізованих технологій, очищення та суттєвих капіталовкладень у заходи з екологічного відновлення.

За масштабом поширення воєнний вплив буває:

- Локальний: обмежується безпосередньо зоною бойових дій або окремим осередками ураження (вирви, кратери, місця детонації, витік паливно-мастильних матеріалів), що характеризується високою концентрацією поллютантів на невеликій площі. Зміни мають точковий характер і стосуються конкретних ділянок ґрунтового покриву.

- Регіональний: охоплює значні території в межах адміністративних областей або природних зон. Такий вплив спричинений міграцією забруднюючих речовин повітряними масами, поверхневими та підземними водами.

- Транскордонний (міжрегіональний): це ряд системних порушень, що впливають біосферні процеси. Вплив проявляється у перенесенні забруднювачів на значні відстані за безпосередні межі зон бойових дій, що може впливати на суміжні території та цілі екосистеми.

1.3.2 Вплив на стан водних ресурсів

Водні ресурси в умовах воєнних дій, виступають найбільш динамічним показником, як один з головних компонентів довкілля. Вони виконують роль провідного середовища міграції та акумуляції забруднювачів. Трансформація гідросфери в умовах війни має комплексний характер, поєднуючи в собі, як прямі механічні порушення, так і опосередковані хімічні зміни [25]. Головним деструктивним чинником в хімічному впливі є руйнування об'єктів критичної та промислової інфраструктури (нафтобаз, складів, підприємств), внаслідок чого відбувається залпове надходження високотоксичних речовин у водне середовище.

- Механічна деструкція: деструкція водо-регулюючих систем та антропогенна зміна берегової морфології, призводять до докорінної зміни водного режиму територій. Зокрема, у заплавах малих річок, спостерігається порушення природного стоку, що спричиняє вторинне заболочування або навпаки, осушення окремих ділянок ландшафту. Механічне пошкодження берегів технікою, активізує процеси ерозії, що зумовлює інтенсивне замулення русел та погіршення кисневого режиму на водних об'єктах [23].

- Хімічна трансформація та інфільтраційне забруднення: значну загрозу становить інфільтрація вибухових сполук, важких металів, нафтопродуктів через пошкоджений ґрунтовий профіль у систему підземних вод, що можуть мати високу міграційну здатність. В перспективі, ці процеси будуть створювати небезпечну екологічну ситуацію для здоров'я населення. Одними із найпоширеніших забруднювачів воєнно-техногенного навантаження – нафтопродукти. При потраплянні їх у водойми, відбувається

суттєва зміна фізико-хімічних характеристик водного середовища. Це спричиняє загибель риби, водних птахів та мікроорганізмів, оскільки нафтопродукти мають виражені токсичні властивості для водної фауни [26]. В майбутньому це ускладнює контроль їх якості та підвищує ризики довготривалого забруднення територій [21].

Окрім прямого потрапляння токсикантів, відбувається їх вторинна міграція поверхневим стоком під час опадів, що призводить до зміни хімічного режиму водних об'єктів, зокрема їх окислення та підвищення концентрації розчинених металів.

1.3.3 Вплив на атмосферне повітря

Воєнні дії супроводжуються інтенсивними викидами забруднювальних речовин в атмосферне повітря та накопиченням токсичних агентів у зоні бойових дій. Під час детонації боєприпасів та пожеж у повітряний басейн потрапляє значна кількість продуктів неповного згоряння, серед яких є: оксиди азоту (NO_x), вуглець (CO , CO_2), діоксид сірки (SO_2), а також специфічні токсичні аерозолі та дрібнодисперсний пил [21]. Утворюються «хмари забруднення», які можуть мігрувати на великі відстані від епіцентру вибуху. Згодом, відбувається осадження у вигляді атмосферних опадів, токсичні сполуки потрапляють на поверхню ґрунтового покриву та вегетативні органи рослин, спричиняючи хімічне ураження та інгібування фізіологічних процесів.

Особливу небезпеку становлять продукти піролізу паливно-мастильних матеріалів, що формують стійкі смолянисті аерозолі, погіршуючи прозорість атмосфери та блокуючи процеси фотосинтезу в прилеглих екосистемах [25]. Окрім локального забруднення, за даними міжурядової групи експертів зі зміни клімату (ІРСС), збройні конфлікти, також опосередковано впливають на кліматичні процеси. Це пояснюється тим, що руйнування природних поглиначів вуглецю (такі як ліси, болотні екосистеми), знижує здатність територій до абсорбції парникових газів [27].

1.3.4 Вплив на біотичні компоненти екосистем

Мілітарний стрес спричиняє комплексну деградацію біотичної складової ландшафтів, що проявляється через пряме фізичне знищення організмів та опосередковане пригнічення їх життєвих функцій. Біота реагує на ці чинники зміною видового складу, розривом трофічних зв'язків та втратою біорізноманіття [28]. Доцільно розглянути вплив на окремі структурні компоненти та біогеоценотичні горизонти екосистем, зокрема на фітоценози, едафосферу і ґрунтову мікробіоту та фауну.

- Трансформація фітоценозів та лісових масивів: прямий вплив на рослинний покрив, полягає у механічному знищенні фітоценозів, що обумовлено вогневими ураженнями, масштабними згоряннями та зведенням оборонних споруд. Пошкодження лісових насаджень уламками чи залишками боєприпасів призводить до порушення життєво важливих функцій екосистеми. На локальному рівні, це спричиняє втрату здатності рослин до фотосинтезу, порушення газообміну та транспірації, що, як наслідок, докорінно змінює мікроклімат територій [23, 28].

- Деградація едафосфери та ґрунтової мікробіоти: окремої уваги заслуговує трансформація едафічного середовища. Різка зміна хімічного складу ґрунту призводить до пригнічення активності ґрунтової мікробіоти [29]. Також, внаслідок таких змін, відбувається зупинка біологічного накопичення азоту та мінералізації органічної речовини, що фактично підриває здатність екосистеми до самовідновлення та регенерації родючості [30].

- Вплив на фауну та трофічні зв'язки: вплив на тваринний світ, характеризується фрагментацією середовищ існування, інтоксикацією через ланки живлення, а також світловим, тепловим та шумовим забрудненнями. Вимушена міграція видів та загибель представників ґрунтової фауни руйнівно впливає на зв'язки в межах екосистеми. В майбутньому, такі зміни призводять до спрощення структури біогеоценозів та зниження їх стійкості до зовнішніх подразників.

Отже, воєнні дії спричиняють комплексний і системний вплив на всі компоненти екосистем, охоплюючи фізико-механічні, хімічні, пірогенні та біологічні деструкції. Сукупна дія цих чинників, формує кумулятивний ефект, при якому окремі види впливу взаємно підсилюють процеси деградації ґрунтового покриву, водного середовища, атмосферного повітря та біотичних угруповань. У результаті, відбувається природна трансформація ландшафтів, зниження їхньої стійкості та втрата здатності екосистем до саморегуляції й повного відновлення.

Саме тому, об'єктивна оцінка масштабів і наслідків воєнного навантаження, потребує чітко визначених умов та науково-обґрунтованих методів досліджень. Це передбачає перехід від констатації первинних збитків до детального аналізу найбільш репрезентативних маркерів деградації середовища, зокрема ґрунтів та біорізноманіття

РОЗДІЛ 2. УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Умови проведення досліджень

Експериментальні дослідження проводилися на території Бучанського району Київської області, безпосередньо в межах та околицях села Мощун, яке входить до Гостомельської селищної ради.

Географічні положення та природні умови. Село Мощун, розташоване на правому березі річки Ірпінь, в межах Поліської природної зони. Територія району характеризується низовинним, плоско-хвилястим рельєфом, який історично сприяв формуванню специфічних заплаво-лісових і терасових ландшафтів. Ґрунтовий покрив характеризується переважанням дерново-підзолистих піщаних та супіщаних ґрунтів, а в заплаві річки поширені алювіальні та торф'яно-болотні ґрунти. Природна рослинність представлена переважно сосновими та дубово-сосновими лісами, а також лучно-заплавними угрупованнями, типовими для екосистеми Полісся. Район дослідження належить до зони помірно-континентального клімату з м'якою зимою та теплим літом.

Такі природо-кліматичні умови сприяють формуванню відносно стабільних ґрунтових та рослинних екосистем.

Воєнно-техногенне навантаження. У 2022 році село Мощун, стало однією з перших територій активних бойових дій під час повномасштабного вторгнення. Це посприяло глибокій трансформації природних ландшафтів. Зокрема механічному руйнуванню ґрунтового середовища через масове утворення мінометних та артилерійських вирв, фізичному ущільненню та деформації субстрату внаслідок проходження важкої гусеничної та колісної військової техніки, хімічному забрудненню продуктами детонації, залишками паливно-мастильних матеріалів та важкими металами.

Саме ці специфічні фактори впливу утворили різноманітні техногенні екотони (вирви різного діаметру, колії від техніки, порушені ділянки заплави), де кожен елемент має свій рівень модифікації, хронологію та масштаби

деструктивного пресингу на досліджуваній території чітко простежено за матеріалами дистанційного зондування Землі.

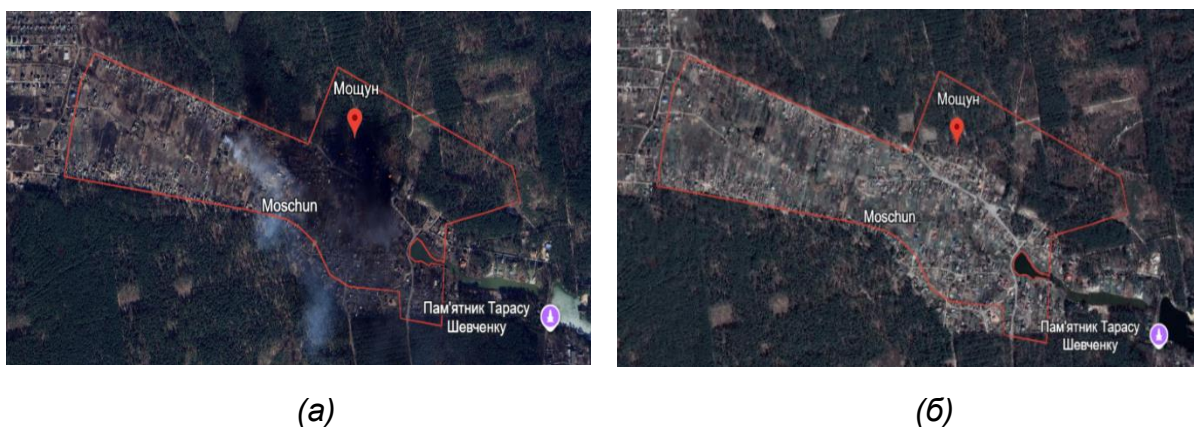


Рис. 2.1 – Динаміка антропогенно-міліогенної трансформації та пошкодження лісових масивів в околицях с. Мощун за даними супутникового моніторингу: березень 2022 (а) – серпень 2024 (б)

Джерело: власні знімки Google Earth

2.2 Методика визначення еко-токсикологічних показників ґрунту

Оцінку еко-токсикологічного стану ґрунтів, проводили шляхом визначення валового вмісту хімічних елементів у зразках, відібраних на ділянках із різним ступенем воєнно-техногенного навантаження. Для дослідження, використовували зразки ґрунту, відібрані в межах механічно-порушених територій, зокрема в зоні проходження важкої техніки, безпосередньо поблизу вирви, а також контрольний (еталонний) зразок. Під час вибору ключових ділянок для проведення екотоксикологічного моніторингу та формування загальної схеми аналізу хімічного субстрату, було враховано критерії оцінки деградації ландшафтів, висвітленими в сучасних фундаментальних узагальненнях наукових установ України [31].

Лабораторний аналіз включав визначення вмісту важких металів, біофільних елементів та інших хімічних сполук, що можуть виступати індикаторами техногенного забруднення. Особливу увагу було приділено визначенню концентрацій свинцю (Pb), кадмію (Cd), міді (Cu), цинку (Zn),

нікелю (Ni), ртуті (Hg), миш'яку (As), а також сполукам фосфору та сірки. Отримані результати порівнювали з гранично допустимими концентраціями (ГДК) для оцінки рівня екологічної небезпеки досліджуваних територій. Перелік, досліджуваних хімічних елементів у зразках ґрунту, визначено на основі специфіки воєнного навантаження. Зокрема, враховано факти трансформацій складу субстратів у зонах вибухів боєприпасів і згоряння техніки [32], а також закономірності акумуляції токсикантів у зонах бойових дій [33].

Під час аналізу, також враховували вміст окремих макроелементів і мінеральних компонентів, зокрема заліза та алюмінію, зміна концентрації яких, може свідчити про порушення структури ґрунтового профілю та механічне перемішування ґрунтових горизонтів унаслідок вибухового впливу.

2.3 Методика дослідження мікробіологічної активності ґрунтів

Дослідження мікробіологічної активності ґрунтів проводили із застосуванням стандартних мікробіологічних методів культивування мікроорганізмів на селективних поживних середовищах. Для оцінки ступеню воєнно-техногенної трансформації ґрунтів здійснювали порівняльний аналіз мікробіоценозу зразків, відібраних на різній відстані від місця механічного порушення (вирви).

Відбір ґрунтових зразків проводили на чотирьох дослідних ділянках:

- зразок № 1 – безпосередньо у межах вирви;
- зразок № 2 – на відстані 1 м від вирви;
- зразок № 3 – на відстані 2 м від вирви;
- зразок № 4 – на відстані 10 м від вирви.

Для кожного зразка готували ґрунтову суспензію у співвідношенні 10 г ґрунту на 100 мл стерильного фосфатного буфера з подальшим серійним десятикратним розведенням. Отримані суспензії висівали на тверді селективні поживні середовища відповідно до досліджуваних еколого-трофічних груп

мікроорганізмів. Інкубацію посівів проводили за температури 28 – 30 °C упродовж 5 – 7 діб.

Чисельність мікроорганізмів визначали методом підрахунку колонієутворюючих одиниць (КУО). Встановлені чисельності основних фізіологічних груп мікроорганізмів здійснювали згідно ДСТУ 7847:2015 [34]. Вихідні дані отримували методом культивування на вибіркових поживних середовищах.

У ході дослідження, аналізу підлягали наступні еколого-трофічні групи мікроорганізмів:

- амоніфікатори – на м'ясо-пептонному агарі;
- амілолітики – на крохмально-пептонному агарі;
- оліготрофи – на крохмально-аміачному середовищі;
- целюлозолітики – на КМЦ агарі;
- фосфатмобілізувальні мікроорганізми (органічного і неорганічного фосфору);
- актиноміцети;
- педотрофи.

Ступінь збагачення ґрунтів оліготрофами, педотрофами, амоніфікаторами, амілолітиками та олігонітрофілами оцінювали за загальноприйнятою шкалою біологічної активності. Для кількісної оцінки біогеохімічних процесів та ідентифікації глибини трансформації ґрунтів під впливом воєнно-техногенного навантаження, використовували показники: педотрофності, оліготрофності та мінералізації-іммобілізації, які розраховували згідно ДСТУ 3750-9 [35].

2.4 Методика оцінки стану біорізноманіття

Оцінку стану біорізноманіття проводили шляхом аналізу рослинних угруповань на ділянках, що зазнали різного ступеню ураження та деградації внаслідок активних бойових дій.

Дослідження включало в себе:

- визначення видового складу рослинності;
- оцінку структури фітоценозів;
- ступеня домінування окремих видів;
- рівня збереження рослинного покриву.



(а)



(б)

Рисунок 2.2 – Процес закладання пробних площ (а) та фіксації екологічних параметрів (б) під час польового етапу досліджень в околицях с. Мощун

Джерело: власні фото

Для кількісної оцінки різноманіття угруповань використовували індекс Шеннона-Вівера (H), який дозволяє врахувати, як кількість видів, так і рівномірність їх розподілу в межах угруповання [36]. Використання цього індексу є доцільним при дослідженні антропогенно-трансформованих територій, оскільки він забезпечує оцінки структурної складності та екологічної стійкості фітоценозів, а також є чутливим до присутності рідкісних видів. Розрахунок проводився за формулою:

$$H = -\sum P_i \cdot \ln P_i, \quad (2.1)$$

де P_i – ймовірність внеску кожного виду (частка особин i -виду в угрупованні).

Показник P_i визначали за відношенням:

$$P_i = \frac{n}{N}, \quad (2.2)$$

де n – кількість балів, яку отримував кожен вид за проекційним покриттям або рясністю;

N – загальна сума балів усіх видів у межах досліджуваного угруповання.

Для уточнення структури рослинного покриву та визначення домінантності окремих видів додатково було застосовано шкалу О. Друде [36]. Методика дозволила додатково оцінити ступінь проекційного покриття, щільність рослинності та виявити домінуючі види у фітоценозах із різним рівнем механічного порушення ґрунту

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Екотоксикологічні показники

Проведення порівняльного аналізу екотоксикологічного стану ґрунтів в околицях села Мошун, дало змогу об'єктивно оцінити ступінь їхньої хімічної трансформації, встановити реальний рівень мілітарного тиску та виявити наслідки воєнно-техногенного впливу на елементний склад субстрату.

Отримані результати лабораторних випробувань (див. Таблиця 3.1), продемонстрували неоднорідну картину просторового розподілу важких металів та біогенних елементів, як у порівнянні зі встановленими нормативами гранично допустимих концентрацій (ГДК), так і відносно умовно еталонного зразка. Це дозволило чітко окреслити локальні зони акумуляції токсичних речовин та встановити характер і глибину деструктивного впливу воєнних дій на екологічний стан ґрунтового середовища досліджуваної ділянки.

Таблиця 3.1

Порівняльний аналіз валового вмісту хімічних елементів у досліджуваних зразках ґрунту, мг/кг

Найменування показників	Зразок №1 (Еталон)	Зразок №2 (Мошун, техніка)	Зразок №3 (Мошун, біля вирви)	ГДК згідно з НД
Залізо (Fe), г/кг	20,17	3,37	2,63	не нормується
Алюміній (Al), г/кг	1,29	1,73	2,04	не нормується
Манган (Mn), мг/кг	490,69	72,98	42,88	1500,0
Сірка (S), мг/кг	426,90	292,50	172,60	160,0 (перевищення)
Арсен / Миш'як (As), мг/кг	8,40	1,10	0,84	2,0 (перевищення в еталоні)
Свинець (Pb), мг/кг	6,14	6,70	3,48	32,0
Цинк (Zn), мг/кг	18,24	11,42	5,37	не нормується

Продовження таблиці 3.1

Найменування показників	Зразок №1 (Еталон)	Зразок №2 (Мощун, техніка)	Зразок №3 (Мощун, біля вирви)	ГДК згідно з НД
Мідь (Cu), мг/кг	2,97	18,00	6,29	не нормується
Кадмій (Cd), мг/кг	0,24	0,72	<0,10	3,0
Нікель (Ni), мг/кг	0,79	1,29	1,09	не нормується
Ртуть (Hg), мг/кг	0,007	0,007	0,006	2,1
Фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг	5470,00	926,44	701,38	200,0 (перевищення)

Набільш показовими є зміни вмісту важких металів та сполук сірки і фосфору, які можуть виступати індикаторами механічного порушення ґрунтового покриву та накопичення продуктів детонації.

У зразках, відібраних після проходження важкої техніки та поблизу вирви зафіксовано підвищений вміст свинцю, нікелю та міді. Такі елементи, характерні для продуктів згоряння паливно-мастильних матеріалів, металевих уламків та вибухових речовин. Одночасно, спостерігається зміна концентрації сірки. У всіх досліджуваних зразках зафіксовано перевищення гранично допустимої концентрації, яка становить 160 мг/кг. Найвищий показник, виявлено в еталонному зразку – 426,90 мг/кг, що перевищує норматив у 2,6 рази. У зразку відібраному після проходження техніки, вміст сірки становив 292,50 мг/кг, що перевищувало норматив у 1,8 рази, тоді, як поблизу вирви – 172,60 мг/кг. Подібне накопичення сірки може бути викликане наслідками продуктів вибузових боєприпасів, процесами горіння та потраплянням залишків паливно-мастильних матеріалів у ґрундове середовище.

Аналіз вмісту миш'яку показав суттєве перевищення нормативних значень, у контрольному зразку – 8,40 мг/кг при ГДК – 2,0 мг/кг. Водночас, на ділянках, що знаходились під воєнним тиском, концентрації арсену були

значно нижчими та не перевищували допустимих меж. Валовий вміст більшості важких металів, у досліджуваних зразках залишався в межах безпечних значень, однак на ділянці проходження техніки, спостерігалось локальне зростання нікеля та кадмію, що можна пов'язати із викидами вихлопних газів та зносом металевих конструкцій.

Дані аналізу, також свідчать про високий рівень фосфатного навантаження. Вміст фосфору у всіх зразках суттєво перевищував нормативні показники. Найвищу концентрацію встановлено в еталонному зразку – 5470,00 мг/кг, тоді як на порушених ділянках цей показник становив – 926,44 мг/кг та 701,38 мг/кг відповідно. Подібне накопичення фосфатів, може сприяти зміні структури рослинних угруповань та підвищувати ризики вторинного забруднення прилеглих водних об'єктів.

Окремо простежується зміна співвідношення заліза та алюмінію. У пошкоджених зонах вміст заліза знижувався, тоді як концентрація алюмінію зростала. Це свідчить про механічне перемішування ґрунтових горизонтів унаслідок вибухового впливу та вихід на поверхню глибших алюмосилікатних порід.

Порівняльний аналіз досліджуваних зразків показав, що найбільш трансформованими є ділянки, розташовані безпосередньо в зоні механічного порушення ґрунту.

3.2 Мікробіологічні показники

Мікробіологічні показники виступають високочутливим індикатором екологічного стану едафотопу, оскільки безпосередньо відображають інтенсивність біологічних процесів та рівень антропогенного (військового) порушення середовища. Комплексний аналіз отриманих даних дозволив надати об'єктивну оцінку структурно-функціональним змінам ґрунтового мікробіоценозу, встановити ступінь деградації його біотичного компонента, а також визначити потенціал досліджуваних територій до самоочищення та відновлення ключових екологічних функцій.

Нижчеописані результати (див. Таблиця 3.2), свідчать про суттєву диференціацію мікробіологічної активності залежно від відстані до епіцентру порушення.

Таблиця 3.2

Чисельність основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів у досліджуваних зразках ґрунту, (КУО/мл)

Назва зразку	Амоніфікатори, КУО/г	Амілолітики, КУО/г	Оліготрофи, КУО/г	Фосфатмобілізатори (неорганічний фосфор), КУО/г	Фосфатмобілізатори (органічний)	Целюлозолітики, КУО/г	Актиноміцети, КУО/г	Педотрофи, КУО/г
Вирва	Немає росту	Немає росту	$3 \cdot 10^6$	Немає росту	Немає росту	$1,5 \cdot 10^7$	Немає росту	$2,05 \cdot 10^7$
1 м від вирви	Немає росту	$1 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$
2 м від вирви	$3 \cdot 10^7$	$6,4 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^6$	Немає росту	$2,6 \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^7$
10 м від вирви	$7 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^8$	$5,5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^6$

Зміни чисельності основних фізіологічних груп мікроорганізмів відображають реакцію ґрунтової системи на зміни. Зокрема, зменшення кількості чутливих груп та переважання стійких форм, свідчить про погіршення екологічного стану ґрунтів.

- Зразок № 1 (вирва): найбільш критичний стан мікробіоценозу зафіксовано у зразку № 1 (вирва). Для детально оцінки наслідків вибуху, було проаналізовано проби з різних частин профілю вирви та порівняно два типи

уражених ділянок: з наявною рослинністю на периферії та без рослинного покриву.

Верхній шар вири (етап оліготрофної стабілізації). У зразках, відібраних з верхньої частини вирви, навколо якої зберіглася рослинність, спостерігається відсутність майже усього видового складу при одночасному зростанні спеціалізованих груп. Тут зафіксовано повну відсутність амоніфікаторів, амілолітиків та фосфатмобілізаторів. Водночас, виявлено значну кількість оліготрофів ($3 \cdot 10^6$ КУО/г), педотрофів ($2,05 \cdot 10^7$ КУО/г) та целюлозолітиків ($1,5 \cdot 10^7$ КУО/г). Наявність останніх пояснюється надходженням рослинного опаду з периферії, що сприяє початковому етапу самовідновлення. Проте, загальний склад мікробіоценозу залишається критично збідненим: відсутність амоніфікаторів, навіть після певного періоду експозиції вказує на тривалий токсичний вплив (імовірно від важких металів чи залишків вибухових речовин) або суттєвий дефіцит легкодоступного вуглецю. У такому стані підтримується лише вузькоспеціалізована флора (оліготрофи та педотрофи), здатна виживати на мізерних ресурсах.

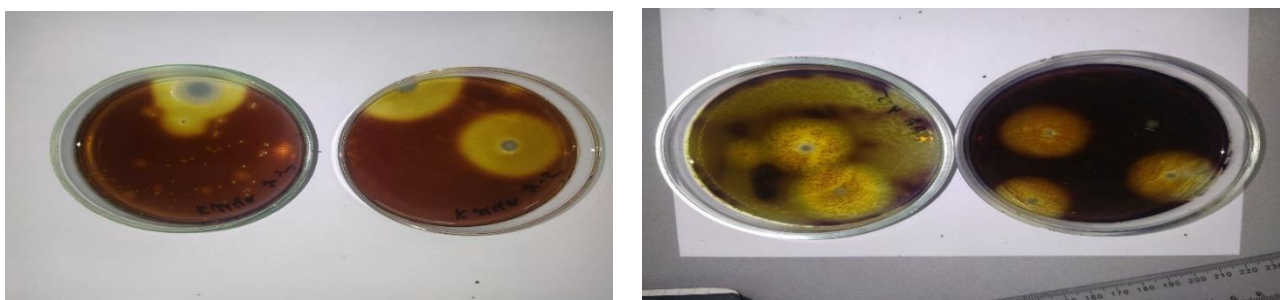


Рисунок 3.1 – Чисельність оліготрофів у зоні вирви (висів на крохмально-аміачне поживне середовище).

Верхній шар вирви на відкритій ділянці (перехідна стадія, етап активного розкладу). Проби з вирви без рослинного покриву демонструють іншу фазу мікробної сукцесії. Тут виявлено аномально велику чисельність амоніфікаторів ($5,5 \cdot 10^8$ КУО/г), що на порядок перевищує показники інших зразків. Такі «вибухові» сплески активності бактерій-деструкторів за рахунок знищеної біомаси та продуктів горіння є характерним для початкових етапів

мікробної сукцесії після сильного воєнного впливу. Це перехідна стадія «тимчасового збагачення», яка без зовнішнього втручання неминуче призведе до вичерпання ресурсів і подальшої деградації.

Нижня частина профілю вирви (дно). Ґрунт із дна вирви суттєво відрізняється від поверхневих шарів. Тут зафіксовано помірну кількість амоніфікаторів ($1,5 \cdot 10^7$ КУО/г) при майже повній відсутності амілолітиків, фосфатмобілізаторів та актиноміцетів. Це свідчить про те, що вибух фактично знищив родючий шар гумусовий горизонт, оголивши бідне підґрунтя.

Отже, мікробіоценоз вирви перебуває у стані глибокої трансформації. Якщо верхні шари отримують основне органічне навантаження і демонструють ознаки початкової регенерації або тимчасового спалаху активності, то нижні горизонти залишаються майже «стерильними» та позбавленими запасів гумусу.

- Зразок № 2 (1 м від вирви): ця локація характеризується специфічним «стресовим» мікробіоценозом. Було зафіксовано відсутність росту амоніфікаторів, що є критичним маркером: пригнічення процесів мінералізації органічного азоту. Водночас, спостерігалася відносно висока чисельність амілолітиків ($1 \cdot 10^7$ КУО/мл) та целюлозолітиків ($4,9 \cdot 10^7$ КУО/мл). Наявність педотрофів свідчить про активність груп, здатних засвоювати залишковий мінеральний азот у деструктованому ґрунті. Найвищий показник оліготрофів ($4,5 \cdot 10^7$ КУО/мл) саме в цій точці вказує на гострий дефіцит поживних речовин. Така структура угруповання вказує на адаптацію окремих таксонів до екстремальних умов даної зони. Отже, аналіз зразка в радіусі 1 метра від вирви, підтверджує катастрофічний вплив воєнного чинника на мікробну спільноту: випадіння ключових функціональних груп та заміна їх оліготрофними формами констатує деградацію екосистемних послуг ґрунту.

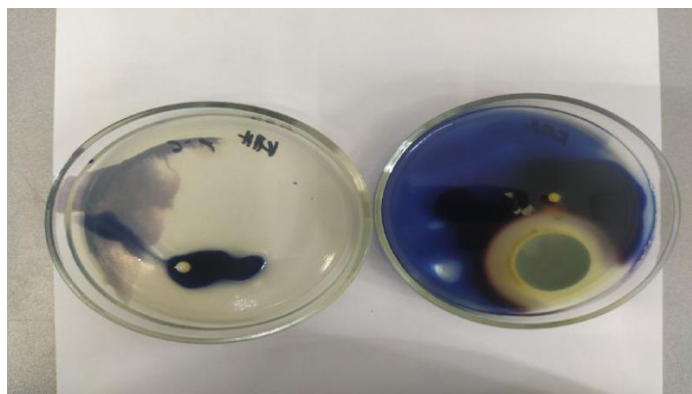


Рисунок 3.2 – Чисельність амілолітиків на відстані 1 м від вирви (висів на поживне середовище крохмально-пептонний агар).

- Зразок № 3 (2 м від вирви): починаючи з цього місця, можна відзначити «точку перелому» у градієнті мілітарного впливу. На цій відстані спостерігається докорінна зміна мікробіологічної ситуації в порівнянні з метровою зоною, що свідчить про поступове ослаблення впливу детонаційних газів, температури та переущільнення ґрунту. У цій точці, вперше зафіксовано відновлення активності амоніфікувальних організмів (чисельність становила від $1,5 \cdot 10^7$ до $3 \cdot 10^7$ КУО/мл залежно від ділянки), що вказує на регенерацію циклу азоту. Також, було відмічено інтенсивний ріст амілолітиків ($6,4 \cdot 10^8$ КУО/мл) та дворазове зростання кількості целюлозолітиків в порівнянні зі зразком № 1. Це можна пояснити тим, що на віддалі кількох метрів термічна хвиля вже не спричинила повного вигорання органіки; натомість рослинність була знищена механічно, залишивши у ґрунті значну кількість мортмаси. Ці мертві живильні рештки, стали живильним субстратом для мікробів-деструкторів. Проте відновлення, має проміжний характер і супроводжується певними дисфункціями: зокрема для фосфатмобілізаторів ріст все ще не спостерігався. Це вказує на те, що попри загальну тенденцію до «оживлення», окремі функціональні групи залишаються пригніченими. Отже зона на відстані 2 метрів від епіцентру, підтверджує локальність найбільш токсичної дії вибухових речовин: поза межами безпосереднього теплового ураження, мікробні ценози здатні до відносно швидкого відновлення за рахунок трансформації загиблих органічних залишків.

- Зразок № 4 (10 м від вирви): характеризується найвищими показниками мікробіологічної активності серед усіх досліджених варіантів. Показники цього зразка є найбільш наближеними до природної норми для даного типу ландшафту, однак, мають специфічні ознаки сигналів на механічне пошкодження прилеглих територій. У цій зоні зафіксовано стабільно високу чисельність амоніфікаторів ($7,0 \cdot 10^7$ КУО/мл) та амілолітиків ($1,2 \cdot 10^8$ КУО/мл), що свідчить про збалансований стан мікробного угруповання. Очевидно, на периферії ділянки накопичилась значна кількість органічних решток (листя, фрагменти рослин, знесені вибуховою хвилею), що не зазнали термічного обуглення і стали легкодоступним субстратом для деструкторів. Важливо, що таке збагачення на периферії вибуху супроводжується повним відновленням мікробного біорізноманіття: у зразку присутні всі досліджувані групи, включаючи фостфатмобілізаторів та актиноміцети. Отже, на відстані десяти метрів від епіцентру вибуху, ґрунт не лише не зазнає пригнічення, а й демонструє стимульовану мікробіологічну активність унаслідок розкладу загиблих рослинних решток.

Порівняння досліджуваних ділянок, показало, що найбільш трансформовані ґрунти характеризуються зниженням загальної мікробіологічної активності та зміною структури мікробного угруповання. Одночасно з цим, на менш порушених ділянках, спостерігається вищий рівень біологічної активності, що свідчить про часткове відновлення функціонального стану ґрунтів.

3.3 Екологічна оцінка за станом біорізноманіття

Оцінка стану біорізноманіття є важливим етапом аналізу екологічного стану порушених територій, оскільки відображає рівень збереженості рослинного покриву та ступінь трансформації екосистем. Особливо показовими є ділянки, що зазнали механічного та техногенного впливу, де формуються специфічні рослинні угруповання з переважанням стійких до порушення видів.

Використання індексу Шенонна-Вівера, дозволило отримати глибоке уявлення про структуру та трансформацію угруповань, а застосування методики визначення проекційного покриття дало змогу додатково оцінити ступінь збереженості рослинного шару та ідентифікувати домінуючі види, що відіграють ключову роль у сукцесійних процесах на порушених ділянках. Отримана таблиця показників (див. Таблиця 3.3) надає систематизований огляд основних характеристик досліджуваних ділянок.

Таблиця 3.3

Значення індексу Шеннона-Вівера для досліджуваних ділянок

№ ділянки	Характеристика ділянки	Значення індексу Шеннона (H)	Рівень біорізноманіття	Інтерпретація
1	~8 м від вирви (шлях техніки)	2,88	Низький	Порушена структура, домінування окремих видів
2	Біля вирви	2,84	Низький	Найбільш деградована ділянка
3	Місце розвороту техніки	2,85	Низький	Сильний техногенний вплив, спрощення структури
4	Менш порушена ділянка	2,89	Відносно вищий	Початкове відновлення, більша рівномірність видів

За результатами розрахунків встановлено, що значення індексу Шеннона для більшості досліджених ділянок становить близько 2,88. Отримані значення свідчать про загалом збіднений стан біорізноманіття на всіх обстежуваних локаціях, що свідчить про наслідки антропогенного (військового) навантаження. Такий рівень показника, вказує на відносно низьке видове різноманіття (див. Таблиця 3.4)

Таблиця 3.4

Характеристика видового складу рослинності на досліджених ділянках
в умовах воєнного впливу

№ ділянки	Локація	Домінуючі види	Екологічні умови	Особливості рослинності
1	~8 м від вирви, зона проходу техніки	<i>Chamomilla canini agri</i> , <i>Ambrosia artemisiifolia</i> , <i>Hypericum perforatum</i> , <i>Potentilla argentea</i>	Ущільнений ґрунт, механічне порушення	Рудеральна рослинність, поява інвазійних видів
2	Безпосередньо біля вирви, сухостій	<i>Rumex confertus</i> , <i>Centaurea diffusa</i> , <i>Potentilla argentea</i>	Сухостій, низьке проекційне покриття	Збіднений видовий склад, слабе відновлення
3	Місце розвороту техніки	<i>Chenopodium album</i> , <i>Amaranthus retroflexus</i> , <i>Elymus repens</i> , <i>Polygonum hydropiper</i>	Сильне ущільнення ґрунту, відсутність природної структури	Домінування бур'янів, пригнічення природної флори
4	Менш порушена ділянка	<i>Portulaca oleracea</i> , <i>Crepis foetida</i> , <i>Erysimum cheiranthoides</i> , <i>Raphanus raphanistrum</i>	Помірне порушення	Початкові етапи сукцесії, поява більшої кількості видів

Аналіз даних таблиці 3.4 показує, що на найбільш пошкоджених ділянках, видовий склад є збідненим із домінуванням рудеральної рослинності, а проекційне покриття за Друде – мінімальним. Найбільші зміни зафіксовано поблизу вирв, зон проходу техніки та заплави, де порушення структури й ущільнення ґрунту призвели до різкого зменшення рослинного покриву. У таких умовах переважають невибагливі, зокрема інвазійні види (*Ambrosia artemisiifolia*, *Phalaris arundinacea*), що здатні домінувати за умови постійного антропогенного навантаження. Значення індексу Шеннона (2,88) формально свідчить про певну структурну складність угруповань, однак якісний аналіз підтверджує глибоку деградацію екосистем: значну частку фітомаси формують саме чужорідні види. Це підтверджує деградацію фітоценозів та ризик витіснення аборигенної флори. Узагальнення результатів, отриманих при аналізі видового складу та індексу різноманіття, дозволяє

виявити чітку залежність між ступенем порушення території та рівнем біорізноманіття.



Рисунок 3.3 – Сукцесійне відновлення та формування піонерних угруповань на механічно порушеному субстраті досліджуваних ділянок

Найнижчі показники індексу Шеннона зафіксовані на ділянках розташовані безпосередньо поблизу вирви, де спостерігається збіднений видовий склад і домінування окремих стійких видів.

На ділянках, віддалених від епіцентру порушення, відзначається поступове зростання різноманіття, що пов'язано зі зменшенням інтенсивності антропогенного впливу та активізацією відновлювальних процесів.

Подібний характер трансформації рослинних угруповань свідчить про порушення природних сукцесійних процесів. Сукцесійне відновлення на досліджуваних територіях відбувається повільно, а формування стабільної структури екосистем залишається обмеженим внаслідок механічної деструкції ґрунтового покриву та постійного антропогенного навантаження. Таким чином, простежується закономірність: чим ближче до джерела порушення, тим нижчий рівень біорізноманіття та більш спрощена структура рослинних угруповань. Це свідчить про просторову неоднорідність відновлення екосистеми.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та вирішено актуальне науково-практичне завдання. У ході теоретичного аналізу встановлено, що воєнні дії формують комплексний багатокomпонентний вплив на довкілля, який проявляється через механічне руйнування ґрунтового покриву, хімічне забруднення, пірогенну деградацію, порушення гідрологічного режиму та трансформацію біотичних угруповань. Визначено, що ґрунтовий покрив є одним із найбільш уразливих компонентів екосистем, оскільки виступає середовищем акумуляції токсичних речовин і довготривалого збереження наслідків воєнно-техногенного навантаження.

За результатами екотоксикологічного аналізу виявлено суттєві зміни хімічного складу ґрунтового середовища. Найбільш виражене забруднення зафіксовано за вмістом сірки та фосфору, концентрації яких перевищували гранично-допустимі значення. Також, було зафіксовано локальне накопичення окремих важких металів, що пов'язано з наслідками вибухів, використанням боєприпасів та проходженням важкої військової техніки.

Дослідження стану біорізноманіття показало, що найбільш порушені території характеризуються збідненням видового складу, зменшенням проекційного покриття та домінуванням рудеральної та інвазійної рослинності. На ділянках із найбільшим рівнем механічного порушення, встановлено зниження стійкості рослинних угруповань та активізацію сукцесійних процесів. Значення індексу Шеннона підтвердили просторову неоднорідність відновлення екосистем та залежність рівня біорізноманіття від ступеня військового впливу.

Мікробіологічні дослідження, засвідчили, що воєнно-техногенний вплив суттєво змінює структуру ґрунтових мікробіоценозів. На найбільш трансформованих ділянках спостерігалось: зниження загальної біологічної активності ґрунтів, скорочення чисельності еколого-трофічних груп та порушення процесів мінералізації органічної речовини. Водночас на менше

порушених ділянках виявлено ознаки часткового відновлення функціонального стану ґрунтів.

Проведені дослідження довели, що рівень екологічної деградації безпосередньо залежить від інтенсивності механічного порушення території. Найбільш трансформованими виявились ділянки в межах вирв і зон проходження важкої техніки, де сформувались стійкі техногенно-порушені екотони. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальшого екологічного моніторингу та розроблення заходів з відновлення порушених територій.

З метою зменшення негативних наслідків воєнно-техногенного впливу доцільно рекомендувати:

1. Провести обстеження та локальне очищення ділянок від залишків боєприпасів та уламків, як передумову для початку відновлювальних заходів;
2. Здійснити технічну рекультивацію шляхом засипання вирв підстилаючим субстратом задля вирівнювання поверхні, а також нанесенням верхнього родючого шару (такі як компост, перегній, торф) з метою відновлення біологічної активності;
3. З огляду на неоднорідність накопичення екотоксикантів, доцільним є створення буферних фітомеліоративних смуг. Для цього рекомендовано використовувати рослини-акумулятори здатні поглинати та зв'язувати рухомі форми екотоксикантів, а також місцеві лучні та лісових видів, характерні для природних екосистем Полісся. Такі насадження сприятимуть частковій фіксації забруднювачів, стабілізації ґрунтового покриву, зменшенню ерозійних процесів та прискоренню відновлення порушених екосистем;
4. З метою контролю процесів післявоєнного відновлення території доцільно здійснювати систематичний екологічний моніторинг стану ґрунтів і рослинного покриву, що включатиме в себе контроль вмісту

важких металів, показників кислотності рН та біологічної активності ґрунтів, а також спостереження за поширенням інвазійних рослин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. E. Odum., Barrett G., Fundamentals of ecology, 5th ed. Philadelphia; Belmont: Saunders; Brooks/Cole, 2004, 624 p. URL: https://openlibrary.org/books/OL7784823M/Fundamentals_of_Ecology (дата звернення 29.09.2025)
2. Begon M., Townsend C. R., Harper J. L. Ecology : From Individuals to Ecosystems. 4th ed. Oxford : Blackwell Science Ltd. 2006. 768 p.
3. Бондар О. І., Гандзюра В. П., Матвієнко М. Г. Вплив воєнних дій та їх наслідків на довкілля України. Екологічні науки. 2024. Т. 1, № 1(52). С. 7–15.
4. Kucher A. Ukrainian black soils in war: assessing the impact of hostilities on violations of the guidelines for sustainable soil management. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2025. №11(2). Pp. 341-369. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.364317>
5. Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. Забруднення земель внаслідок агресії Росії проти України. Київ: ГО Центр екологічних ініціатив «Екодія». 2023. 154 с.
6. Шумгай Л. В. та ін. Вплив воєнних дій на біорізноманіття та екосистеми України: аналітичний огляд. Український ботанічний журнал. 2023. Т. 80, № 4. С. 312–325.
7. United Nations Office at Geneva. Battlefields to wastelands: UN warns conflicts are destroying ecosystems worldwide. 2023. URL: <https://www.ungeneva.org/en/news-media/news/2025/11/112606/battlefields-wastelands-un-warns-conflicts-are-destroying-ecosystems> (дата звернення 11.10.2025)
8. Семерня О. М., Любинський О. І., Федорчук І. В., Рудницька Ж. О., Семерня А. О. Екологічна безпека в умовах воєнного стану. Економічні науки : науково-практичний журнал. 2022. № 2(41). С. 62–66. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.11>

9. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII // Відомості Верховної Ради України. 2019. № 16. 70 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення 19.10.2025)
10. Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2021 № 1363-р. Офіційний вісник України. 2021. № 87. Ст. 5584. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> (дата звернення 19.10.2025)
11. European Commission. Strategic Environmental Assessment (SEA) URL: https://environment.ec.europa.eu/law-and-governance/environmental-assessments/strategic-environmental-assessment-sea_en (дата звернення: 4.11.2025)
12. Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» (зі змінами та доповненнями від 2022-2023 рр.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19/ed20221119#Text> (дата звернення 8.11.2025)
13. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII: станом на 15 листоп. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 8.11.2025)
14. Ладика М. М., Макаренко Н. А., Строкаль В. П., Бережнюк Є. М., Бондар В. І., Павлюк С. Д., Вагалюк Л. В., Наумовська О. І., Ковпак А. В. Наслідки воєнних дій для природних ресурсів України: аналіз та методологія оцінювання. Наукові доповіді НУБіП України. 2022. № 4 (98). ISBN: 978-617-8351-36-6. DOI: [10.31548/dopovidi2022.04.003](https://doi.org/10.31548/dopovidi2022.04.003)
15. Lelechenko N., Derun T. Impact of the armed conflict on environmental safety and resilience of the urban environment in Ukraine. *Aestimum*. 2025. Vol. 86. P. 61–72. DOI: <https://doi.org/10.36253/aestim-16857>.

16. WWF. Assessing the environmental impacts of the war in Ukraine. 2023. URL: <https://wwfcee.org/our-offices/ukraine/assessing-the-environmental-impacts-of-the-war-in-ukraine> (дата звернення 3.12.2025)
17. Саламаха І., Жиліщич Ю., Германович О. Екологічна оцінка впливу військової діяльності на екосистеми України. *Збалансоване природокористування: традиції, перспективи та інновації*. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 15 травня 2025 р.). К.: ДІА, 2025. Частина 2. С. 133–134.
18. UNEP. The environmental impact of the Ukraine conflict: a preliminary review. *UNEP/GRID*. 2022. ISBN: 978-92-807-3969-5. URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/40746> (дата звернення 17.12.2025)
19. CEOBS. Conflict and Environment Observatory: Explore cases of environmental harm in Ukraine. *CEOBS*. 2024. URL: <https://ceobs.org/explore-cases-of-environmental-harm-in-ukraine/> (дата звернення 17.12.2025)
20. Коротун С. І. Геоекологічний аналіз трансформації ландшафтів під впливом воєнних дій. *Географія та туризм*. 2023. Вип. 24. С. 12–19.
21. О. Голубцов, Л. Сорокіна, А. Сплодитель, С. Чумаченко. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. Київ: ГО “Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. 32 с.
22. Certini G., Scalenghe R., Woods W. I. The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*. 2013. Vol. 127. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.009>
23. Коротун С. І. Геоекологічний аналіз трансформації ландшафтів Київщини під впливом воєнних дій. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія: Географія. 2023. № 1 (54). С. 136–143.
24. Війна Росії проти України. Головні виклики для довкілля. *Environmental Policy Lab (EPL)*. Львів. 2024. URL: <https://epl.org.ua/announces/vijna-rosiyi-proty-ukrayiny-golovni-vyklyky-dlya-dovkillya/> (дата звернення 8.01.2026)

25. Довкілля України в умовах війни: стан, виклики, шляхи відновлення : аналітична доповідь за наук. ред. С. В. Лизуна. Київ : ДУ «ІЕПСР НАН України», 2024. 112 с.
26. Шарило Ю. Є. та ін. Інструментарій впливу військової агресії на функціонування аквакультури України. *Водні біоресурси і аквакультура*. 2022. № 2. С. 158 – 171.
27. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge : *Cambridge University Press*. 2023. ISBN: 9781009325844. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
28. Василюк О. В. Наслідки військової агресії для заповідних територій та біорізноманіття. *Заповідна справа*. 2023. Т. 29, вип. 1. С. 12–25.
29. Ukraine: Impact of the war on agriculture and rural livelihoods : Rapid assessment report. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Rome, 2023. 84 p. DOI: <https://doi.org/10.4060/cc3311en>
30. Splodytel A., Holubtsov O., Chumachenko S., Sorokina L. The Impact of Russia's War against Ukraine on the State of Ukrainian. Kyiv : Ecoaction – Centre for Environmental Initiatives, 2023. 35 p. URL: <https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/Impact-of-war-on-soil-Ecoaction.pdf> (дата звернення: 27.01.2026).
31. Довкілля України в умовах війни: стан, виклики, шляхи відновлення : аналітична доповідь. за наук. ред. С. В. Лизуна. Київ : ДУ «ІЕПСР НАН України», 2024. 112 с.
32. Hryhorczuk, D., Levy, B. S., Prodanchuk, M., Kravchuk, O., et al. The environmental health impacts of Russia's war on Ukraine. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 19(1). 2024. pp.1–14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12995-023-00398-y>
33. Чайка, Т. О., І. В. Короткова. Відновлення родючості ґрунту в Україні після воєнних дій. Полтава : ПП «Астроя», 2022. С. 232 – 281. ISBN: 9786177149698

34. ДСТУ 7847:2015. Якість ґрунту. Методи визначення чисельності мікроорганізмів основних фізіологічних груп. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
35. ДСТУ 3750-98. Ґрунти. Методи визначення біологічної активності. Київ : Держстандарт України, 1999. 12 с.
36. Вагалюк Л. В. Біорізноманіття: екологічні аспекти : методичні рекомендації для виконання практичних робіт для здобувачів третього рівня вищої освіти зі спеціальності 101 «Екологія». Київ : НУБіП України. 2022. 38 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Науково-практична конференція «Екологія – філософія існування людства»

УДК 548.28/47

ГРУНТИ ЯК ДЕПОНУЮЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ МІЛІТАРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Мартиненко А.Є. студентка 4 курсу, факультету захисту рослин, біотехнологій та
екології

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Військова агресія РФ проти України спричинила катастрофічний антропогенний вплив на довкілля, що характеризується принципом каскадності порушень. Одним із найбільш уразливих компонентів екосистем у цих умовах є ґрунтовий покрив, який виступає головним депонуючим середовищем для токсичних речовин і акумулює наслідки різних форм мілітарного тиску [1; 4]. Проблема мілітарної деградації ґрунтів є надзвичайно гострою через тривалий період напіврозпаду деяких сполук та здатність важких металів до міграції у суміжні середовища — підземні води та рослинність [2].

Теоретичний аналіз проблеми дозволяє класифікувати воєнно-зумовлений вплив на:

- фізико-механічний (деформація ландшафтів, перемішування генетичних горизонтів);
- хімічний (формування геохімічних аномалій через детонацію боєприпасів та витоки пально-мастильних матеріалів);
- біологічний (деградація біоценозів та пригнічення мікробіому).

При детонації боєприпасів відбувається формування зон концентрованого забруднення важкими металами (свинець, кадмій, стронцій, титан) та продуктами неповного згоряння вибухових речовин, що зумовлює довготривалу деградацію ґрунтів та втрату їх родючості [5; 6]. Важливо враховувати, що хімічне забруднення часто

супроводжується термічним впливом (пірогенна трансформація), що призводить до вигорання гумусу та зміни мінералогічного складу ґрунту.

Експериментальні дослідження стану ґрунтів на територіях, що зазнали інтенсивного воєнного впливу (наприкладі с. Мощун Київської області), підтверджують суттєву трансформацію екосистем за кількома критичними показниками:

Екотоксикологічні показники: зафіксовано формування стійких техногенних геохімічних аномалій у місцях розривів снарядів. Високі концентрації токсичних сполук створюють кумулятивний ефект. Це призводить до підкислення ґрунтового розчину та зниження поглинальної здатності ґрунту, що фактично пригнічує природний потенціал його самовідновлення на десятиліття [1; 3]. Особливу небезпеку становлять продукти детонації, які мають високу рухливість у профілі ґрунту, що створює ризики вторинного забруднення агроценозів.

Мікробіологічні показники: воєнні дії спричиняють докорінну зміну ферментативної активності та чисельності мікроорганізмів. Визначення чисельності мікроорганізмів основних фізіологічних груп здійснювали згідно ДСТУ 7847:2015. Ступінь збагачення ґрунтів різними еколого-трофічними групами мікроорганізмів (оліготрофами, педотрофами, амоніфікаторами, амілолітиками та олігонітрофілами) оцінювали за загальноприйнятими бальними шкалами для визначення біологічної активності ґрунтового середовища [9]. Показники мінералізації-імобілізації розраховували за ДСТУ 3750-98. Розрахований за методикою В.Д. Мухи коефіцієнт трансформації органічної речовини показав гальмування процесів гумусоутворення та посилення мінералізації, що є індикатором глибокого порушення біологічної рівноваги та зниження екосистемної стійкості [1; 10; 11].

Стан біорізноманіття: для оцінки ступеня порушення рослинних угруповань було використано індекс Шеннона-Уївера та шкалу О. Друде. Встановлено, що на ділянках з надмірним воєнним впливом (вирви, ущільнення ґрунту важкою технікою) видове різноманіття знижене на 40-60%. Зокрема, на ділянках розвороту техніки зафіксовано домінування рудеральних та інвазійних видів: *Ambrosia artemisiifolia*, *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*, *Cannabis ruderalis*. Використання індексу Шеннона (значення якого на порушених ділянках Мощуна становлять 0,3-1,5 біт проти 2,8 у контролі) підтверджує деградацію структури природних угруповань [7; 8]. Повільний темп сукцесійних процесів (понад 2 роки на обстежених ділянках) свідчить про критичне порушення механізмів природної регенерації біоценозів.

Отже, мілітарний тиск спричиняє комплексну деградацію ґрунтового покриву, що поєднує хімічне отруєння та фізичне руйнування середовищ існування. Застосування інтегрованого підходу, який включає фізико-хімічні, мікробіологічні та біологічні індикатори, є необхідним для наукового обґрунтування заходів із екологічної реабілітації та повернення територій до функціонально стабільного стану [5; 6].

Список використаних джерел:

1. Токарчук Н.С. Екологічна оцінка трансформації ґрунтового покриву під впливом залишків боєприпасів. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2024. № 1 (29). С. 42–50.
2. Солоха О. та ін. Зміни ґрунтового середовища після вибухів і згоряння бронетехніки. AgroBusiness Today. 2024. № 1. С. 15–18.
3. Васілюк О.В. Наслідки військової агресії для заповідних територій та біорізноманіття. Заповідна справа. 2023. Т. 29, вип. 1. С. 12–25.
4. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України. KSE. 2023. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report.pdf
5. Відбудова для розвитку: зарубіжний досвід та українські перспективи: монографія / за ред. В.В. Небрат. Київ: НАН України, 2023. 571 с.
6. Методичні рекомендації для здійснення оцінки ризиків та вразливості природних складових до зміни клімату. 2023. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/06/386nd1.pdf>
7. IPBES. Summary for policymakers of the thematic assessment of invasive alien species and their control. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430692>
8. Вагалюк Л.В. Біорізноманіття: екологічні аспекти. Методичні рекомендації. Київ: НУБіП України, 2022. 38 с.
9. ДСТУ 7847:2015. Якість ґрунту. Методи визначення чисельності мікроорганізмів основних фізіологічних груп. Київ, 2016. 16 с.
10. Назаренко І.І., Польчина С.М., Нікорич В.А. Ґрунтознавство: Підручник. Чернівці: Книги – XXI, 2004. 400 с
11. ДСТУ 3750-98. Ґрунти. Методи визначення показників мінералізації. Київ, 1999.