

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технологій і дизайну
Кафедра хімії та хімічної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Нові підходи у дослідженні та прогнозуванні якості ґрунтів Хмельницької області внаслідок хімічного забруднення в умовах воєнного стану

Рівень вищої освіти другий магістерський

Галузь знань 16 – «Хімічна інженерія та біоінженерія»

Спеціальність 161 – «Хімічні технології та інженерія»

Освітня програма «Хімічні технології та інженерія»

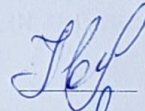
Шифр КРХТІ. 2023154.23.10.00

Виконав студент 2 курсу група ХТІм-23-1



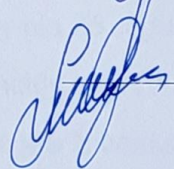
Павло ЛЕПКАШ

Керівник кандидат техн. наук, доцент



Тетяна ІВАНІШЕНА

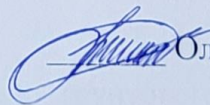
Нормоконтролер



Олександр СТРЕМЕЦЬКИЙ

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри хімії та
хімічної інженерії



Ольга ПАРАСКА

18 12 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет – Технологій і дизайну

Кафедра – Хімії та хімічної інженерії

Рівень вищої освіти – Магістр

Галузь знань – 16 Хімічна інженерія та біоінженерія

Спеціальність – 161 Хімічні технології та інженерія

Освітня програма – Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри хімії
та хімічної інженерії
_____ Ольга ПАРАСКА

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лепікашу Павлу Івановичу

1. Тема роботи: «Нові підходи у дослідженні та прогнозуванні якості ґрунтів Хмельницької області внаслідок хімічного забруднення в умовах воєнного стану».

Керівник роботи Іванішена Тетяна Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент.

Затверджено наказом ректора університету від 26 серпня 2024 року № 60.

2. Строк подання здобувачем роботи на кафедру 10 грудня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: ґрунтовий покрив Хмельницької області.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1 Вплив воєнних дій на стан ґрунтів.

4.2 Закордонний досвід відновлення ґрунтового покриву в результаті військової діяльності.

4.3 Результати хімічного аналізу ґрунтів Хмельницької області внаслідок військових дій.

4.4 Нові підходи у дослідженні та прогнозуванні якості ґрунтів.

4.5 Розробка рекомендацій з відновлення забруднених ґрунтів.

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання: «30» серпня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів (розділу) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапу кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Огляд джерел науково-технічної інформації	до 20.09.24	виконано
2	Об'єкти та методи дослідження	до 30.09.24	виконано
3	Експериментальні дослідження	до 20.11.24	виконано
4	Оформлення роботи	до 05.12.24	виконано

Здобувач

Павло ЛЕПКАШ

Керівник кваліфікаційної роботи

Тетяна ІВАНШЕНА

Реферат

Нові підходи у дослідженні та прогнозуванні якості ґрунтів Хмельницької області внаслідок хімічного забруднення в умовах воєнного стану

Автор роботи – здобувач освіти групи ХТІм-23-1 Павло ЛЕПКАШ

Керівник роботи – доктор технічних наук, доцент Тетяна ІВАНІШЕНА

Обсяг пояснювальної записки 80 сторінок, рисунків – 14, таблиць – 6, джерел посилання – 50, графічної частини – 13 слайдів презентації.

Ключові слова: ХІМІЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ, ВАЖКІ МЕТАЛИ, ВОЄННИЙ СТАН, ХМЕЛЬНИЦЬКА ОБЛАСТЬ, ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ, ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ.

У роботі проведено огляд джерел науково-технічної інформації стосовно впливу воєнних дій на стан ґрунтів та досліджено закордонний досвід відновлення ґрунтового покриву в результаті військової діяльності. Проаналізовано сучасні підходи в дослідженні та прогнозуванні стану ґрунтів. Проведено хімічний аналіз ґрунтів Хмельницької області забруднених внаслідок військових дій. Розроблено рекомендації з відновлення ґрунтів забруднених внаслідок військових дій.

Здобувач групи ХТІ_м-23-1

Павло ЛЕПКАШ

Дата подання роботи до захисту 18.12.24

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1 Огляд джерел науково-технічної інформації.....	9
1.1 Вплив воєнних дій на стан ґрунтів.....	9
1.2 Закордонний досвід відновлення ґрунтового покриву в результаті військової діяльності.....	27
1.3 Сучасні підходи в дослідженнях та прогнозуванні стану ґрунтів....	36
2 Об'єкти та методи дослідження.....	43
2.1 Об'єкти дослідження.....	43
2.2 Методи дослідження.....	44
3 Експериментальні дослідження.....	46
3.1 Результати хімічного аналізу ґрунтів Хмельницької області внаслідок військових дій.....	46
3.2 Нові підходи у дослідженні та прогнозуванні якості ґрунтів	54
3.3 Розробка рекомендацій з відновлення забруднених ґрунтів.....	58
Висновки.....	67
Перелік джерел посилання.....	70
Додаток А Результати апробації дослідження.....	77

ВСТУП

Останніми роками проблема хімічного забруднення ґрунтів набула особливої гостроти через інтенсифікацію військових дій на території України. Хмельницька область, яка має значний аграрний потенціал і важливі логістичні об'єкти, зазнала впливу різних факторів забруднення внаслідок воєнних дій. Використання важких металів, хімічних речовин та уламків боєприпасів призводить до накопичення токсичних елементів у ґрунтах, таких як свинець, ртуть, нікель, кадмій та миш'як. Це не лише погіршує якість ґрунтів, але й негативно впливає на здоров'я населення та екосистему регіону.

Нові підходи у дослідженні та прогнозуванні стають критично важливими для оцінки наслідків хімічного забруднення, оскільки традиційні методи не завжди враховують специфіку забруднень, пов'язаних із військовими діями. Впровадження сучасних методик, таких як використання геоінформаційних систем (ГІС), дистанційного зондування та інноваційних моделей прогнозування, дозволяє точніше визначати рівні забруднення, оцінювати ризики та розробляти ефективні заходи з відновлення родючості ґрунтів.

Розробка нових підходів і методик прогнозування є вкрай актуальною для Хмельницької області, враховуючи її аграрний характер та важливість для продовольчої безпеки України. Ці дослідження сприяють збереженню якості ґрунтів та мінімізації негативного впливу воєнних дій на сільське господарство та екологію регіону.

Таким чином, обрана тема є своєчасною та необхідною, оскільки її реалізація може забезпечити розробку ефективних стратегій збереження та відновлення якості ґрунтів, що сприятиме екологічній стабільності та підвищенню рівня продовольчої безпеки в умовах сучасних викликів.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка нових підходів та методик дослідження й прогнозування якості ґрунтів Хмельницької області в умовах

хімічного забруднення, викликаного воєнними діями. Це дозволить оцінити поточний стан ґрунтів, визначити рівні забруднення та прогнозувати їх можливий вплив на сільськогосподарське виробництво та екосистему регіону.

Завдання дослідження:

- аналіз літературних джерел і нормативних документів щодо методів оцінки якості ґрунтів та основних забруднювачів, що можуть впливати на стан ґрунтів у результаті воєнних дій;
- визначення основних факторів впливу воєнних дій на якість ґрунтів, зокрема вплив уламків боєприпасів, палива, вибухових речовин та інших хімічних речовин;
- дослідити міжнародний досвід вирішення проблем забруднення ґрунтів пов'язаних з військовими діями;
- оцінка поточного рівня хімічного забруднення ґрунтів Хмельницької області шляхом польових досліджень і лабораторних аналізів з акцентом на виявлення важких металів;
- розробка та впровадження нових підходів до прогнозування змін якості ґрунтів із використанням сучасних технологій, таких як геоінформаційні системи (ГІС) та дистанційне зондування;
- розробка практичних рекомендацій щодо відновлення та покращення якості ґрунтів у Хмельницькій області з урахуванням отриманих результатів дослідження.

Об'єкт дослідження – ґрунти Хмельницької області, які піддаються хімічному забрудненню внаслідок військових дій.

Предмет дослідження – нові підходи та методи оцінки й прогнозування хімічного забруднення ґрунтів Хмельницької області в умовах воєнного стану.

Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній роботі використовуються такі методи дослідження: аналіз літературних джерел та нормативних документів (вивчення наукових праць, стандартів (ДСТУ), а

також звітів екологічних організацій з метою визначення сучасних підходів до оцінки якості ґрунтів та основних забруднювачів); польові дослідження (відбір зразків ґрунту на різних ділянках Хмельницької області, зокрема в зонах з високою ймовірністю хімічного забруднення (поблизу військових об'єктів, місць падіння боєприпасів); лабораторні методи аналізу (атомно-абсорбційна спектрофотометрія для визначення концентрацій важких металів (свинець, кадмій, нікель, миш'як, марганець), заліза тощо; аналіз супутникових знімків для моніторингу змін стану ґрунтів у зоні дослідження; математичне моделювання та статистичний аналіз (використання статистичних методів для обробки даних лабораторних аналізів).

Практичне значення роботи полягає у розробці нових підходів до оцінки та прогнозуванні забруднення ґрунтів Хмельницької області під час воєнних дій, а саме аграріям – вчасно виявляти забруднені ділянки та покращувати якість ґрунтів для підвищення врожайності; екологічним організаціям – проводити ефективний моніторинг стану ґрунтів та приймати рішення щодо їх відновлення; органам місцевого самоврядування – планувати заходи з очищення та рекультивації забруднених територій; науковцям та освітнім закладам – використовувати розроблені методики у дослідженнях та навчальних програмах.

Кваліфікаційна робота є самостійним науковим дослідженням, виконаним на основі власних теоретичних узагальнень та проведених особисто польових досліджень. Автором здійснено аналіз наукової літератури, опрацьовано методики й виконано дослідження, проведено статистичну обробку одержаних результатів, їх аналіз, узагальнення та обґрунтування висновків і пропозицій, підготовлено та опубліковано одна праця у вигляді тез доповідей міжнародної конференції (додаток А).

Основні наукові положення та результати досліджень апробовано на Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку науки, освіти і суспільства в контексті Євроінтеграції» (м. Ізмаїл, 31 жовтня 2024 року).

Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Повний обсяг роботи – 80 сторінок комп'ютерного тексту, в тому числі основна частина на 76 сторінках. Кваліфікаційна робота містить 6 таблиць, 14 рисунків. Список використаних джерел складається з 50 найменувань.

1 ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Серед усіх екосистем, найбільш негативно впливають військові дії на ґрунтовий покрив, відновлення якого є найповільнішим, оскільки природний процес відновлення родючого шару триває близько сотні років для одного сантиметра завтовшки ґрунту, а воєнні події погіршують цю ситуацію, прискорюючи деградацію ґрунтів.

Українські землі стали трагічним випробувальним майданчиком для різноманітного озброєння. Вибухи ракет, різноманітних снарядів, фугасних бомб, мін, безпілотників і реактивних систем залпового вогню руйнують родючий шар ґрунту, який формувався століттями. За останні сто років українські ґрунти втратили понад 30 % гумусового горизонту, а війна лише пришвидшує цей процес. Фізичні, хімічні та фізико-хімічні властивості ґрунтів змінюються, що призводить до втрати їхньої родючості.

1.1 Вплив воєнних дій на стан ґрунтів

Вплив воєнних дій на ґрунтове середовище часто недооцінюється порівняно з втратами людських життів та руйнуванням інфраструктури, проте погіршення якісних характеристик ґрунтів має довготривалі наслідки, що значно знижує їхні продуктивні функції. Незважаючи на це, ґрунти здатні відновлювати свої функціональні властивості та продуктивність, що залежить від типу ґрунту, характеру військово-техногенного впливу та ландшафтних умов конкретної території.

Оцінка військово-техногенного навантаження на ґрунти повоєнних ландшафтів проводиться на основі рівня інтенсивності бойових дій з урахуванням різних типів бойових забруднень.

З 24 лютого 2022 року на території України тривають повномасштабні бойові дії, які призвели до пошкодження ґрунтового покриву. Станом на 2023 рік, за даними Державної екологічної інспекції України, зафіксовано забруднення 342,9 тисяч квадратних метрів земель унаслідок збройної

агресії. Площа забруднених ґрунтів становить 15 995,8 тисяч квадратних метрів.

Порушення ґрунтового покриву поділяють на дві основні групи:

- первинні – прямі механічні пошкодження ґрунтового покриву, теплове забруднення та захаращення поверхні;
- вторинні – викликані відсутністю заходів щодо повоєнного відновлення, зокрема підтоплення, засолення, ерозійні процеси, пірогенна деградація, дегуміфікація тощо.

Військові дії спричиняють комплекс механічних, фізичних та хімічних впливу на ґрунтовий покрив (рисунок 1.1), що веде до порушення структури й функціонування екосистеми ґрунту та втрати її фізико-геохімічних властивостей.



Рисунок 1.1 – Наслідки падіння авіабомби
(Житомирська область, 2022 рік)

Руйнування рослинного покриву, зміна ґрунтової цілісності, нестача природного зволоження та процеси спустелювання є типовими наслідками військово-техногенного впливу. У результаті цих змін відбувається різке зниження рівня біорізноманіття, що негативно позначається на біологічних популяціях та видах. Втрата біорізноманіття, у свою чергу, призводить до подальших змін структури та функцій ландшафтів.

Механічний вплив та його наслідки для ґрунтового покриву є одними з ключових аспектів військово-техногенного навантаження. Цей вплив проявляється через деформацію ґрунтів під час пересування колісної та гусеничної військової техніки, переміщення військових підрозділів, будівництво наземних і підземних споруд, а також внаслідок бомбардувань, розмінування територій і створення оборонної інфраструктури.

Основний механічний вплив полягає в ущільненні ґрунту, що супроводжується пошкодженням гумусового шару. Це спричиняє низку негативних наслідків, таких як порушення водного балансу ґрунту, що, у свою чергу, підвищує ризик розвитку вітрової та водної ерозії. Порушення структури ґрунту відбувається через зміщення частинок різних шарів під впливом військово-техногенних навантажень. Унаслідок цього ущільнення значно погіршується здатність рослин адаптуватися до змін клімату, умов посухи та дефіциту вологи [1].

Водночас, ущільнений механічним впливом ґрунт стає більш стійким до подальшого впливу за умов постійної нестачі продуктивної вологи, що частково мінімізує його деградацію в екстремальних умовах.

Руйнація ґрунтового покриву виникає внаслідок створення поверхневих і різноманітних підземних фортифікаційних споруд, таких як тунелі, сховища паливно-мастильних матеріалів і боєприпасів, бліндажі, окопи, траншеї тощо. Ці деформації сприяють активізації небезпечних геологічних та геоморфологічних процесів, таких як зсуви, заболочування та просідання ґрунту. З огляду на це, під час проектування фортифікаційних

споруд необхідно враховувати особливості залягання ґрунтових вод та умови зволоження ґрунту.

Утворення кратерів внаслідок військових дій викликане бомбардуванням. Вибухова дія призводить до швидкого вивільнення енергії, що створює кругову ударну хвилю, яка поширюється від точки вибуху, формуючи воронку (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Вирва у передмісті міста Києва після вибуху ракети у березні 2024 року

Після вибуху ґрунт частково розлітається, утворюючи котлован, що класифікується як бомбтурбація [2]. Цей процес зумовлює руйнування горизонтів ґрунту під впливом вибухової хвилі, що, в свою чергу, призводить до порушення повітряного і водного режиму. Найбільші фрагменти ґрунту, що виникають внаслідок вибуху, зазвичай залишаються на дні кратера або щільно прилягають до його стінок.

Місця, де відбувається бомбтурбація, стають осередками накопичення води та органічних речовин. Невдовзі на дні кратера або воронки формуються гідрофільні рослини, що відрізняються від типового рослинного покриву регіону і свідчать про підвищений рівень вологості ґрунту. Якщо

кратери утворюються в районах з високим рівнем ґрунтових вод, процеси розвитку ґрунту та вегетації рослин суттєво сповільнюються.

У період розмінування тих чи інших територій відбувається руйнування верхнього гумусового шару, що призводить до втрати фізико-хімічних властивостей ґрунту та змін гранулометричного і агрегатного стану. Це, у свою чергу, негативно впливає на родючість і водоутримувальну здатність ґрунту. Процес закладання мін передбачає також порушення цілісності ґрунту, а детонація мін забруднює ґрунт металевими фрагментами та залишками вибухових речовин [3].

Операції з очищення від наземних мін часто є складними та затратними, що в умовах країн, що розвиваються, може призводити до абсолютної втрати ґрунтових ресурсів.

Під час вибухів хімічні речовини повністю окислюється, а продукти цих реакцій, такі як вуглекислий газ і водяна пара, вивільнюються в атмосферу. Хоча вони не є токсичними, ці речовини сприяють зміні клімату через те, що належать до парникових газів.

Внаслідок бойових зіткнень та виникнення пожеж виникають процеси водної та вітрової ерозії ґрунту. На вигорілих ділянках як правило спостерігається зникнення гумусових речовин і формування гідрофобного шару, що знижує проникнення води в ґрунт.

Під фізичним впливом на ґрунт розуміється зміна фізичних властивостей ґрунтового покриву внаслідок використання різних систем озброєнь та військової техніки. Основні прояви фізичного забруднення ґрунтів включають:

- вібраційний вплив характеризується низькими частотами коливань, які передаються скрізь тверді матеріали, що безпосередньо контактують з механізмами. Цей вид впливу пов'язаний із генерацією енергетичних імпульсів під час бойових зіткнень. Одиначні імпульси виникають внаслідок вибухів боєприпасів на полях з мішенями та стрільби з різних видів зброї, тоді як періодично повторювані імпульси створюють шум

і вібрацію від роботи військової техніки. Вібрації, що передаються через ґрунт, можуть призводити до його ущільнення, витиснення води, просідання поверхні, утворення порожнин і змін мікрорельєфу;

– радіоактивний вплив зумовлений підвищенням вмісту радіоактивних речовин, яке може виникати внаслідок використання боєприпасів із збідненим ураном або обладнання з джерелами іонізуючого випромінювання. Наразі на території України не зафіксовано використання цього типу зброї;

– тепловий вплив викликаний локальним підвищенням температури внаслідок викидів нагрітого повітря, порохових газів, а також вихлопних продуктів. Цей вплив негативно позначається на ґрунтовому покриві, викликаючи порушення термічного та водного режимів, а також зміни в гранулометричному та агрегатному складі. Зміна термічного режиму ґрунту впливає на ґрунтові організми, зменшуючи їхню насиченість киснем і знижуючи біорізноманіття.

Хімічний вплив воєнних дій призводить до зміни всіх параметрів будь-якого ґрунтового покриву внаслідок дії забруднюючих речовин, що виникають при використанні різних систем озброєння та військової техніки. Тривала військова діяльність може спричиняти формування точкових воєнно-техногенних геохімічних аномалій, що містять різноманітні вибухові та інші токсичні речовини. Це може призвести до накладення заборони на використання земель на невизначений термін.

До хімічного забруднення воєнно-техногенного походження відносять залишки вибухових речовин і пального транспортних засобів, мастильні матеріали, дезактиваційні засоби, сольвенти, відходи гальванічного виробництва, важкі метали та їхні сполуки, а також радіоактивні речовини. Загрозливими речовинами фізико-хімічного характеру є також вибухові матеріали. Цей спектр забруднюючих речовин може мати негативний вплив на екосистеми, знижуючи якість ґрунту та загрожуючи здоров'ю людей і тварин, що живуть у цих районах.

Вибух кожного виду озброєння є хімічною реакцією, внаслідок якої 100 % хімічної складової снаряда потрапляє у навколишнє середовище: частина викидається в атмосферу, а інша – безпосередньо в ґрунт. У результаті цього ґрунти, а також ґрунтові та підземні води забруднюються значними кількостями токсичних металів і інших хімічних сполук. Так, у ґрунті можуть з'являтися алюміній, мідь та інші важкі метали. Окиснення вибухових речовин сприяє вивільненню сірки та азоту, які також потрапляють у повітря та ґрунт. Сірка, у свою чергу, є однією з найбільш небезпечних для ґрунтів речовин, оскільки при контакті з опадами вона перетворюється на сірчану кислоту. Ця кислота завдає шкоди мільйонам мікроорганізмів, що формують покривний шар ґрунту.

Окиси сірки (SO_x) та азоту (NO_x), що потрапляють в атмосферу після вибухів, провокують кислотні дощі, що змінюють кислотність ґрунтового покриву і можуть пошкоджувати рослини, дуже чутливі до цього хвойні деревні рослини. Хімічні речовини, що осідають на ґрунтовий покрив, легко поширюються і можуть потрапляти до ґрунтових і поверхневих вод.

Під час стрільб використовуються боєприпаси з різними складовими пороху та вибухових речовин, під час горіння яких створюються такі небезпечні сполуки, як сажа, азот, різні вуглеводні, свинець, двоокис марганцю та інші похідні. Наприклад, вибух 115 мм осколково-фугасного снаряда, спорядженого гексогеном, призводить до утворення близько 4000 літрів газу, що містить продукти згоряння цієї вибухової речовини. До 30 % цих газів розсіюється в атмосфері, в той час як значна їхня частина, зокрема важкі фракції та метали, осідає на ґрунт [4, 5].

Вибухові речовини мають суттєвий вплив на викиди металів у ґрунтове середовище. Дослідження показали, що частки, викинуті внаслідок артилерійських ударів, містять високі концентрації свинцю (Pb) і міді (Cu) [6]. Вибухові гранати також вважаються значним джерелом підвищеного вмісту свинцю в ґрунті [7].

Нерозірвані боєприпаси та наземні міни становлять серйозну загрозу для ґрунтового середовища на протязі десятиліть. Основна небезпека полягає у викидах токсичних речовин внаслідок корозії цих боєприпасів, а також у ризиках, пов'язаних з можливістю випадкової детонації. Ці фактори можуть негативно вплинути на якість ґрунту та його екосистему, створюючи серйозні екологічні та здоров'я людей проблеми (рисунок 1.3) [5].



Рисунок 1.3 – Нерозірвана російська ракета поблизу міста Соледару на Донеччині (6 червня 2022 року)

Забруднення ґрунтів мінними пристроями суттєво обмежує доступ тих чи інших місцевих громад до земельних ресурсів та надр. При цьому важкі метали відіграють значну роль у забрудненні ґрунтів.

Важкі метали – це хімічні елементи, чия питома вага перевищує 5 г/см^3 або атомний номер перевищує 20. Ці метали, до яких належать, зокрема, свинець, ртуть, кадмій, хром та миш'як, є токсичними і можуть завдавати шкоди здоров'ю людини та екосистемам. Вони часто накопичуються в ґрунті, воді та живих організмах, що може призвести до серйозних екологічних і соціальних проблем.

Згідно попередніх наукових досліджень, проведених у зонах АТО/ООС з 2016 року по 2020 рік, в ґрунтах було виявлено підвищену концентрацію міді, свинцю, цинку, хрому, миш'яку, кадмію, молібдену, барію, калію, магнію, вольфраму та інших [8].

Важкі метали характеризують переважаючий спектр воєнно-техногенного забруднення та є важливими індикаторами щодо прогнозування змін екологічного стану територій із забрудненими ґрунтами, а також прилеглих до них ділянок.

У місцях витоків паливно-мастильних матеріалів спостерігається найвища концентрація нафтопродуктів. Часто внаслідок значних проливів нафтопродуктів змінюється хімічний склад ґрунту, що призводить до порушення його здатності до самовідновлення та зниження біологічної активності. Ці фактори значно погіршують екологічний стан територій і можуть мати негативні наслідки для здоров'я населення та біорізноманіття.

Ґрунти, що забруднені різними вуглеводнями, виступають основою токсичного газу і пилу, які переносяться атмосферним повітрям і мають значний негативний вплив на біорізноманіття ґрунтового покриву [9].

Вуглеводні, зокрема бензол, ксилол, толуол і етилбензол, що надходять з нещодавно забруднених ґрунтів, можуть спровокувати хронічні негативні наслідки для здоров'я місцевим мешканцям. Після потрапляння в ґрунт, ці вуглеводні здатні майже повністю займати простір пустот, це явище блокує проникнення повітря та води, що, в свою чергу, впливає на дихання коренів рослин, ґрунтові мікроорганізми та їх забезпечення вологою [10].

Забруднення ґрунтового покриву паливно-мастильними матеріалами та нафтопродуктами є наслідком діяльності військової техніки, що призводить до зниження водопроникності ґрунтів, витіснення кисню та порушення біохімічних і мікробіологічних процесів. Як результат, спостерігається погіршення водного та повітряного режимів, а також порушення обігу поживних речовин, що негативно впливає на кореневе живлення рослин і затримує їх ріст і розвиток.

Воєнно-техногенні впливи спричиняють характерні забруднення ґрунтового середовища, які тісно пов'язані з викидами органічних забруднювачів та важкими металами [11].

Ґрунтовий покрив є одним з найбільш вразливих компонентів біогеосфери, формування якого на території України відбувається протягом останніх 10 мільйонів років. Враховуючи, що для утворення 1 см гумусового горизонту потрібно приблизно 100 років, відновлення природної родючості ґрунтів потребує значного часу.

Згідно з даними Національної академії аграрних наук (НААН), після вибухів снарядів, проїздання важкої військової техніки та будівництва фортифікаційних укріплень на природних та землях сільськогосподарського призначення спостерігається суттєве руйнування ґрунту та рослинності. Дослідження постраждалих угідь у населених пунктах Донецької області виявило перевищення фонові концентрації важких металів, таких як свинець, залізо, мідь, хром, марганець, кадмій, олово, галій, нікель, титан, ітрій, цирконій, кобальт, стронцій, цинк та інших у кілька разів. Це свідчить про серйозні екологічні проблеми, які потребують термінового вирішення.

Дослідження, проведені Сумською та Харківською філіями Державної установи «Держґрунтохорона» на територіях, охоплених бойовими діями, засвідчили, що вміст валових форм важких металів у пробах порушеного ґрунту перевищує фонові значення в діапазоні від 1,1 разів до 15,5 разів. Найбільше перевищення було зафіксовано за рівнем свинцю, а найменше – за рівнем заліза. У двох пробах виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій марганцю (від 2,3 разів до 2,4 разів); концентрація цинку перевищена у всіх десяти пробах (від 1,8 разів до 51 разів), а свинцю – у шести пробах (від 1,5 разів до 11,6 разів).

Забруднення ґрунтів важкими металами може зберігатися протягом кількох десятиліть. На територіях, де велися бойові дії, концентрація важких металів подекуди перевищує фонові показники у 30 разів. Залишки військової техніки та боєприпасів сприяють потраплянню в ґрунт таких

металів, як хром (Cr), миш'як (As), ртуть (Hg), нікель (Ni), цинк (Zn) і кадмій (Cd). Після проникнення в ґрунт ці речовини мігрують у ґрунтові води, а згодом потрапляють у харчові ланцюги, завдаючи шкоди як тваринам, так і людям.

Більш визначальним чинником у поширенні важких металів є не стільки час, скільки хімічні властивості ґрунту та кліматичні умови. Специфічні характеристики кислих ґрунтів, такі як піщаний склад, низька катіонна ємність і низький вміст органічної речовини, окремо або в поєднанні, сприятимуть підвищенню мобільності важких металів. Натомість лужні ґрунти, суглиниста текстура, висока катіонна ємність і значна кількість органічної речовини обмежують переміщення потенційно токсичних елементів у ґрунті.

Токсична дія важких металів на живі організми.

Цинк. У тварин і людини цинк, як і інші мікроелементи, потрапляє в організм переважно через харчові продукти. Проте при надмірному надходженні він стає токсичним, впливаючи на серце, кровоносну систему та інші органи. Цинк також має потенційно канцерогенну дію.

Свинець є загально визнаним токсином, який чинить значний негативний вплив на здоров'я, зокрема на нервову, серцево-судинну, шлунково-кишкову та кровотворну системи. Діти особливо вразливі до дії свинцю, оскільки їхній організм більше піддається його впливу, ніж у дорослих. Крім того, свинець негативно впливає на розвиток мозку, що може призводити до зниження інтелектуальних здібностей.

Кадмій. У рослин цей елемент проявляє високу токсичність, легко пересувається у ґрунтах, швидко засвоюється і накопичується. Для тварин і людей кадмій має серйозний негативний вплив: він знижує здатність організму до протидії хворобам, виявляє мутагенні та канцерогенні властивості, а також негативно впливає на спадковість. Крім того, кадмій руйнує еритроцити, сприяє розвитку хвороб нирок і статевих залоз, а також може викликати гастрит і анемію.

Мідь відіграє важливу роль у людському організмі, зокрема у процесі кровотворення. Проте надмірне накопичення цього елемента спричиняє токсичну дію, впливаючи передусім на ферментативну систему організму. Підвищений рівень міді в сироватці крові та шкірі може призвести до депігментації шкірного покриву, що проявляється у вигляді вітиліго. Сполуки міді також мають сильний подразнювальний вплив на слизові оболонки верхніх дихальних шляхів та шлунково-кишкової системи.

Марганець. Токсичність марганцю здебільшого впливає на центральну нервову систему, викликаючи тремор, м'язові спазми, шум у вухах, зниження слуху, а також порушення рівноваги та координації рухів нижніх кінцівок.

Нікель є складовою частиною деяких білків, а також бере участь у синтезі ДНК і РНК. Однак при надмірному надходженні в організм людини нікель проявляє токсичну та канцерогенну дію.

Таким чином, викиди забруднювальних речовин, що виникають унаслідок військових дій, можуть мати безпосередній вплив на навколишнє середовище і значною мірою впливати на стан здоров'я цивільного населення. Встановлено, що забруднювальні речовини воєнно-техногенного походження викликають негативні наслідки для здоров'я, включаючи серцево-судинні, метаболічні, неврологічні та онкологічні захворювання [12].

Окремі дослідження свідчать про несприятливий вплив військової діяльності на здоров'я дітей, що проживають у зонах бойових дій. Виявлено, що затримка росту та неврологічного розвитку у дітей була пов'язана з внутрішньоутробним впливом важких металів, таких як миш'як, барій та молібден [13].

Збільшення кількості передчасних пологів і поширеність вроджених вад у новонароджених в районі Гази (Палестина) пов'язуються з підвищеним рівнем впливу на жіноче населення таких елементів, як барій, миш'як, кобальт, кадмій, хром, ванадій та уран [14].

Також встановлено, що в дітей, які проживають у військових зонах Іраку, спостерігаються порушення неврологічного розвитку [15, 16].

Потрапляння забруднювальних речовин у людський організм є значним чинником ризику розвитку різних патологій та сприяє погіршенню перебігу багатьох захворювань. Багато мікроелементів, включно з тими, що є необхідними для функціонування живих організмів, стають токсичними для людини при надмірному накопиченні в аномально високих концентраціях [17].

Встановлено, що навіть незначні кількості забруднювальних речовин здатні змінювати активність ферментів в організмі, впливати на ядерний кровообіг і синтез білків, а також викликати генетичні зміни [18].

Після потрапляння в ґрунт на поведінку вибухових сполук і важких металів впливають різні природні процеси [19].

Швидкість їх міграції та трансформації визначається фізико-хімічними і біологічними чинниками ґрунтового середовища, такими як випаровування, адсорбція, розчинення, гідроліз, фотоліз, та біодеградація. Переміщення забруднювальних речовин у ґрунті залежить від гранулометричного і мінералогічного складу, вмісту гумусу, окисно-відновних і кислотно-лужних умов, а також від наявності геохімічних бар'єрів.

Часовий фактор відіграє важливу роль у поведінці забруднювальних речовин у навколишньому середовищі. Підвищений вміст розчинних органічних сполук та підкислення ґрунту сприяють збільшенню швидкості міграції забруднювачів. Перерозподіл цих речовин відбувається як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах:

- горизонтальна міграція є найбільш помітною безпосередньо після бомбардувань і здебільшого здійснюється через повітряний перенос.
- вертикальна міграція відбувається під впливом таких факторів, як дифузія іонів, перенесення забруднювачів потоками вологи, їхнє засвоєння корневими системами рослин, діяльність ґрунтової мезофауни та вплив господарської діяльності людини.

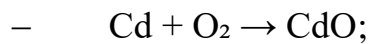
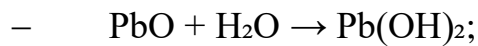
Найважливішим фактором, що впливає на інтенсивність міграції забруднювачів у ґрунтовому профілі, є водний режим [20].

Потрапляння та міграція важких металів можна описати наступним чином:

1. Джерело забруднення. Вибух військового снаряда → виділення важких металів (Pb, Cd, Hg, As, Zn, Cu).

2. Потрапляння в ґрунт. Метали осідають у верхніх шарах ґрунту.

Реакції:



3. Міграція в середовищі. З дощами та талою водою важкі метали вимиваються в глибші шари ґрунту або потрапляють у ґрунтові води.

Комплекси з органічними речовинами: $\text{Pb}^{2+} + (\text{гумінові кислоти}) \rightarrow \text{Pb-гумат}$.

4. Зміна хімічної форми:

– у кислих умовах ґрунту: $\text{Pb}(\text{OH})_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Pb}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ (іонна форма, легше засвоюється рослинами);



5. Поглинання рослинами. Важкі метали засвоюються через кореневу систему у вигляді іонів (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}).

6. Перехід у харчовий ланцюг:

– рослини накопичують метали у тканинах;

– тварини споживаючи ці рослин → біоакумулюють метали у тканинах;

– людина споживаючи забруднені продукти (злаки, овочі, молоко, м'ясо) накопичує ці метали у своєму організмі (рисунок 1.4).

Здатність ґрунтів і підземних вод затримувати важкі метали через вибірккову адсорбцію залежить від площі поверхні, що вступає в реакцію з металами. Інтенсивність закріплення важких металів також залежить від складу ґрунотвірної породи, зокрема від вмісту глини і органічної речовини, вологості, швидкості газообміну з атмосферою, мікробіологічної активності та інших ландшафтно-геохімічних чинників [21].

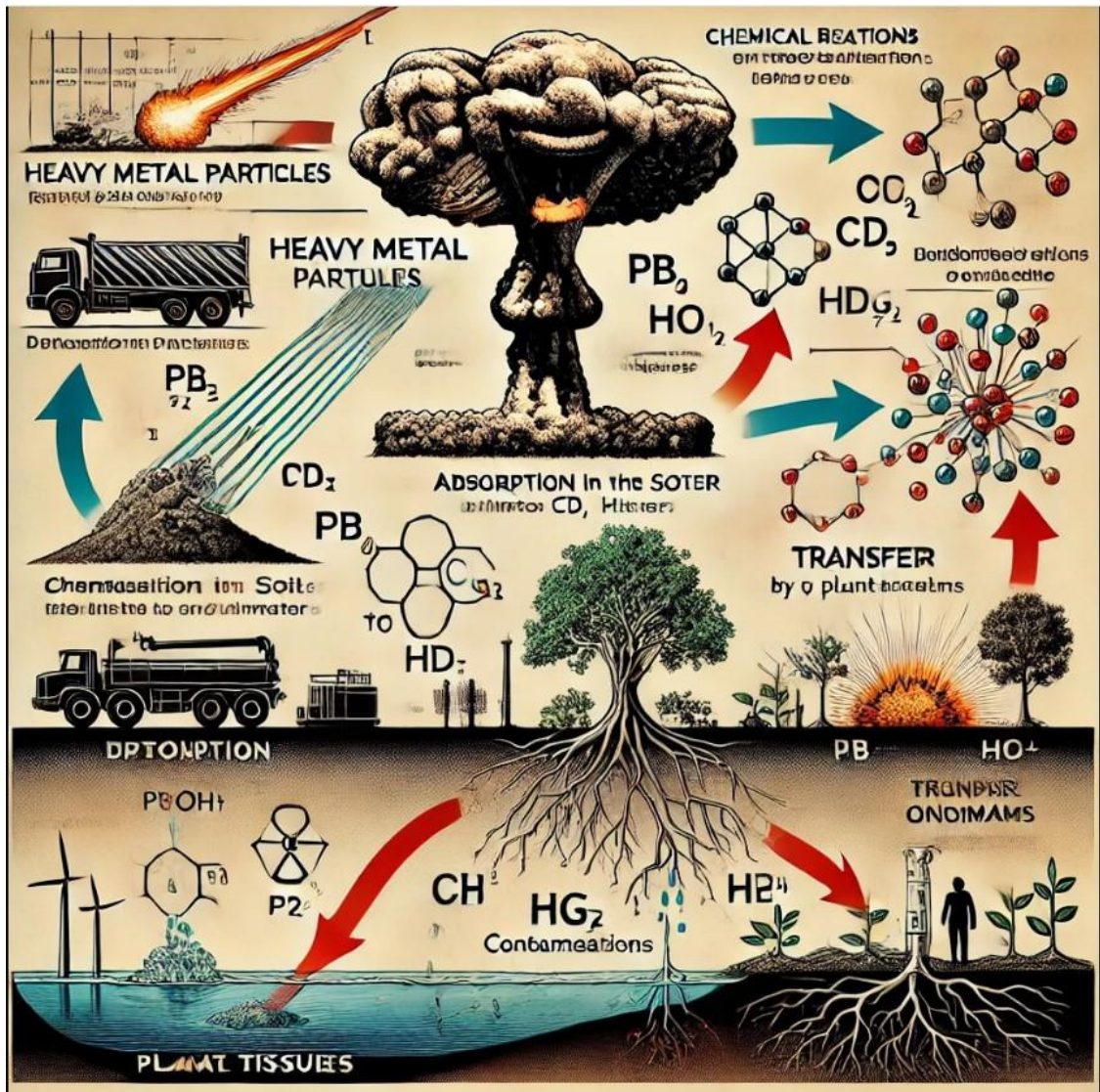


Рисунок 1.4 – Рух важких металів і хімічні реакції в різних середовищах (грунт, вода, рослини, тварини)

Рослинний покрив на ґрунтовій поверхні, що зазнали воєнно-техногенного впливу, відіграє важливу роль у зменшенні рухливості вибухових речовин і важких металів. Рослинність може зменшувати міграцію цих речовин до підземних вод.

Зокрема, для цих цілей доцільно використовувувати багаторічні трави, наприклад міскантус, а також деревні види рослин, наприклад види роду верба (*Salix* sp.) або види роду тополя (*Populus* sp.) [15].

Серед сільськогосподарських культур найвищий рівень накопичення важких металів накопичується у листових овочах та силосних культурах, тоді

як найменша їх концентрація спостерігається в бобових, злакових і технічних культурах.

Надходження важких металів у рослини з ґрунту залежить від ряду чинників, таких як видові особливості рослин, тип ґрунту, концентрація та форма забруднюючих елементів, рН ґрунту, гранулометричний склад, вміст органічної речовини, ємність катіонного обміну ґрунту, а також наявність техногенних джерел забруднення ландшафтів.

При цьому рослини мають захисні механізми, що регулюють поглинання забруднювачів. Системи контролю надходження іонів, як правило, розміщені у коренях та репродуктивних органах (насінні й плодах). Дослідження міграції елементів-забруднювачів у рослини показують, що на початкових етапах їх надходження з ґрунту, більшість елементів затримується у кореневій системі (рисунок 1.5).

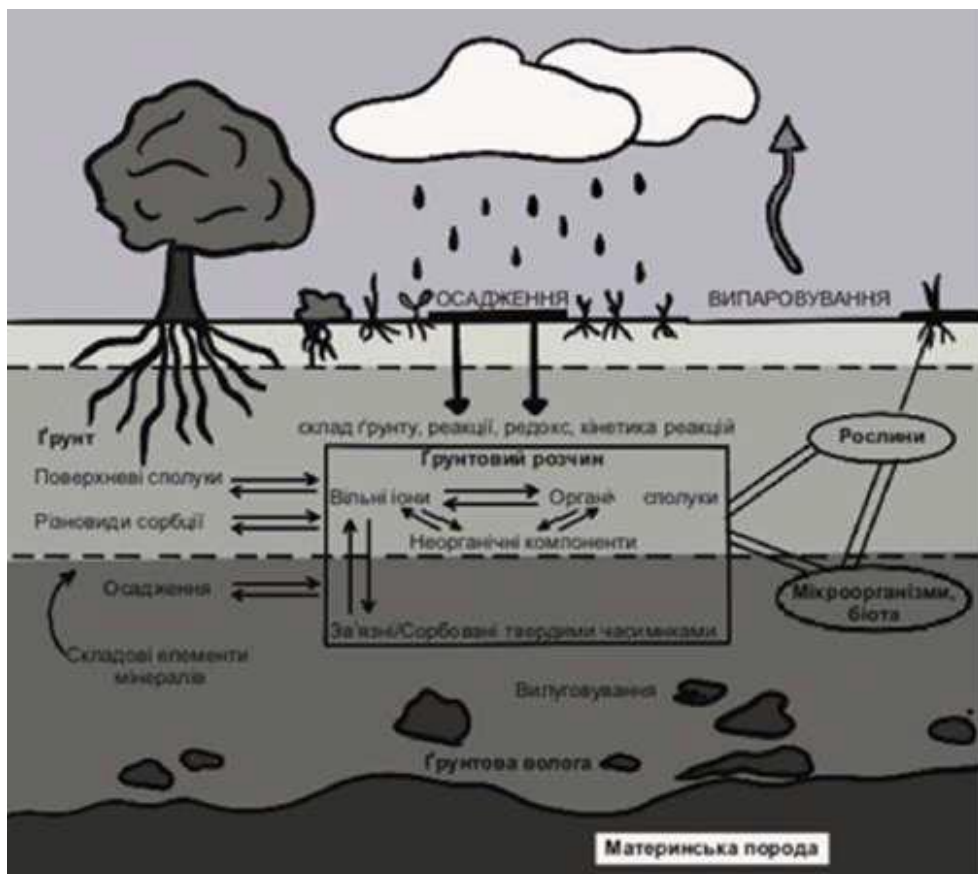


Рисунок 1.5 – Процеси міграції забруднювальних речовин у ґрунтах

Захисні механізми кореневої системи рослин мають обмежений потенціал, і при інтенсивному надходженні токсичних іонів з ґрунту вони не здатні повністю запобігти забрудненню вегетативної маси. В таких випадках забруднювачі проникають у різні надземні частини рослин.

Хімічний склад всіх рослин характеризується складом ґрунтів, на яких вони зростають, проте не відтворює його повністю тому, що рослини вибірково поглинають різні елементи відповідно своїх фізіологічних і біохімічних потреб. Механізми витримки рослин стосовно надходження важких металів різняться: деякі рослини можуть накопичувати високі концентрації металів і проявляти толерантність до них, тоді як інші мінімізують їхнє поглинання, використовуючи бар'єрні властивості. Рівень накопичення важких металів у рослинах залежить від їхніх генетичних та видових особливостей [16].

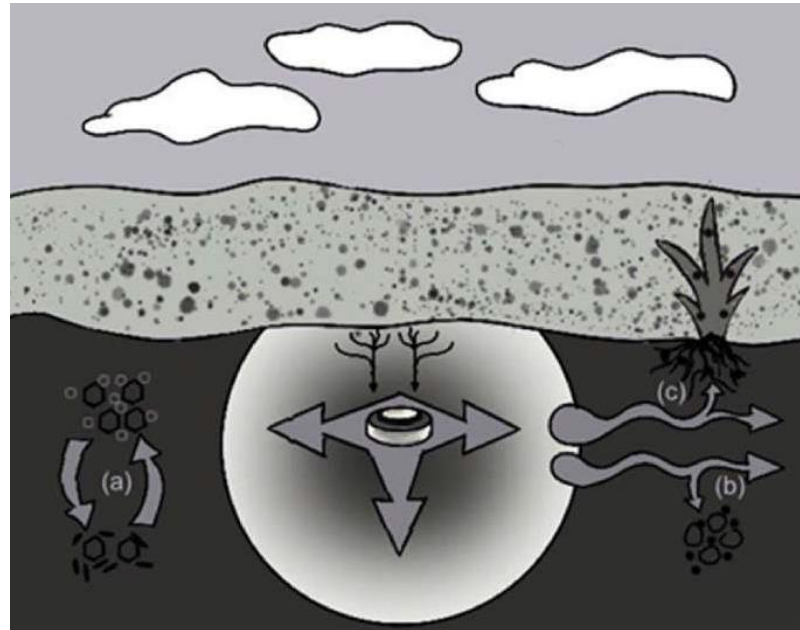
Ось наприклад, з сільськогосподарських культур найвища концентрація важких металів спостерігається в листових овочах та силосних культурах, тоді як мінімальний вміст – у бобових, злакових та технічних культурах [22].

Воєнно-техногенні забруднювачі, як правило, потрапляють у ґрунт у вигляді залишків або різних частинок внаслідок використання боєприпасів. Ці забруднювальні речовини розсіюються і осідають у різних частинах ґрунту, маючи різні рівні розчинності у воді та високу здатність проникати у перехідні шари ґрунту. Однак більшість таких сполук концентрується у верхньому (приповерхневому) шарі ґрунту, зазвичай до глибини 15 см. При контакті з ґрунтом вибухові сполуки поглинаються та адсорбуються його частинками, що залежить від хімічної структури цих речовин (рисунок 1.6).

Тривалість процесу сорбції визначається характеристиками самих сполук та умовами ґрунтового середовища [24].

Взаємодія між стратегією рослина-забруднювач розпочинається з адсорбції забруднювача, яке зазвичай відбувається через рідкий розчин, присутній у пористій матриці ґрунту. Ґрунтовий розчин, що містить сполуки

вибухових речовин, легко проникає в кореневу систему рослини без значних перешкод, особливо під час випаровування завдяки значному потоку води [25].



Центральна позначка показує нерозірвані боєприпаси, а колір за ним позначає дифузю забруднень. Вода позначена світлими стрілками, а присутність забруднювальних речовин за межами центральної зони дифузії позначена культивованими шестикутниками. Ділянка (А) представляє мікробну взаємодію та метаболізм, (В) сорбцію частинками ґрунту та (С) поглинання та секвестрацію надземними та підземними тканинами рослин

Рисунок 1.6 – Поведінка сполук вибухових речовин у ґрунтах [23]

Сполуки вибухонебезпечних речовин, потрапивши до коренів, вільно переміщуються між клітинними мембранами і з часом накопичуються в різних частинах рослини.

Деякі дослідження вказують на накопичення потенційно токсичних рівнів свинцю (Pb), міді (Cu) та нікелю (Ni) у кормових рослинах, що зростають на колишніх військових полігонах у Швейцарії [13].

Території Косова, які зазнали інтенсивного обстрілу снарядами зі збідненим ураном, продовжують характеризуватися підвищеним накопиченням урану в лишайниках [15].

Тротил і його трансформаційні продукти є надзвичайно токсичними для ґрунтової фауни, впливаючи на різні види по-різному. Його присутність

може суттєво пригнічувати мікробну активність ґрунту, що негативно впливає на біогеохімічні цикли та родючість ґрунту [8].

Високі концентрації вуглеводнів, які часто присутні у військових забрудненнях, можуть викликати симптоми отруєння у дощових черв'яків, що свідчить про широкий спектр екотоксичних впливів.

Крім того, токсичні речовини з військових забруднень здатні мігрувати у водні системи. Наприклад, у прибережних районах Пуерто-Ріко було зафіксовано небезпечно високий рівень вибухових сполук, що вимиваються з боєприпасів, і накопичення токсичних речовин внаслідок військових навчань. Дослідження морських і наземних рослин у цьому регіоні показали високі концентрації свинцю, що свідчить про розсіювання забруднень і біоаккумуляцію токсичних речовин у морському харчовому ланцюзі [7].

Незважаючи на обмежену кількість досліджень щодо впливу воєнно-техногенних забруднень, вже існують переконливі докази їх негативного впливу на здоров'я населення. Високі концентрації важких металів, що потрапляють в організм людини, викликають серйозні порушення в діяльності центральної та периферичної нервової системи, системи кровотворення, а також ендокринної системи [26].

Деякі хімічні елементи, що містяться в цих забрудненнях, можуть сприяти розвитку атеросклерозу, злоякісних новоутворень і порушень спадкової інформації. Через це епідеміологічний моніторинг є важливим інструментом для оцінки впливу на здоров'я і повинен бути невід'ємною частиною комплексної програми дослідження територій і ґрунту зокрема, що зазнали воєнно-техногенних впливів.

1.2 Закордонний досвід відновлення ґрунтового покриву в результаті військової діяльності

Відновлення ґрунтового покриву, що зазнав впливу військових дій, є складним і тривалим процесом, який потребує значних матеріальних та

людських ресурсів, а також застосування комплексних підходів. Держави, які постраждали внаслідок збройних конфліктів, розробляли та впроваджували різноманітні стратегії для відновлення ґрунтів, екологічних систем та сільськогосподарських угідь. Нижче наведено приклади досвіду різних країн у сфері відновлення земель після військових конфліктів.

Франція. Під час Першої світової війни Франція зазнала значних змін у ґрунтово-рослинному покриві, оскільки основні бойові дії на Західному фронті відбувалися саме на її території. Ґрунти часто забруднювалися важкими металами, такими як мідь (Cu) та свинець (Pb), а також нерозірваними боєприпасами [27].

Однією з перших організацій, яка зайнялася відновленням сільськогосподарських земель на постраждалих територіях, була Служба з відновлення Західної Фландрії. Ця служба надавала консультації місцевим фермерам та сприяла реабілітації орних земель. Крім того, процесом відновлення частково займалися як національні, так і міжнародні некомерційні організації. Одним із найвідоміших прикладів є Комітет зруйнованої Франції (Comité Américain pour les Régions Dévastées), який не тільки сприяв соціальній реконструкції села в Єні, але й забезпечував фермерів сільськогосподарським інвентарем, насінням та худобою [28].

Протягом десятиліть після завершення війни більша частина колишньої прифронтової зони була успішно відновлена: ліси були заново висаджені, а сільськогосподарські угіддя повернуті в обробіток. Однак винятком залишалася так звана «червона зона» (Zone Rouge), що простягалася від Лілля на півночі Франції до південного заходу від Нансі. Уряд Франції оголосив цю територію непридатною для проживання через хімічне забруднення та наявність нерозірваних боєприпасів [29]. Це були ділянки, де вартість меліоративних робіт перевищувала економічну цінність землі, тому перевага була надана лісонасадженням.

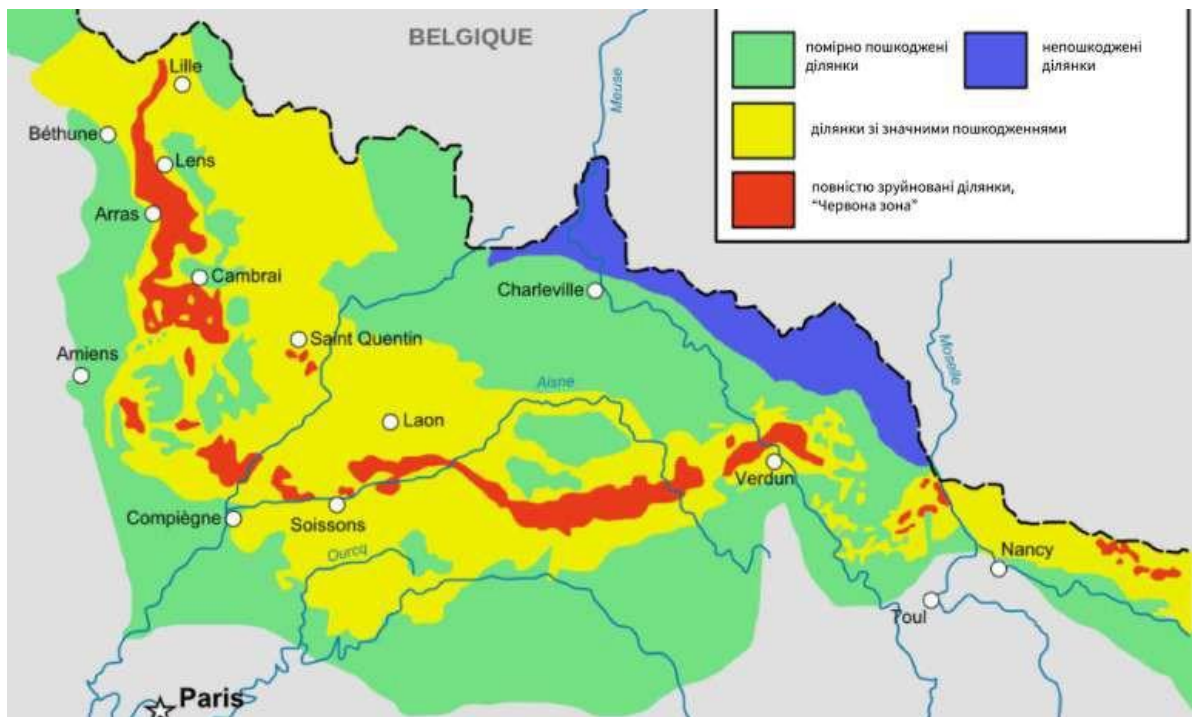
Основною метою зонування поствоєнних територій було оцінювання можливості їхнього повернення до нормальної економічної діяльності. Окрім

критеріїв безпеки, додавалися також економічні міркування: вартість окремих земель була надто низькою для проведення робіт із розмінування, враховуючи високі витрати на такі заходи.

До 1919 року Міністерство звільнених територій Франції класифікувало постраждалі від війни землі на три категорії залежно від рівня руйнувань:

- «зелені зони», які зазнали мінімальних пошкоджень;
- «жовті зони», що мали значні, але обмежені пошкодження;
- «червоні зони», найближчі до колишніх ліній фронту, які були повністю знищені (рисунок 1.7).

Ця класифікація відображала ступінь впливу військових дій на території та слугувала основою для визначення пріоритетів у відновлювальних роботах.



Повністю зруйновані території червоним кольором, зони великих руйнувань жовтим, помірно пошкоджені території зеленим, непошкоджені території синім кольором

Рисунок 1.7 – Зонування повоєнних територій Франції

Зелені та жовті зони були відносно рано повернуті до цивільного використання, оскільки вони зазнали менших пошкоджень. Водночас червоні зони мали високий рівень порушення ландшафту, що ускладнювало їхнє відновлення. У таких зонах проводили лише поверхневе очищення, і здебільшого ці території були законсервовані. За оцінками французької служби Securite Civile, яка відповідає за відновлення земель, з нинішніми темпами для повного очищення всіх залишків снарядів і гранат часів Першої світової війни може знадобитися до 700 років [30].

Велика Британія. Велика Британія стикнулася із забрудненням територій воєнно-техногенними речовинами, що стало наслідком численних авіаударів та використання різноманітних озброєнь під час Другої світової війни. Це вплинуло на формування політики, за якою відповідальність за забруднення земель покладається не на військових, а на власників цих територій. Місцеві органи влади часто співпрацюють із землевласниками, розділяючи відповідальність за відновлення земель.

Система управління повоєнними територіями у Великій Британії переважно перекладає відповідальність на цивільних власників земель. У рамках цієї регуляторної стратегії країна не запроваджує спеціальних нормативних актів для управління такими територіями та не встановлює офіційних кількісних стандартів для екологічної чи геохімічної оцінки. Незважаючи на відсутність детальних інструкцій щодо поводження з забрудненими воєнно-техногенними речовинами, Міністерство оборони використовує регламентований підхід до кількісної оцінки ризиків, пов'язаних із забрудненням земель [27].

Міністерство оборони Великої Британії використовувало систему оцінки якості землі, яка включає декілька етапів: початкову стратегічну оцінку та встановлення пріоритетів, польові та камеральні дослідження, детальне обстеження ділянок, оцінку можливих варіантів дій, а також врахування реакції місцевих органів влади. Незважаючи на те, що відповідальність за відновлення повоєнних територій розподіляється між

землевласниками та Міністерством оборони, досі не розроблено ефективної методики, яка б чітко визначала заходи з відновлення цих земель [11].

Німеччина. У Німеччині більшість територій, що зазнали впливу воєнно-техногенних речовин, розташовані на численних ділянках по всій країні. Політика Німеччини щодо цих земель передбачає, що всі колишні військові полігони мають бути обов'язково досліджені та, за необхідності, відновлені перед їх використанням у цивільних цілях.

Після 1991 року покинуті військові об'єкти були передані у власність уряду, і саме він несе відповідальність за більшість забруднених земель. Однак, ці території часто не очищалися від нерозірваних боєприпасів, тому ступінь забруднення через мінування залишається недостатньо дослідженим на багатьох колишніх полігонах. Якщо уряд Німеччини продає ці землі для подальшого відновлення, нові власники стають відповідальними за проведення відновлювальних заходів [12].

Військові об'єкти вважаються потенційно забрудненими до тих пір, поки дослідження не підтвердять відсутність загроз для навколишнього середовища чи населення. У такому разі територія підпадає під дію екологічних законів та стандартів тієї федеральної землі, на якій вона розташована. Німеччина має національні нормативні акти, які регулюють процеси відновлення забруднених ділянок [23].

Жодна країна, окрім Німеччини, не має офіційно затвердженої поетапної процедури еколого-геохімічної оцінки повоєнних територій. Німецький підхід, заснований на принципі небезпеки (ретроспективний), спрямований на ідентифікацію токсичних речовин та прогнозування їхньої поведінки з метою мінімізації ризиків. У рамках цього процесу здійснюється додаткова оцінка запобіжних заходів шляхом систематизованого аналізу характеристик забруднювальних речовин.

Протягом багатьох років досліджень було розроблено кілька моделей оцінки ризику, які застосовувалися для оцінки територій, що зазнали впливу воєнно-техногенних забруднень. Ці моделі забезпечують підсумкове

значення, яке використовується для визначення пріоритетів відновлення територій залежно від рівня ризику для населення та навколишнього середовища. Однак, попри кількісний характер цих оцінок, пріоритетність реабілітації забруднених територій залежить також від інших факторів, зокрема регіонального планування, процесів приватизації, вимог органів влади та політичних рішень.

В'єтнам. Під час В'єтнамської війни, що тривала з 1960 року по 1970 роки, територія країни зазнала значного забруднення через використання агента «Оранж», токсичної речовини, що містила діоксини. Ці сполуки призвели до серйозного забруднення ґрунтів і вод, а також завдали значної шкоди місцевій флорі та фауні.

Для відновлення ґрунтового покриву у В'єтнамі застосовували біоремедіацію, яка передбачає використання рослин (фітотехнології) для поглинання токсичних речовин із ґрунту. Наприклад, фіторемедіація реалізовувалася шляхом використання деяких місцевих видів рослин для зниження концентрацій діоксинів у забруднених територіях.

Крім очищення, уряд В'єтнаму та міжнародні організації також вжили заходів для заліснення пошкоджених територій, що сприяло відновленню екосистеми та покращенню стану довкілля.

Косово. Конфлікт у Косово 1999 року призвів до значного забруднення земель, зокрема внаслідок використання боєприпасів зі збідненим ураном. Це викликало екологічну кризу, оскільки токсичні метали накопичувалися в ґрунтах і водних ресурсах.

Першим етапом відновлення було вилучення залишків нерозірваних боєприпасів та інших військових відходів. Подальші заходи включали використання технологій очищення ґрунту від важких металів і токсичних речовин, зокрема через фіторемедіацію. Крім того, вжито заходів для проведення довгострокового епідеміологічного моніторингу в регіонах, що постраждали від використання збідненого урану, з метою оцінки впливу цього забруднення на здоров'я населення.

Ірак (наслідки війни 2003 року). Після конфлікту в Іраку значні території були забруднені важкими металами та вибуховими речовинами. Особливий вплив на ґрунти мали залишки боєприпасів, включаючи уранові снаряди.

Проводилася рекультивація територій із вилученням забруднених шарів ґрунту з подальшою їх утилізацією. Також застосовували фітореMediaцію та біореMediaцію – використання рослин для поглинання важких металів та інших забруднювачів.

Для захисту здоров'я населення та екосистем проводилися заходи з біологічного бар'єру, включаючи заліснення.

Боснія і Герцеговина (наслідки війни з 1992 року по 1995 рік). Після розпаду Югославії, Боснія і Герцеговина залишилася однією з найбільш замінованих країн у світі. Велика кількість мін і невибухлих боєприпасів забруднила значні площі сільськогосподарських угідь та лісових масивів.

Основним заходом була кампанія з розмінування, яка охопила значні території. Ці програми тривали десятиліттями і фінансувалися як урядом, так і міжнародними організаціями. Після розмінування були впроваджені заходи з відновлення земель для подальшого використання в сільському господарстві.

Після очищення територій уряд сприяв поверненню фермерів на ці землі для відновлення аграрного виробництва.

Сполучені Штати Америки. У Сполучених Штатах Америки землі, забруднені речовинами воєнно-техногенного походження, підпорядковуються Міністерству оборони, яке несе відповідальність за їхнє відновлення. Ці території не можуть бути передані в оренду, поки не буде проведено дослідження, що підтверджує можливість їх використання за призначенням. Водночас території колишнього воєнно-техногенного впливу, за використання яких відповідають місцеві органи влади, можуть самостійно ініціювати процес їх відновлення [27].

Міністерство оборони США управляє приблизно 1400 військовими об'єктами загальною площею близько 10 мільйонів акрів. Визнаючи важливість військових об'єктів у збереженні біорізноманіття, США розпочали процес реабілітації колишніх військових полігонів з метою їх перетворення на природні заповідники [18].

Станом на 2014 рік для 15 із цих територій було розроблено програми, що сприяють просуванню та збереженню біорізноманіття.

Відповідно до чинного законодавства, відповідальні органи повинні розробити план землекористування, затвердити тип власності, конкретне використання земельної ділянки, а також дотриматися вимог щодо «чистих територій», які має виконати уряд США перед введенням землі в експлуатацію. Для продажу або оренди землі під певний вид використання Міністерство оборони зобов'язане провести оцінку ризиків для визначення відповідних заходів з відновлення залежно від типу та рівня забруднення [19].

Країни колишньої Югославії. На території колишньої республіки Югославії (Південно-східна Європа) у період з 1991 року по 2001 роки відбулися численні збройні конфлікти, які завдали значної шкоди навколишньому середовищу. Це призвело до забруднення поверхневих і підземних вод, ґрунтів та повітря на Балканах понад 100 токсичними речовинами. Однією з основних проблем післявоєнного відновлення країн, охоплених війною, стала інституційна неспроможність, зокрема у вирішенні екологічних питань [8].

Суттєвою загрозою було те, що системи управління навколишнім середовищем були настільки порушені, що унеможливлювали ефективно вирішення екологічних проблем, які виникли після війни. Інституційна неспроможність могла загострити екологічні «афтершоки» після конфлікту, ускладнюючи процес відновлення та створення стійкої екологічної інфраструктури в регіоні.

На момент завершення конфлікту більшість країн, зокрема Албанія, Македонія та Румунія, мали недостатні засоби та ресурси для ефективного моніторингу екологічних наслідків війни. Це призвело до неможливості адекватно оцінити екологічні збитки, що, в свою чергу, ускладнювало підготовку належних планів їх вирішення.

Зменшення діяльності неурядових організацій (НУО) у Югославії, викликане нестачею ресурсів та політичними реаліями, призвело до припинення їх транскордонної діяльності. Відсутність дієздатних НУО загрожувала недостатнім залученням громадськості до процесів ухвалення рішень та планування в сфері охорони навколишнього середовища. Наприклад, у Косово міжнародні організації паралельно працювали над однаковими проблемами в різних сферах, але без залучення місцевих громад, що обмежувало ефективність їхніх ініціатив [11].

Крім того, неурядові організації не могли ефективно сприяти вирішенню екологічних проблем у тих регіонах, де офіційна влада не мала можливості активно залучатися до цих процесів.

На міжнародному рівні управління основними програмами допомоги Європейського Союзу в Республіці Сербія (включаючи Косово), Республіці Чорногорія та Північній Македонії здійснювалося Європейським агентством з реконструкції, яке виступало як основний орган ЄС з відновлення територій, зруйнованих війною (дія мандату завершилася у 2008 році) [30].

Одним із ключових напрямків реалізації цих програм стало питання охорони навколишнього середовища. Екологічні питання також вирішувалися в рамках інших секторів, таких як розвиток сільських територій, управління водними ресурсами та інфраструктурні проекти.

Відновлення земель після військових конфліктів вимагає застосування комплексних підходів, включаючи розмінування, очищення забруднених територій, використання біологічних методів реабілітації та довгостроковий моніторинг здоров'я населення і стану довкілля. Ці стратегії часто

супроводжуються міжнародною співпрацею та фінансовою підтримкою з боку урядів і міжнародних організацій.

1.3 Сучасні підходи в дослідженнях та прогнозуванні стану ґрунтів

З поміж найнебезпечніших важких металів серед впливу на живі організми виокремлюють свинець, кадмій, ртуть, миш'як та фтор. На відміну від деяких інших забруднювачів, таких як діючі речовини пестицидів, важкі метали не піддаються природному розкладанню в ґрунті. Потрапляючи до живих організмів, вони накопичуються і негативно впливають на їхній загальний стан, що робить їхнє знешкодження у ґрунті особливо актуальним.

Згідно з даними Міністерства аграрної політики України на кінець січня 2023 року, близько 25 % земельних площ України неможливо використовувати через бойові дії. Кожен снаряд, міна або авіабомба, що застосовуються на цих територіях, є потенційним джерелом важких металів, які забруднюють ґрунт.

Інститут охорони ґрунтів України дослідивши вплив підвищеного вмісту важких металів у ґрунтовому покриві Сумської області як у зонах бойових дій, так і за їхніми межами. Результати показали, що концентрація свинцю в ґрунті в зонах бойових дій зросла у середньому на 437,4 % (з 20,63 мг/кг до 110,88 мг/кг ґрунту), а вміст кадмію – на 44,7 % (з 0,52 мг/кг до 0,76 мг/кг ґрунту).

Після звільнення окупованих земель, перемоги і завершення розмінування територій, критично важливим буде відновлення придатності ґрунтів для сільського господарства. Забруднення важкими металами та іншими токсичними речовинами вимагає комплексного підходу для очищення й реабілітації цих територій.

Існує дві основні стратегії знезараження ґрунту:

– фізичне знезараження – промивання ґрунту і вилучення парів з ґрунту. До переваг належить те, що ця стратегія підходить для різних

органічних і неорганічних забруднювачів. Серед основних недоліків – висока вартість, неефективність для DNAPL (щільні рідини без водної фази), таких як залишки нафти;

– біоремедіація – використання мікроорганізмів, рослин або гумусовмісних речовин (гумат калію) для детоксикації забруднених ділянок. Мікроорганізми або рослини руйнують та перетворюють забруднювачі у безпечні речовини. До переваг належить те, що природний процес, з часом може повністю відновити ґрунт без шкоди для навколишнього середовища. Серед основних недоліків – тривалий період реабілітації.

Продукти на основі гумінових кислот (гумати) є ефективним компонентом біоремедіації. Вони підвищують швидкість деградації важких металів, активуючи природні процеси самоочищення ґрунту, тим самим сприяючи відновленню родючості земель.

Комплексне використання фізичних і біологічних методів може стати основою для реабілітації сільськогосподарських площ, забруднених під час бойових дій.

Гумінові речовини мають надзвичайно важливу роль у регулюванні властивостей ґрунту і можуть сприяти його оздоровленню після забруднення важкими металами. Ось кілька ключових аспектів їх дії:

– оптимізація температурного режиму ґрунту. Гумінові речовини надають ґрунту більш темного забарвлення, що сприяє поглинанню сонячних променів і підвищенню температури. Це створює сприятливі умови для активної життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів, а також стимулює проростання та розвиток рослин на ранніх стадіях;

– збереження і доступність поживних речовин. Гумати здатні зв'язувати поживні елементи, утримуючи їх у ґрунті й роблячи доступними для рослин протягом тривалого періоду. Це особливо важливо для сільського господарства на відновлюваних землях;

– нейтралізація важких металів і радіонуклідів. Гумати мають велику кількість карбоксильних та гідроксильних груп, які здатні утворювати

нерозчинні комплекси з важкими металами, такими як свинець, кадмій, миш'як, і радіонуклідами. Цей механізм нейтралізації допомагає забруднюючим речовинам стати менш доступними для біосфери, зменшуючи їх токсичний вплив на рослини та живі організми.

Таким чином, гумінові речовини виступають не лише як поліпшувачі родючості, але й як природні агенти для знезараження ґрунту, допомагаючи зменшити вплив важких металів і покращити екологічний стан ґрунтів після війни.

Дані досліджень «Коледжу ресурсів, навколишнього середовища та матеріалів Гуансі», що у Китаї в 2019 році показали вплив гумінової кислоти (гумату) на ґрунти. Вони свідчать про те, що різні дози гумінової кислоти можуть впливати на властивості ґрунту, а також на його здатність до фітореMediaції та поглинання важких металів (рисунок 1.8).

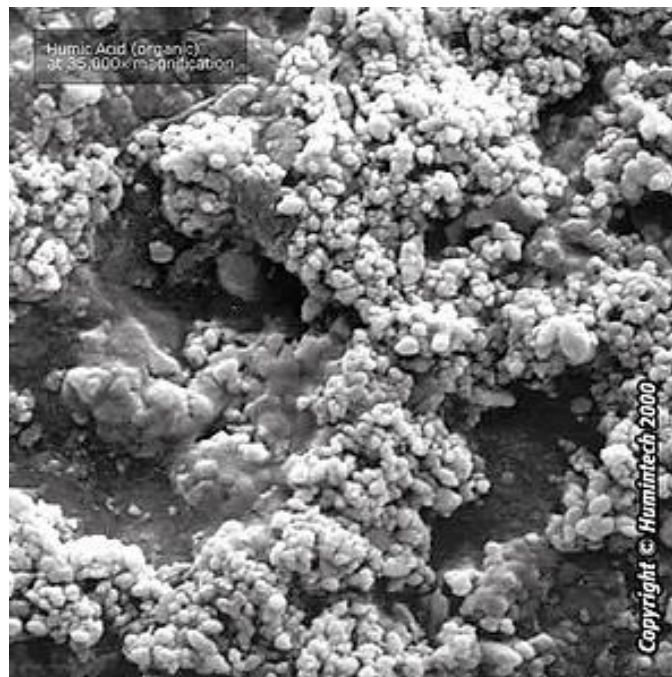


Рисунок 1.8 – Гумінова кислота (гумат) при 35 тисячному збільшенні
(Copyright © Humintech 2000)

Три варіанти дослідження з внесенням гумінової кислоти у ґрунт із різними дозами:

– варіант 1 – 6,4 кг/га. Найнижча доза гумінової кислоти. Це мінімальна кількість, яка, ймовірно, забезпечує базове покращення структури ґрунту та зменшення токсичних елементів;

– варіант 2 – 10,3 кг/га. Середня доза. У цьому варіанті очікується, що ґрунт почне проявляти вираженіші зміни, включно з поліпшенням здатності до зв'язування важких металів і підвищенням доступності поживних речовин;

– варіант 3 – 14,8 кг/га. Найвища доза. Цей варіант, швидше за все, покаже максимальний ефект на поглинання токсичних металів і стабілізацію ґрунту, а також найбільший вплив на поліпшення умов для росту рослин і активацію ґрунтових мікроорганізмів.

Значення таких досліджень полягає в тому, що вони дозволяють визначити оптимальну дозу гумінових кислот для відновлення ґрунтів, забруднених важкими металами, а також для підвищення їх продуктивності в сільському господарстві після воєнно-техногенних впливів.

Внесення гумінової кислоти, як показали дослідження з тютюном, суттєво знижує концентрацію важких металів у рослинах, зокрема кадмію (Cd) і свинцю (Pb). Триетапне внесення гумінової кислоти (гумату) із нормою 14,8 кг/га виявилось найефективнішим, зменшивши доступність важких металів для рослин на 37 % для кадмію та на 39 % для свинцю.

Ці результати свідчать про значний потенціал гуматів для:

– детоксикації ґрунтів. Гумінові кислоти ефективно зв'язують важкі метали, зменшуючи їхню рухомість і доступність для рослин;

– поліпшення стану рослин. Менша концентрація токсичних речовин в ґрунті сприяє кращому росту і розвитку рослин, а також їхньому здоров'ю.

Цей метод можна розглядати як перспективний інструмент для реабілітації земель, забруднених важкими металами, що є особливо актуальним в умовах відновлення сільськогосподарських площ після воєнних дій.

Технології німецької компанії Humintech, розроблені ще в 1970 роках для відновлення земель, забруднених видобуванням вугілля, можуть бути ефективно застосовані для відновлення родючості українських ґрунтів, які постраждали внаслідок бойових дій. Спільно з Інститутом рослинництва в Боннському університеті Humintech створила продукт на основі сильно окисленого бурого вугілля, який виступає як кондиціонер та збагачувач ґрунту. Його застосування допомагає знижувати концентрацію важких металів, таких як свинець та кадмій, і покращує загальний стан ґрунтів.

Основні продукти Humintech для рекультивації:

- Гуміфілд в.г. (гумат калію). Норма внесення варіюється від 2 кг/га до 8 кг/га, залежно від рівня забруднення;
- Гуміфілд ВР-18 в.с. (гумат калію). Норма внесення – від 8 л/га до 32 л/га.

При багатократному внесенні рекомендується розділити застосування на 3 або 4 етапи, що дозволяє краще проникати в ґрунт і ефективніше зв'язувати важкі метали.

Змішування з ґрунтом. Після внесення продукту важливо здійснити перемішування ґрунту шляхом дискування або оранки.

Ці технології можуть суттєво допомогти Україні не лише очистити забруднені землі, але й відновити їхню родючість, забезпечуючи можливість подальшого сільськогосподарського використання.

Застосування препаратів Гуміфілд в.г. або Гуміфілд ВР-18 в.с. є дійсно ефективним, екологічно чистим і доступним способом рекультивації деградованих та забруднених ґрунтів. Основним компонентом цих препаратів є гумінові кислоти, які мають низку важливих властивостей для відновлення ґрунту:

- нетоксичність і безпечність. Гумінові кислоти є природними речовинами, що не несуть загрози для навколишнього середовища або живих організмів;

- повільний розклад. Гумінові кислоти довго залишаються в ґрунті, забезпечуючи тривалу дію, що сприяє стабільному відновленню ґрунтових властивостей;
- низька потреба в кисні. Це дозволяє ефективно діяти навіть у важких умовах ґрунтів із низьким вмістом кисню;
- фіксація і адсорбція токсичних речовин. Гумати можуть зв'язувати ксенобіотики (чужорідні хімічні сполуки) і важкі метали, тим самим знижуючи їхню токсичність та біодоступність для рослин.

Таким чином, ці препарати є потужним інструментом для екологічного відновлення ґрунтів, що постраждали внаслідок техногенних або воєнних впливів, і можуть допомогти суттєво покращити умови для сільськогосподарського використання таких земель.

З 24 лютого 2022 року на території України тривають повномасштабні бойові дії, що призвели до пошкодження ґрунтового покриву. Військові дії спричиняють комплекс механічних, фізичних та хімічних впливів на ґрунтовий покрив, що призводить до порушення структури й функціонування екосистеми ґрунту та втрати її фізико-геохімічних властивостей.

Держави, які постраждали внаслідок збройних конфліктів, розробляють і впроваджують стратегії для відновлення ґрунтів з метою забезпечення екологічної стабільності та продовольчої безпеки. Загалом ці стратегії включають:

- дослідження і оцінка ґрунтових ресурсів. Першим кроком є детальна оцінка стану ґрунтів, щоб визначити рівень деградації та ступінь забруднення, спричинений бойовими діями. Використання геоінформаційних систем (ГІС) та дистанційного зондування допомагає виявляти зони з найбільшим рівнем пошкодження;
- видалення забруднюючих речовин та міно очищення. Забруднення ґрунтів важкими металами, хімічними речовинами, а також наявність мін і вибухових залишків є серйозними проблемами. Тому

здійснюються заходи з очищення територій від залишків боєприпасів і токсичних речовин;

- відновлення ґрунтів через рекультивацію та біоремедіацію. Цей процес включає використання спеціальних технологій для покращення якості ґрунту. Наприклад, біоремедіація за допомогою мікроорганізмів та рослин допомагає відновити природну родючість ґрунтів та зменшити забруднення;

- посадка дерев та рослин. Відновлення рослинного покриву є важливим етапом у реабілітації ґрунтів. Лісові посадки та використання багаторічних рослин допомагають відновити біорізноманіття, зміцнити структуру ґрунту та запобігти ерозії;

- навчання та залучення місцевих громад. Участь громадян у відновленні ґрунтів є важливою частиною стратегії. Залучення населення до навчальних програм і практичних заходів із відновлення ґрунтів забезпечує сталий підхід та підвищує обізнаність щодо охорони довкілля;

- фінансування та міжнародна підтримка. Багато держав отримують міжнародну допомогу для реалізації проектів з відновлення ґрунтів. Це включає фінансування від міжнародних організацій, таких як ООН, Європейський Союз, і різноманітні неурядові організації.

Такі стратегії є багатосторонніми та довгостроковими, оскільки відновлення ґрунтів потребує значного часу та ресурсів, а також постійної підтримки з боку держави і міжнародної спільноти.

Окрім того, нині доведено, що препарати Гуміфілд в.г. або Гуміфілд ВР-18 в.с. є потужним інструментом для екологічного відновлення ґрунтів, що постраждали внаслідок техногенних або воєнних впливів, і можуть допомогти суттєво покращити умови для сільськогосподарського використання таких земель.

2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкти дослідження

Об'єктами дослідження у кваліфікаційній роботі були: ґрунтовий покрив Хмельницької області, а саме основні типи ґрунтів характерні для регіону; хімічні забруднювачі, зокрема важкі метали (Pb, Cd, Hg, Co, Zn, Cu, Ni, Mn, Cr, As) та залізо (Fe); джерела забруднення, а саме наслідки військових дій (вибухові речовини, залишки безпілотних літальних апаратів, ракет); міграційні процеси забруднювачів, зокрема рух токсичних речовин у ґрунтовому профілі; біологічні об'єкти а саме рослинні екосистеми, які контактують із забрудненими ґрунтами; антропогенний вплив, зокрема сільськогосподарська діяльність у зоні дослідження та можливість зміни в землекористуванні через військові дії.

Загалом земельний фонд Хмельницької області охоплює 2062,9 тисяч гектарів, з яких 75,9 % складають сільськогосподарські угіддя. Серед них рілля займає 60,8 %, перелоги – 0,02 %, багаторічні насадження – 2,02 %, а сіножаті та пасовища – 13,1 %. Іншу частину території займають ліси, поверхневі води, населені пункти, промислові об'єкти та інфраструктура.

Ґрунтовий покрив Хмельницької області характеризуються високою продуктивністю, зокрема, переважають типові чорноземи, утворені на різних підстилаючих породах і різного ступеня еродованості. Найбільш родючими є чорноземи опідзолені та темно-сірі опідзолені, які займають 514,4 тисяч гектарів (32,8 %), а також ясно-сірі та сірі опідзолені ґрунти, що поширені на 274,7 тисяч гектарів (17,5 %) території.

На території Хмельницької області станом на початок 2024 року налічується 2764,11 га порушених земель.

2.2 Методи дослідження

При виконання кваліфікаційної роботи використовували теоретичні та експериментальні методи досліджень.

Аналіз літературних джерел включав вивчення наукових публікацій, досліджень, нормативних документів та звітів, присвячених оцінці якості ґрунтів, їх забрудненню та методам прогнозування, з акцентом на умови воєнного стану.

При польових дослідженнях проводився відбір проб ґрунту з різних ділянок Хмельницької області, зокрема в зонах підвищеного ризику забруднення (поблизу військових об'єктів, об'єктів критичної інфраструктури). Маршрутні дослідження здійснювали для визначення основних точок відбору проб та оцінки просторового розподілу забруднення.

Фізико-хімічний аналіз ґрунтів проводили для визначення вмісту важких металів, спектральний аналіз для визначення концентрацій важких металів. Хімічні аналізи проводили у лабораторії приватного підприємства «Незалежний центр лабораторних досліджень «Еталон»», місто Хмельницький.

Вміст рухомих сполук свинцю, в ґрунті визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.9:2007 Якість ґрунту). Вміст рухомих сполук кобальту в ґрунті визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.5:2007 Якість ґрунту). Вміст рухомих сполук кадмію в ґрунті визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.3:2007 Якість ґрунту). Вміст рухомих сполук міді в ґрунті визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.6:2007 Якість ґрунту). Вміст рухомих сполук цинку в ґрунті визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.2:2007 Якість ґрунту). Вміст рухомих сполук нікелю в ґрунті визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії" (ДСТУ 4770.7:2007 Якість ґрунту). Вміст рухомих сполук заліза в ґрунті визначали методом атомно-абсорбційної

спектрофотометрії (ДСТУ 4770.4:2007 Якість ґрунту). Вміст рухомих сполук марганцю в ґрунті визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.1:2007 Якість ґрунту). Вміст рухомих сполук хрому в ґрунті визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.8:2007 Якість ґрунту). Підготовку для вимірювання в ґрунті ртуті і миш'яку проводили за ДСТУ ISO 11466:2001, а концентрацію визначали цих елементів у ґрунті за ДСТУ ISO 16772:2005.

Використання методів статистичного аналізу проводили для обробки даних лабораторних досліджень та виявлення статистично значущих відмінностей між рівнями забруднення різних територій.

Проводили опитування та інтерв'ю з фахівцями в галузі екології, ґрунтознавства, агрономії для отримання експертних оцінок щодо стану ґрунтів та можливих ризиків для агроєкосистем.

Постановка експерименту та статистична обробка експериментальних даних проводили відповідно до методів математичної статистики за допомогою комплексних програм Microsoft 365 на персональному комп'ютері.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Результати хімічного аналізу ґрунтів Хмельницької області внаслідок військових дій

У Хмельницькій області найвагомішим результатом військових дій є падіння безпілотників типу «Shahed-136» та крилатих ракет різного типу і траплялося це у таких громадах:

– Славутська міська об'єднана територіальна громада – одна з найбільш постраждалих через атаки дронів. Зокрема, у жовтні 2024 року уламки збитих дронів спричинили пошкодження будівель, а також були випадки травмування людей.

– Старокостянтинівська міська громада – особливо часто стає ціллю через розташування військового аеродрому. Це одна з основних стратегічних цілей для російських ударів дронами, що пояснює регулярні спроби атак та падіння уламків у цьому районі (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Вирва після падіння безпілотного літального апарату поблизу Старокостянтинівської міської громади

– Хмельницька міська територіальна громада – також неодноразово потрапляла під удари російських безпілотників типу Shahed. Наприклад, у березні 2024 року був зафіксований приліт дронів «Shahed-136», що призвело до вибухів у місті Хмельницький. Під час атаки сили ППО збили кілька безпілотників, але уламки все ж впали на територію громади, спричинивши пожежі та пошкодження цивільної інфраструктури.

Ці громади стають мішенями через свою важливість як логістичні та військові об'єкти, а також через близькість до критичної інфраструктури області.

У результаті падіння безпілотних літальних апаратів та ракет на території області спостерігаються зсуви ґрунтів. Найбільш поширеним типом забруднення є кратерні вирви. Як наслідок, це призводить до хімічного забруднення і до засмічення цієї території розірваними чи нерозірваними боеприпасами.

Основними джерелами забруднення внаслідок військових дій є використання вибухових речовин, витоки нафтопродуктів та хімічних речовин тощо.

Дослідження з вивчення забруднення свинцем, кобальтом, кадмієм, міддю, цинком, нікелем, марганцю, хрому, миш'яку та ртуті в умовах техногенного забруднення ґрунтів важкими металами проводили на території Хмельницької області.

Проби ґрунту відібралися з місць падіння безпілотних літальних апаратів типу «Shahed-136» або крилатих ракет різного типу. Контрольні (фонові) проби ґрунту відбиралися з ділянок, що були поряд (за 100 м від вирви після вибуху), що характеризувалися таким же типом ґрунту.

Результати досліджень ґрунтів з місць падання безпілотних літальних апаратів на території Славутської міської об'єднаної територіальної громади відображені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Концентрація важких металів у ґрунті на території Славутської міської об'єднаної територіальної громади

Важкі метали	ГДК, мг/кг	Концентрація у місці вибуху, мг/кг	Концентрація поза зоною впливу вибуху (фонова), мг/кг	Відсоток до фонові концентрації, %
Свинець	6,0	3,20	2,300	139,13
Кобальт	5,0	0,01	0,01	100
Кадмій	0,7	0,50	0,32	156,25
Мідь	3,0	0,062	0,06	103,33
Цинк	23,0	0,32	0,32	100
Нікель	4,0	0,29	0,18	161,11
Марганець	140,0	9,95	9,50	104,74
Хром	0,05	0,05	0,03	166,67
Миш'як	2,0	0,11	0,09	122,22
Ртуть	2,1	1,03	0,15	686,67

Дані наведені у таблиці 3.1 показують, що концентрація важких металів в ґрунтах у місці вибухів на території Славутської міської об'єднаної територіальної громади не перевищує гранично допустимі концентрації.

Однак, варто зазначити, що у місці вибуху на території Славутської міської об'єднаної територіальної громади концентрації свинцю, кадмію, хрому і ртуті перевищують концентрацію цих металів на контрольній точці, перевищення становлять від 1,4 разів у свинцю до 6,87 разів у ртуті. Окрім того варто зазначити, що концентрація хрому знаходиться на рівні ГДК у місці вибуху і перевищує на 1,67 разів концентрацію на контрольній ділянці.

Результати досліджень ґрунтів з місць падання безпілотних літальних апаратів і крилатих ракет на території Старокостянтинівської міської громади відображені в таблиці 3.2 (рисунок 3.2).

Дані наведені у таблиці 3.2 свідчать, що у місцях вирв внаслідок падіння шахедів і крилатих ракет на території Старокостянтинівської міської громади є перевищення ГДК по таким важким металам, як свинець, кадмій, хром та ртуть. Найбільше перевищення ГДК виявлено у ґрунті з ртуті, більш як 1,63 рази, дещо менше у кадмію, а саме в 1,21 рази, в хрому – 1,2 рази, а у свинцю перевищення ГДК становить 1,08 рази.



Рисунок 3.2 – Відбирання проб ґрунту на місці падіння безпілотників типу «Shahed-136» (жовтень 2024 року)

Таблиця 3.2 – Концентрація важких металів у ґрунті на території Старокостянтинівської міської громади

Важкі метали	ГДК, мг/кг	Концентрація у місці вибуху, мг/кг	Концентрація поза зоною впливу вибуху, (фонова), мг/кг	Відсоток до фонові концентрації, %
Свинець	6,0	6,50	3,70	175,68
Кобальт	5,0	0,50	0,35	142,86
Кадмій	0,7	0,85	0,45	188,89
Мідь	3,0	0,33	0,29	113,80
Цинк	23,0	12,56	3,58	183,53
Нікель	4,0	1,56	0,85	350,84
Марганець	140,0	114,69	68,25	168,04
Хром	0,05	0,06	0,01	600,00
Миш'як	2,0	1,32	0,85	154,93
Ртуть	2,1	3,43	1,12	306,25

Окрім того, концентрація цинку і марганцю хоча й не перевищує нормативи ГДК, але значно перевищує концентрацію цих металів у

контрольній точці. Зокрема, у цинку це перевищення становить у 3,5 рази, а у марганцю в 1,7 рази.

Результати досліджень ґрунтів з місць падання безпілотних літальних апаратів і крилатих ракет на території Хмельницької міської територіальної громади наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Концентрація важких металів у ґрунті на території Хмельницької міської територіальної громади

Важкі метали	ГДК, мг/кг	Концентрація у місці вибуху, мг/кг	Концентрація поза зоною впливу вибуху, (фонова), мг/кг	Відсоток до фонові концентрації, %
Свинець	6,0	4,88	0,23	2121,74
Кобальт	5,0	0,15	0,14	107,14
Кадмій	0,7	0,04	0,041	97,57
Мідь	3,0	0,2	0,2	100
Цинк	23,0	3,6	2,9	124,14
Нікель	4,0	0,37	0,35	105,71
Марганець	140,0	51,90	51,00	101,76
Хром	0,05	0,01	0,01	100
Миш'як	2,0	0,88	0,12	
Ртуть	2,1	1,11	0,09	

Дані наведені у таблиці 3.3 показують, що концентрація важких металів в ґрунтах у місці вибухів на території Хмельницької міської територіальної громади не перевищує гранично допустимі концентрації.

Однак, у ґрунті є значні концентрації свинцю, марганцю, миш'яку та ртуті. При цьому варто зазначити, що у місці вибуху концентрації свинцю, миш'яку і ртуті значно перевищують концентрацію цих металів на контрольній точці, так у свинцю перевищення становлять в 21 раз, у миш'яку – в 7,33 рази та у ртуті – в 23 рази.

На рисунку 3.3 наведені зведені дані стосовно важких металів, що мають найвищу концентрацію у місцях вибухів на території Хмельницької області.

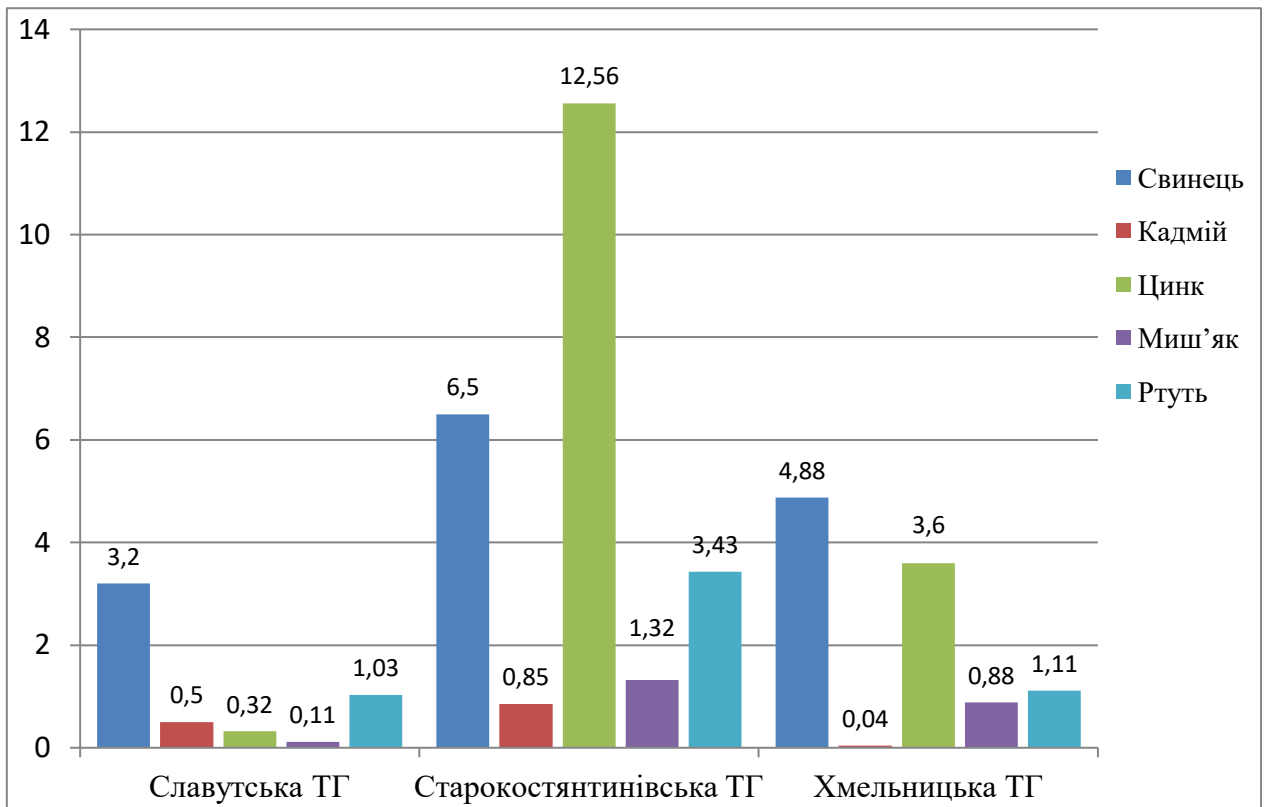


Рисунок 3.3 – Зведені дані стосовно важких металів, що мають найвищу концентрацію у місцях вибухів на території Хмельницької області, мг/кг

З рисунку 3.3 видно, що внаслідок військових дій найбільша концентрація важких металів, а саме свинцю, цинку і ртуті міститься у місцях вибухів на території Старокостянтинівської міської громади.

На рисунку 3.4 наведено дані забруднення марганцем на території Хмельницької області у місці вибухів та контрольній ділянці у порівнянні з нормативом ГДК.

З рисунку 3.4 видно, що хоча й перевищень концентрації ГДК по марганцю на місці вибухів нема, але є значне перевищення фонові концентрації на території Старокостянтинівської міської громади майже 1,7 разів, що може бути наслідком військових дій.

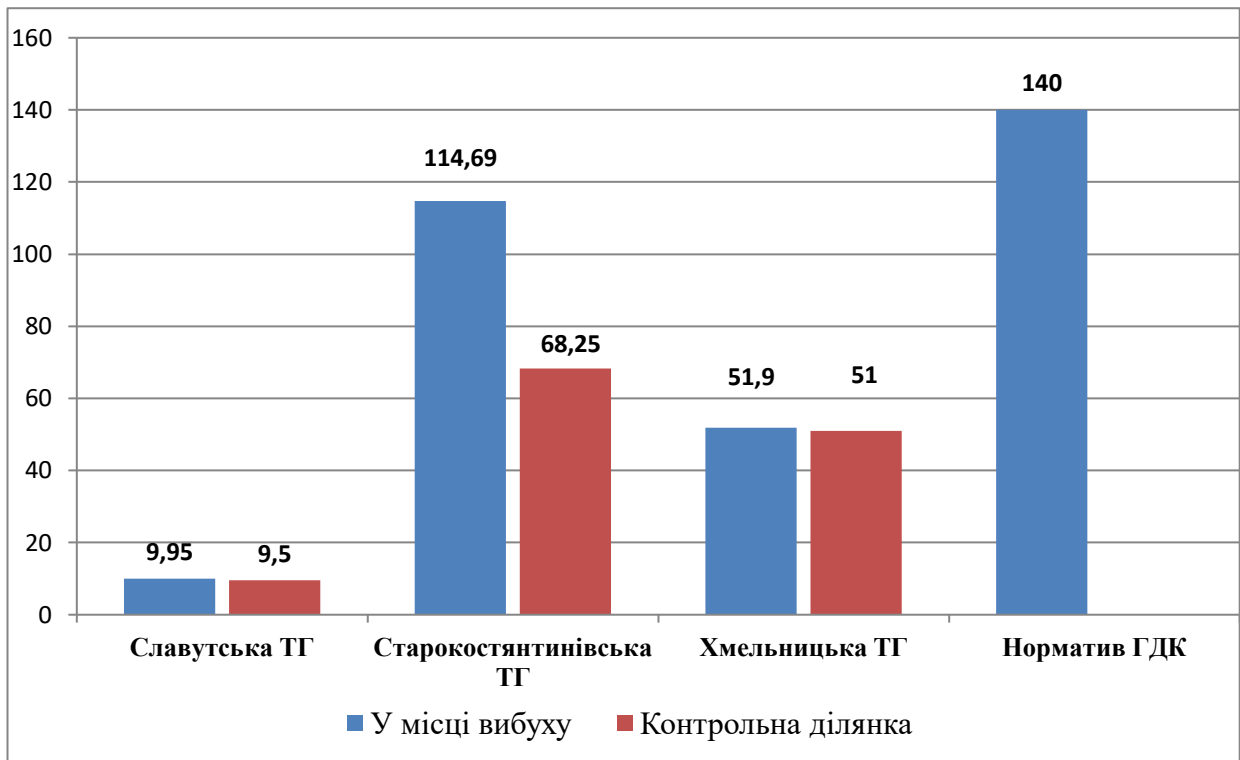


Рисунок 3.4 – Дані забруднення марганцем на території Хмельницької області у місці вибухів та контрольній ділянці у порівнянні з нормативом ГДК, мг/кг

Залізо є одним з найпоширеніших елементів у природі, відноситься до III класу небезпеки. У природі існує у трьох станах, з них найбільш шкідливим для навколишнього середовища є стан іржі. У таблиці 3.4 наведено результати хімічних аналізів вмісту заліза у ґрунті в результаті військових дій на території Хмельницької області (рисунок 3.5).

Таблиця 3.4 – Вміст заліза у ґрунті в результаті військових дій на території Хмельницької області, мг/кг

Територіальна громада	У місці вибуху	Поза зоною впливу вибуху, (фонова концентрація)	Відсоток до фоновій концентрації, %
Славутська ОТГ	11,13	7,53	
Старокостянтинівська МТГ	28,62	8,15	
Хмельницька МТГ	15,15	12,24	



Рисунок 3.5 – Металеві решки від падіння безпілотної типу «Shahed-136» поблизу стратегічного об'єкту Старокостантинівської міської громади

Вміст валових форм заліза у точках відбору ґрунтів у зоні падіння безпілотної і ракет варіював від 11,11 мг/кг до 28,62 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій — від 7,53 мг/кг до 12,24 мг/кг ґрунту. Перевищення фонового рівня відмічено у всіх трьох пробах ґрунту.

Середній вміст заліза на забруднених територіях Хмельниччини, де проводилися аналізи у 1,97 разів перевищував фонове значення.

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробі відібраній на території Старокостантинівської міської громади, у якій вміст заліза, у порівнянні з фоновим значенням був більшим у 3,51 рази.

Беручи до уваги всю серйозність та небезпеку ситуації, що склалася, в Хмельницькій області внаслідок бойових дій вже необхідно шукати шляхи вирішення проблеми забруднення ґрунтів.

3.2 Нові підходи у дослідженні та прогнозуванні якості ґрунтів

До новітніх підходів у дослідженні якості ґрунтів внаслідок військових дій на території Хмельницької області можна віднести:

- використання дистанційного зондування для аналізу забруднення ґрунтів на великих територіях;
- застосування геоінформаційних систем (ГІС) для створення карт забруднення та моделювання поширення токсичних речовин;
- використання біоіндикаторів для оцінки біоаккумуляції токсинів у ґрунтах;

Нові підходи у дослідженні та прогнозуванні якості ґрунтів Хмельницької області в умовах хімічного забруднення дозволяють більш ефективно оцінювати стан ґрунтів та прогнозувати наслідки впливу воєнного стану на їх екосистему. Серед них необхідно виділити:

1. Дистанційне зондування та супутниковий моніторинг. Зокрема сучасні технології дистанційного зондування забезпечують можливість оперативного та масштабного моніторингу забруднення ґрунтів:

- супутникові зображення високої роздільної здатності дозволяють виявити області з аномаліями, які можуть бути пов'язані з хімічним забрудненням;
- спектральний аналіз допомагає ідентифікувати різні типи забруднюючих речовин у ґрунтах за спектральними підписами, що дозволяє більш точно оцінити природу та інтенсивність забруднення.

2. Геоінформаційні системи (ГІС) та створення карт ризику. ГІС-технології використовуються для просторового аналізу та візуалізації даних про забруднення:

- моделювання поширення забруднень дає можливість оцінювати, як хімічні речовини розповсюджуються на території, а також виявляти зони підвищеного ризику;

– картографування ризиків забезпечує зручну інтерпретацію даних для швидкого реагування та прийняття рішень. Це особливо корисно для планування заходів зі зменшення шкоди та відновлення забруднених територій.

3. Біоіндикація та біомоніторинг. Використання біоіндикаторів дозволяє виявляти вплив токсичних речовин на ґрунт через спостереження за рослинами і мікроорганізмами:

– фітоіндикація (спостереження за певними рослинами) дозволяє визначити накопичення важких металів та інших токсинів у ґрунтах, що значно пришвидшує процес діагностики;

– бактеріальні та грибкові біоіндикатори допомагають оцінити вплив забруднень на ґрунтову мікрофлору. Зміни в складі ґрунтових мікроорганізмів можуть вказувати на присутність токсичних речовин навіть за незначних їх концентрацій.

4. Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з датчиками. Безпілотні літальні апарати оснащені спеціалізованими датчиками дозволяють збирати точні дані на місцях:

– аналіз вологості та температури ґрунту для моніторингу в реальному часі, що особливо важливо для швидкого реагування;

– тепловізійна зйомка дозволяє виявляти місця витоку токсичних речовин, що можуть спричиняти підвищену температуру ґрунту.

5. Використання машинного навчання та моделей прогнозування. Новітні моделі на основі машинного навчання допомагають аналізувати великий обсяг даних і передбачати поширення та вплив забруднень:

– аналіз великих даних для виявлення закономірностей у поширенні забруднюючих речовин та визначення ключових факторів, що впливають на розподіл токсинів;

– моделювання змін якості ґрунтів допомагає прогнозувати довгострокові наслідки забруднення на підставі поточних даних, що дозволяє заздалегідь оцінювати можливий екологічний ризик.

6. Використання нанотехнологій у відновленні ґрунтів. Наноматеріали можуть бути застосовані для фільтрації і очищення забруднених ґрунтів:

– наночастинки оксидів металів (наприклад, TiO_2 , Fe_2O_3) застосовуються для розкладання органічних забруднюючих речовин у ґрунтах;

– адсорбенти на основі наночастинок допомагають видалити важкі метали та інші токсини, зменшуючи ризик їхнього поширення.

Новітні хімічні підходи до дослідження і прогнозування якості ґрунтів в умовах в умовах воєнного стану, орієнтовані на використання сучасних аналітичних технологій і методів для визначення складу та концентрацій токсичних речовин. Ось деякі з них:

1. Мікроекстракція твердою фазою (SPME). Цей метод дозволяє швидко і точно визначати низькі концентрації летких органічних сполук (ЛОС) та інших хімічних забруднювачів у ґрунті. Принцип методу полягає в тому, що забруднюючі речовини з ґрунту екстрагуються на твердий сорбент, де вони концентруються для подальшого аналізу. Цей метод є швидким, чутливим та не потребує використання великих обсягів органічних розчинників, що знижує ризик додаткового забруднення.

2. Лабораторні методи вискоелективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) з мас-спектрометрією. Метод ВЕРХ-MS дає можливість виявляти та ідентифікувати низькомолекулярні органічні забруднювачі та пестициди. Принцип методу полягає в тому, що зразок ґрунту розчиняється та піддається хроматографії для розділення компонентів, після чого ідентифікуються та вимірюються окремі забруднювачі. Цей метод забезпечує високу точність і чутливість у визначенні широкого спектра забруднюючих речовин, включаючи нові органічні забруднювачі, зокрема токсичні сполуки, що утворюються під час військових дій.

3. Аналіз нафтопродуктів за допомогою інфрачервоної спектроскопії (FTIR). Інфрачервона спектроскопія допомагає виявляти залишки нафтових речовин, що є частими забруднювачами в умовах воєнного стану. Принцип

методу полягає в тому, що кожен вид молекул поглинає інфрачервоне світло на певних довжинах хвиль, створюючи унікальний спектральний підпис, який дозволяє ідентифікувати тип забруднення. Метод є швидким і дозволяє визначати тип і кількість нафтопродуктів у ґрунті без попередньої складної підготовки зразка.

4. Іонна хроматографія для аналізу важких металів та токсичних аніонів. Іонна хроматографія дозволяє швидко й точно визначити концентрації важких металів та аніонів (наприклад, хлоридів, сульфатів) у ґрунті. Принцип методу полягає в тому, що важкі метали та токсичні аніони розділяються на хроматографічній колонці і потім вимірюються детектором. Метод забезпечує високу точність навіть для низьких концентрацій металів, таких як свинець, кадмій і ртуть, що особливо важливо в контексті військових забруднень.

5. Метод атомної абсорбційної спектроскопії (AAS). AAS є ключовим методом для визначення концентрації важких металів у ґрунтах. Принцип методу полягає в тому, що атоми металу поглинають світло на певних довжинах хвиль, що дозволяє кількісно визначити концентрацію певного металу. Метод дає змогу визначати вміст важких металів з високою точністю і є незамінним для аналізу ґрунтів, забруднених залишками боєприпасів або військової техніки.

6. Хімічна сенсорика та електрохімічні сенсори. Сенсори є відносно новим підходом, що дозволяє швидко і в польових умовах визначити наявність токсичних речовин. Принцип методу полягає в тому, що електрохімічні сенсори реагують на присутність певних іонів або молекул, що призводить до зміни електричних властивостей сенсора. Це портативний і недорогий метод, що підходить для швидкого виявлення забруднювачів без потреби в лабораторних умовах.

7. Використання методів екстракції з хімічними сорбентами (наприклад, твердою фазою або надкритичною рідиною). Ці методи екстракції дозволяють більш ефективно ізолювати органічні та неорганічні

забруднювачі для подальшого аналізу. Надкритична рідинна екстракція (SFE) використовується для вилучення органічних забруднювачів із ґрунту за допомогою надкритичного CO₂, що дозволяє зберігати цілісність зразка. Це екологічно чисті методи, які потребують менше розчинників і дозволяють точніше виділити забруднювачі для подальшого аналізу.

Завдяки новим хімічним підходам, дослідження та прогнозування якості ґрунтів стало значно точнішим і більш адаптивним до складних умов. Застосування цих методів дозволяє швидко й ефективно ідентифікувати та аналізувати хімічні забруднення, що є важливим для розробки стратегій з відновлення ґрунтів та мінімізації екологічних ризиків у Хмельницькій області та інших регіонах, що постраждали від військових дій.

Сучасні методи дослідження та прогнозування якості ґрунтів значно розширюють можливості для швидкого та точного визначення рівня забруднення та дозволяють приймати обґрунтовані рішення щодо відновлення екосистеми. Такі новітні технології стають невід'ємною частиною стратегії екологічного моніторингу та управління у складних умовах воєнного стану.

3.3 Розробка рекомендацій з відновлення забруднених ґрунтів

Відновлення територій, що зазнали впливу військових дій, є критично важливим для забезпечення їхнього безпечного розвитку. Згідно з Протоколом V до «Конвенції про конкретні види звичайної зброї» існує юридичне зобов'язання щодо очищення, вилучення або знищення вибухонебезпечних залишків війни. Однак відсутні нормативно закріплені вимоги стосовно відновлення забруднених земель, і немає чіткого правового зобов'язання щодо ліквідації екологічних наслідків військових дій.

У післявоєнний період тривала рекультивація ґрунтів на сільськогосподарських угіддях стане важливим завданням, що впливатиме також на агрономічні підходи. Основною метою рекультиваційних заходів є

відновлення ґрунтових умов до нормального стану та зниження хімічного впливу на рослини. Сучасні методи обробки забруднених ґрунтів включають фізичну, хімічну та біологічну ремедіацію (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Методи обробки забрудненого ґрунту

На наш погляд, вибір технології рекультивації значною мірою обумовлений природою і ступенем забруднення, цільовим призначенням відновлюваної ділянки та доступністю результативних і економічно доцільних методів. Також важливими є фізико-хімічні властивості ґрунту та кліматичні умови регіону. Підбір оптимальної технології очищення, що дозволяє ефективно компенсувати вплив забруднювачів на ґрунт, потребує комплексного розгляду низки чинників.

Основними з них є:

- потенціал технології для вирішення головного завдання – зменшення концентрації забруднюючих речовин;
- витрати на реалізацію процесу;
- доступність і готовність технології до використання;
- екологічний вплив та тривалість процедури;
- громадська думка;
- оцінка масштабу і вартості проєкту.

Для відновлення родючості постраждалих ґрунтів і введення їх у сільськогосподарську експлуатацію недостатньо лише засипання утворених вирв. Навіть за сприятливих умов, якщо рослини зможуть вирости, всі залишкові токсичні речовини у ґрунті будуть поглинені кореневою системою та накопичені в продукції, що унеможлиблює її безпечне використання.

Залежно від рівня забруднення земельної ділянки, доцільним є підбір відповідних заходів для ефективного відновлення.

Прискорення процесів рекультивації можливе, однак для цього необхідна розробка нових біотехнологій, що потребує часу та фінансових інвестицій для проведення досліджень.

Вибір технології рекультивації визначається характером і ступенем забруднення, цільовим призначенням ділянки та доступністю ефективних і економічно доцільних методів.

Однак перед вибором технології рекультивації необхідно провести ретельний аналіз наслідків бойових дій, що пропонується здійснювати в п'ять етапів:

- ідентифікація земель, пошкоджених внаслідок бойових дій;
- визначення факторів впливу (наприклад, маневри військ або переміщення техніки);
- визначення типу впливу (хімічного, механічного або фізичного) та його наслідків для земель;
- оцінка рівня забруднення ґрунтів за типом впливу (наприклад, оцінка засміченості ділянок осколками);
- загальна оцінка рівня забруднення ґрунтів.

Для вибору методики відновлення використовується кумулятивна оцінка ступеня пошкоджень, яка передбачає визначення придатності земельної ділянки для подальшого використання (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Визначення категорії придатності до використання земельної ділянки

Рівень пошкодження (S, %)	Категорія придатності земель	Характеристика забруднених ґрунтів	Використання	Необхідні заходи
Пошкодження дуже низького рівня до 10 % площі ділянки	Безумовно придатні	Вміст хімічних речовин у ґрунті перебуває в межах фонових значень	Ведення сільськогосподарської діяльності. Вирощування будь-яких культур	не потрібні
Пошкодження низького рівня від 10 % до 25 % площі ділянки	Придатні	Вміст хімічних речовин у ґрунті перевищує фонове значення, але не вище ГДК	Використовують під будь-які культури за умови контролю за якістю сільськогосподарської продукції	Проведення агротехнічних заходів для зменшення надходження металів у продукцію (вапнування, застосування органічних і мінеральних добрив)
Пошкодження середнього рівня від 25 % до 50 % площі ділянки	Мало придатні	Вміст хімічних речовин у ґрунтах перевищує ГДК при лімітуючому транслокаційному показнику	Використання під технічні культури без отримання на них продуктів харчування та кормів	Фіторе mediaція, підбір сільськогосподарських культур, що не накопичують забруднюючі речовини. Проведення агротехнічних заходів
Пошкодження середнього рівня від 50 % до 75 % площі ділянки	Умовно придатні	Вміст хімічних речовин у ґрунтах перевищує ГДК для більшості досліджувальних забруднюючих речовин	Використання під культурні пасовища, вирощування ефіроолійних культур	Протиерозійні, гідротехнічні, фізичні та хімічні рекультивації. Виключаючи вирощування культур для продовольчих цілей
Пошкодження катастрофічного рівня від 75 % до 100 % площі ділянки	Не придатні	Вміст хімічних речовин у ґрунтах перевищує ГДК за всіма показниками	Вилучення із сільськогосподарського використання. Консервація	Природне відновлення

У практиках з відновлення деградованих земель можна застосовувати наступні методи:

- відновлення мікробіоти ґрунту для покращення біологічної активності;
- зменшення ущільнення ґрунту для поліпшення водо- і повітропроникності;
- ліквідація нафтових забруднень, спрямована на детоксикацію ґрунтового середовища.

Для земель сільськогосподарського призначення необхідні такі заходи:

- оптимізація технологій обробітку ґрунту з переходом на ощадливі методи, як-от strip-till, no-till, зменшення кількості проходжень техніки (використання дронів, широкозахватних агрегатів, маршрутизації руху техніки, практик прямого висіву);
- ретельне планування сівозмін для підтримки родючості ґрунтів;
- застосування біологічних препаратів з доведеною ефективністю для відновлення біологічного різноманіття ґрунтів;
- використання сидератів і багаторічних трав для збагачення ґрунту органічними речовинами;
- робота з рослинними рештками — повернення органічної маси в ґрунт, застосування оздоровлювачів ґрунту для пригнічення фітопатогенів;
- внесення гноєвих компостів для поліпшення структури і родючості ґрунту;
- відновлення полезахисних лісосмуг для захисту ґрунтів від вітрової ерозії.

Ці заходи створюють основу для сталого використання сільськогосподарських угідь і підвищення продуктивності земель.

Для відновлення економічної активності на територіях, що постраждали від військових дій, перспективним є застосування технологій фітореMediaції. Цей метод є економічно вигідним підходом до екологічного відновлення, який базується на здатності рослин акумулювати та

детоксикувати токсичні речовини й елементи з навколишнього середовища. Існує значна кількість наукових досліджень, які підтверджують ефективність та економічну доцільність фітореMediaції, однак питання подальшого використання біомаси, що накопичила небезпечні сполуки, особливо важкі метали, залишається відкритим і потребує додаткового розгляду.

Використання біомаси в контексті Європейської директиви щодо відновлюваної енергетики, яка виключає пряме спалювання біомаси для отримання енергії, надає значні переваги в процесі відновлення. У цьому сенсі реабілітація забруднених територій може стати конкурентною перевагою для України на європейському енергетичному ринку.

Для запуску відновних процесів доцільно застосовувати консорціуми мікроорганізмів, здатних розкладати токсичні речовини, а також мікробні препарати, які сприяють збагаченню ґрунтів корисною мікробіотою. Для вилучення токсичних сполук підходять різні види фітореMediaнтів, зокрема бобові, злакові, хрестоцвіті рослини. В Інституті вже розроблено лінійку біопрепаратів, що не лише розкладають токсичні речовини в ґрунті, а й підвищують адаптаційні можливості та стресостійкість рослин-фітореMediaнтів, що значно покращує їхню ефективність у процесі очищення та відновлення земель.

Використання мікробних біопрепаратів сприяє інтенсифікації розкладання токсичних речовин у ґрунті, стимулює ріст і розвиток рослин-фітореMediaнтів, а також підвищує їхню здатність до вилучення токсикантів. Це сприятиме швидкому поверненню земель до вирощування екологічно чистої сільськогосподарської продукції з поліпшеними якісними показниками.

Для територій з помірним рівнем забруднення обрані біологічні методи очищення, такі як фітореMediaція та фітоекстракція. Хоч ці технології потребують певних витрат, вони є відносно природними і включають вирощування спеціальних рослин, здатних абсорбувати або переробляти забруднювачі. Після поглинання важких металів рослинний матеріал разом із

накопиченими токсинами видаляють із ділянки. Це схоже на механізм дії активованого вугілля, який застосовується для поглинання токсинів під час отруєнь.

Для видалення важких металів, таких як свинець (Pb), нікель (Ni), хром (Cr), цинк (Zn) та інших, з ґрунту доцільно використовувати певні види рослин, серед яких соняшник і ріпак займають важливе місце завдяки своїм фітоекстракційним властивостям. Водночас подальше використання таких культур у харчовій промисловості після проведення рекультиваційних заходів суворо заборонено, оскільки вони накопичують значну кількість токсичних речовин.

Наукові дослідження надали оцінку вартості дев'яти технологій очищення ґрунту, результати якої представлено в таблиці 3.6.

Для прискорення відновлення родючого шару ґрунту та зупинення його деградації зазвичай варто застосовувати два підходи: рекультиваційні практики та консерваційні заходи. Вибір відповідної технології залежить від ступеня та типу забруднення, цільового призначення ділянки, що потребує відновлення, а також наявності ефективних з екологічної та економічної точки зору технологій. Згідно з дослідженнями, для земельних ділянок із пошкодженням понад 75 % оптимальною стратегією є їхня консервація, що передбачає природне відновлення або фітомеліорацію.

Консервація передбачає припинення або обмеження господарської діяльності та вилучення землі з сільськогосподарського обігу. Найкращим підходом для управління такими територіями на Хмельниччині є надання їм природоохоронного статусу, що забезпечить належний менеджмент і сприятиме відновленню екосистем.

Післявоєнні заходи з відновлення земель в Україні та Хмельницькій області, зокрема повинні передбачати використання консерваційної практики, яка була ефективною і після Чорнобильської катастрофи, коли значні території було відведено під природоохоронні зони.

Таблиця 3.6 – Вартість технологій очищення ґрунту [17, с. 87]

№ п/п	Технологія	Орієнтовна вартість, USD
1	Землеробство	Лабораторні дослідження від 20 000 USD/м ³ ; Пілотні дослідження від 100 000 USD; Обробка 1 м ³ ґрунту до 100 USD;
2	Стабілізація	Вартість технології з реагентами складає (за 1 м ³): – від 50 USD до 120 USD для поверхневих забруднень; – від 200 USD для глибинних. Окремо закладається вартість на обладнання від 200 000 USD у залежності від особливостей території та вартості енергоносіїв
3	Фітосанація	Вартість 1 га потужністю 0,5 м ґрунту складає від 150 USD до 250 000 USD
4	Компостування	Вартість технології залежить від кількості обробленого ґрунту, доступності поживних речовин, типу забруднення і складає від 200 USD за 1 м ³
5	Хімічне вилуговування (промивання)	Вартість технології складає від 30 USD до 300 USD за 1 м ³ з урахуванням типу та концентрації речовин, що входять в склад розчину
6	Термічна десорбція	Вартість обробки складає від 10 USD до 70 USD за 1 м ³ ґрунту. Пілотні дослідження сягають затрат від 10 000 USD. Концентрація забруднень, ландшафтно-геохімічні умови визначають верхню межу вартості
7	Хімічна екстракція	Вартість технології оцінюється від 150 USD до 500 USD за 1 м ³ ґрунту
8	Хімічне окислення/відновлення	Вартість всього процесу оцінюється в межах від 200 USD до 500 USD за тону обробленого ґрунту без врахування затрат на аналітичні дослідження
9	Захоронення	Вартість 1 т становить від 1 000 000 USD

Серед ключових рекомендацій для відновлення земель у післявоєнний період виокремлюють:

- проведення комплексної еколого-геохімічної оцінки ґрунтів у поствоєнних ландшафтах для глибокого аналізу і визначення пріоритетних напрямів відновлення;

- діагностику біологічної активності та фітотоксичності ґрунтів, узятих із зон бойових дій, у лабораторних умовах для виявлення можливих загроз;

- розроблення схем використання мікробних біотехнологій, що враховують стан ґрунту, наявні токсичні речовини і доступність до методів обробки;

- планування консерваційних заходів для земель з найвищим рівнем пошкодження, де природне відновлення є економічно доцільнішим за інші способи рекультивації.

Ці кроки сприятимуть раціональному відновленню земельного фонду та забезпечать стійкий розвиток уражених територій.

Серед численних підходів до рекультивації земель важливим аспектом є правильний вибір методів, що відповідають типу та рівню забруднення ґрунту. Однак значною перешкодою для масштабного впровадження цих методів на території Хмельницької області є висока вартість рекультиваційних робіт. У зв'язку з цим не всі заходи можуть бути економічно виправданими, і для деяких земель консервація може стати ефективнішою альтернативою.

З огляду на високий рівень розораності українських земель та швидкі темпи деградації ґрунтів, консерваційні заходи виглядають як перспективний варіант для збереження і відновлення їхньої родючості та екологічної функції.

ВИСНОВКИ

З 24 лютого 2022 року на території України та Хмельницької області в тому числі, тривають бойові дії. Військові дії спричинили комплекс механічних, фізичних та хімічних впливів на ґрунтовий покрив, що призвело до порушення структури й функціонування екосистеми ґрунту та втрати її фізико-геохімічних властивостей.

Держави, які постраждали внаслідок збройних конфліктів, розробляють і впроваджують стратегії для відновлення ґрунтів з метою забезпечення екологічної стабільності та продовольчої безпеки.

Загалом земельний фонд Хмельницької області охоплює 2062,9 тисяч гектарів, з яких 75,9 % складають сільськогосподарські угіддя. Станом на початок 2024 року в області налічується 2764,11 га порушених земель.

У Хмельницькій області найвагомішим результатом військових дій є падіння безпілотників та крилатих ракет різного типу у Славутській міській об'єднаній територіальній громаді, Старокостянтинівській міській громаді та Хмельницькій міській територіальній громаді. Ці громади стають мішенями через свою важливість як логістичні та військові об'єкти, а також через близькість до критичної інфраструктури області.

У результаті падіння безпілотних літальних апаратів та ракет на території області спостерігаються зсуви ґрунтів. Найбільш поширеним типом забруднення є кратерні вирви.

Лабораторні дослідження показали, що концентрація важких металів в ґрунтах у місці вибухів на території Славутської міської об'єднаної територіальної громади не перевищує гранично допустимі концентрації. Однак, у місці вибуху концентрації свинцю, кадмію, хрому і ртуті перевищують концентрацію цих металів на контрольній точці, перевищення становлять від 1,4 разів у свинцю до 6,87 разів у ртуті, а концентрація хрому знаходиться на рівні ГДК у місці вибуху і перевищує на 1,67 разів концентрацію на контрольній ділянці.

У місцях вибухів внаслідок падіння безпілотних літальних апаратів і крилатих ракет на території Старокостянтинівської міської громади є перевищення ГДК по таким важким металам, як свинець, кадмій, хром та ртуть. Найбільше перевищення ГДК виявлено у ртуті, більш як 1,63 рази, дещо менше у кадмію, а саме в 1,21 рази, в хрому – 1,2 рази, а у свинцю перевищення ГДК становить 1,08 рази. Концентрація цинку і марганцю хоча й не перевищує нормативи ГДК, але значно перевищує концентрацію цих металів у контрольній точці. Зокрема, у цинку це перевищення становить у 3,5 рази, а у марганцю в 1,7 рази.

Концентрація важких металів в ґрунтах у місці вибухів на території Хмельницької міської територіальної громади не перевищує гранично допустимі концентрації. При цьому є значні концентрації свинцю, марганцю, миш'яку та ртуті. разом з тим у місці вибуху концентрації свинцю, миш'яку і ртуті значно перевищують концентрацію цих металів на контрольній точці, так у свинцю перевищення становлять в 21 раз, у миш'яку – в 7,33 рази, а у ртуті – в 23 рази.

Найбільша концентрація важких металів, а саме свинцю, цинку і ртуті міститься у місцях вибухів на території Старокостянтинівської міської громади.

Вміст валових форм заліза у точках відбору ґрунтів у зоні падіння безпілотників і ракет варіював від 11,11 мг/кг до 28,62 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій — від 7,53 мг/кг до 12,24 мг/кг ґрунту. Перевищення фонового рівня відмічено у всіх пробах ґрунту. Середній вміст заліза на забруднених територіях внаслідок бойових дій, де проводилися аналізи у 1,97 разів перевищував фонове значення. Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробі відібраній на території Старокостянтинівської міської громади, у якій вміст заліза, у порівнянні з фоновим значенням був більшим у 3,51 рази.

Серед нових підходів у дослідженні та прогнозуванні якості ґрунтів Хмельницької області, що дозволяють більш ефективно оцінювати стан

ґрунтів та прогнозувати наслідки впливу воєнного стану на їх екосистему необхідно виділити: дистанційне зондування та супутниковий моніторинг, геоінформаційні системи (ГІС) та створення карт ризику, біоіндикація та біомоніторинг, використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з датчиками, використання машинного навчання та моделей прогнозування, використання нанотехнологій у відновленні ґрунтів.

У практиках з відновлення деградованих земель можна застосовувати наступні методи: відновлення мікробіоти ґрунту для покращення біологічної активності; зменшення ущільнення ґрунту для поліпшення водо- і повітропроникності; ліквідація нафтових забруднень, спрямована на детоксикацію ґрунтового середовища.

Для прискорення відновлення родючого шару ґрунту та зупинення його деградації зазвичай варто застосовувати два підходи: рекультиваційні практики та консерваційні заходи.

Серед ключових рекомендацій для відновлення земель у післявоєнний період варто виокремити: проведення комплексної еколого-геохімічної оцінки ґрунтів у поствоєнних ландшафтах для глибокого аналізу і визначення пріоритетних напрямів відновлення; діагностику біологічної активності та фітотоксичності ґрунтів, узятих із зон бойових дій, у лабораторних умовах для виявлення можливих загроз; розроблення схем використання мікробних біотехнологій, що враховують стан ґрунту, наявні токсичні речовини і доступність до методів обробки; планування консерваційних заходів для земель з найвищим рівнем пошкодження, де природне відновлення є економічно доцільнішим за інші способи рекультивації.

Значною перепоною для масштабного впровадження цих методів на території Хмельницької області є висока вартість рекультиваційних робіт. У зв'язку з цим не всі заходи можуть бути економічно виправданими, і для деяких земель консервація може стати ефективнішою альтернативою.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Балюк С.А. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня / С.А. Балюк, В.В. Медведєв, Л.І. Воротинцева // Вісник аграрної науки, 2017. – № 8. – С. 5 – 11.
2. Hury J. P. Introducing «bombturbation», a singular type of soil disturbance and mixing / J.P. Hury, R.J. Schaetzl // Soil Sci, 2006. – P. 823–836.
3. Takahashi, K. Soil properties and performance of landmine detection by metal detector and ground-penetrating radar – soil characterisation and its verification by a field test / K. Takahashi, H. Preetz, J. Igel // J. Appl. Geophys, 2011. – № 73. – P. 368–377.
4. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу / О. Голубцов, Л. Сорокіна, А. Сплодитель, С. Чумаченко – Київ : ГО – Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. – 32 с.
5. Василюк О. Вплив військової діяльності на природу України: посібник / О. Василюк, К. Норенко. – Львів : Манускрипт, 2019 – 68 с.
6. Gillies J.A. Particulate emissions from U.S. Department of Defense artillery backblast testing / J.A. Gillies, H. Kuhns, J.P. Engelbrecht // J. Air Waste Manag. Assoc, 2007. – P. 551–560.
7. Weber, A.K. Reduction in lead exposures with lead-free ammunition in an advanced urban assault course / A.K. Weber, D.I. Bannon, J.H. Abraham, R.B. Seymour, P.H. Passman // J. Occup. Environ. Hyg, 2020. – № 17 (11–12). – P. 598–610.
8. Dimitrios K. Soils contaminated with explosives: Environmental fate and evaluation of state-of-the-art remediation processes (IUPAC Technical Report) Pure Appl. Chem / K. Dimitrios, L. A. Juhasz, R. Voorthuyzen, 2011. – Vol. 83. – № 7. – P. 1407–1484.
9. Прикладне ландшафтознавство: історія, сучасність, перспективи: матеріали Всеукраїнського наукового семінару пам'яті професора Анатолія

Мельника (Львів – Ворохта, 6-9 жовтня 2022 року). – Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. – 55 с.

10. Meng, C. Characterizing the spatio-temporal exposure and health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in an oilfield, China. *Hum. Ecol* / C. Meng, M. Li, Q. Li, Y. Hu // *Risk Assess*, 2018. – № 24 (4). – P. 971–990.

11. Khan K.Y. Bioavailability and bioaccessibility of Cd in low and high Cd uptake affinity cultivars of *Brassica rapa* ssp. *Chinensis* L. (Pakchoi) using an *In vitro* gastrointestinal and physiologically-based extraction test. *Commun* / K.Y. Khan, P.J. Stoffella, Y. Feng // *Soil Sci*, 2020. – Plan 51 (1). – P. 28–37.

12. Rehman, K. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences / K. Rehman, F. Fatima, I. Waheed, M.S.H. Akash // *J. Cell. Biochem*, 2018. – № 119 (1). – P. 157–184.

13. Baraquoni, N.A. It takes time to unravel the ecology of war in Gaza, Palestine: long-term changes in maternal, newborn and toddlers' heavy metal loads, and infant and toddler developmental milestones in the aftermath of the 2014 military attacks / N.A. Baraquoni, S.R. Qouta, S.Y. Diab // *Int. J. Environ. Res. Publ*, 2020. – Health 17 (18). – P. 6698.

14. Manduca P. Long term risks to neonatal health from exposure to war-9 Years long survey of reproductive health and contamination by weapon-delivered heavy metals in Gaza, Palestine / P. Manduca, N. Al Baraquuni, S. Parodi // *Int. J. Environ*, 2020. – Health 17 (7). – P. 2538.

15. Fayiga A.O. Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges / A.O. Fayiga // *Environ. Chem*, 2019. – 16 (2). – P. 81–91.

16. Rylott E.L. Right on target: using plants and microbes to remediate explosives / E.L. Rylott, N.C. Bruce // *Int. J.*, 2019. – *Phytoremediation* 21 (11). – P. 1051–1064.

17. Забруднення земель внаслідок агресії росії проти України / А. Сплодитель, О. Голубцов, С. Чумаченко, Л. Сорокіна – Київ : ГО – Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. – 154 с.

18. Все про забруднення земель в Україні внаслідок воєнних дій. Куркуль – онлайн-асистент фермера. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kurkul.com/spetsproekty/1423-chi-mojna-vilikuvati-grunt-vid-viyni--vidpovid-na-nauposhirenishi-zapitannya> (дата звернення 14.08.2024).

19. Singh, S.N. Phytoremediation of TNT and RDX / S.N. Singh, S. Mishra // In: Singh, S.N. (Ed.), Biological remediation of explosive residues. Springer, Cham, 2014. – P. 371–392.

20. Pilon-Smits E.A. Phytoremediation / E.A. Pilon-Smits // Annu, 2005. Rev. Plant. – Biol. 56. – P. 15–39.

21. Jentsch A. Assessing conservation action for substitution of missing dynamics on former military training areas in Central Europe / A. Jentsch S. Friedrich, T. Steinlein, W. Benschlag, // Restoration Ecology, 2009. – № 2(1). – P. 107–116.

22. Бардик Ю. В. Еколого-гігієнічні та токсикологічні проблеми життєдіяльності / Ю. В. Бардик, О. О. Бобильова // Сучасні проблеми токсикології, 2005. – № 4. – С. 33–36.

23. Via S.M. Phytoremediation of Explosives. In: Shmaefsky B. (eds) Phytoremediation. Concepts and Strategies in Plant Sciences Springer, Cham, 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_8 (дата звернення 10.09.2024).

24. Рибалова О.В. Новий метод оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів важкими металами. Проблеми надзвичайних ситуацій / О. В. Рибалова, О. В. Бригада, О. О. Бондаренко, Є. О. Макаров, 2019. – № 1(29). – С. 79–99.

25. На межі виживання: знищення довкілля під час збройного конфлікту на сході України / А.Б. Блага, І.В. Загороднюк, Т.Р. Короткий, О.А. Мартиненко, М.О. Медведєва, В.В. Пархоменко; за заг. ред. А.П. Буценка / Українська Гельсінська спілка з прав людини. – Київ : КИТ, 2017 – 88с.

26. Вплив військової діяльності на природу України: посібник / О. Василюк, К. Норенко. – Львів : «Компанія «Манускрипт»», 2019. – 68 с.
27. Singh, S.N. Phytoremediation of TNT and RDX. In: Singh, S.N. (Ed.) / S. N. Singh, S. Mishra // *Biological remediation of explosive residues*. Springer, Cham, 2014. – P. 371–392.
28. Вплив військової діяльності на природу України: посібник / О. Кравченко, О. Василюк, К. Норенко // Львів : «Компанія «Манускрипт»», 2019 – 68с.
29. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу / О.Голубцов, Л. Сорокіна, А. Сплодитель, С. Чумаченко – Київ: ГО – Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. – 32 с.
30. Наказ Міністерства охорони здоров'я № 1595 від 14.07.2020 «Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті». – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text> (дата звернення 16.11.2024).
31. Linkov et al. Munitions and explosives of concern: international governance and applications for the United States. *Environmental Sciences Europe* 2014. P. 26 – 30. – Режим доступу: <http://www.enveurope.com/content/26/1/30> (дата звернення 17.11.2024).
32. Robinson, B.H. Plant uptake of trace elements on a Swiss military shooting range: uptake pathways and land management implications / B.H. Robinson, S. Bischofberger, A. Stoll, D. Schroer, G. Furrer, S.Roulier, A. Gruenwald, W. Attinger, R. Schulin // *Environ. Pollut* 2008. – № 153 (3). – P. 668–676. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.08.034> (дата звернення 20.11.2024).
33. Пошкоджена земля: як відновити родючість ґрунту після бомбардувань та пожеж? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.agrilab.ua/poshkodzhena-zemlya-yak-vidnovyty-rodyuchist-gruntu-pislya-bombarduvan-ta-pozhezh> (дата звернення 21.11.2024).

34. Кумбер Є. «Ніде у світі з таким не стикалися». Росія застосувала проти України всі наявні типи ракет – Повітряні сили [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/raketni-udari-po-ukrajini-rosiya-vikoristovuye-vsi-tipi-raket-ale-pochinaye-ekonomiti-dorogi-50256188.html> (дата звернення 21.11.2024).

35. Петрович О. Військові шрами на українських полях, або Як відновити аграрний ландшафт після бомбардування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://latifundist.com/blog/read/2884-vijskovi-shrami-na-ukrayinskih-polyah-abo-yak-vidnoviti-agrarnij-landshaft-pislya-bombarduvannya> (дата звернення 21.11.2024).

36. Кравченко О. Воєнні дії на сході України – цивілізаційні виклики людству. Львів : ЕПЛ, 2015. 136 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://epl.org.ua/wp-content/uploads/2015/07/1817_WEB_EPL_Posibnuk_ATO_Cover_Ukrainian.pdf

37. Норенко К. Наслідки розривів снарядів на сході України: понівечена отруєна земля. Екологія. Право. Людина, 2015. – № 23–24 (63–64). – С. 60–63.

38. Войціховська А. Дослідження ЕПЛ впливу військових дій на довкілля на сході України. Екологія. Право. Людина, 2015. – № 23–24 (63–64). – С. 57–59.

39. Волошин І. М. Вміст свинцю в ґрунтах і рослинах та його вплив на поширення нозокласів / І. М. Волошин, І. В. Мезенцева // Вісник Львівського університету. Сер. Геграфічна, 2009. – № 37. – С. 120–128.

40. Крайнюков О. М. Оцінка впливу важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин / О. М. Крайнюков, І. А. Кривицька, Ю. Ю. Черкашина // Young Scientist. Сер. Біологічні науки, 2020. – № 4 (80). – С. 244–252.

41. Чайка Т. О. Ринок органічної продукції України в умовах війни: стан, виклики та перспективи / Т. О. Чайка, І. І. Лотиш // Урожайність та якість продукції рослинництва за сучасних технологій вирощування:

матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Полтава, 30 верес. 2022 р.). Полтава, 2022. – С. 175–181.

42. Методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0285-98/conv/page2> (дата звернення 22.11.2024).

43. Рекультивация та фітомеліорація / В. П. Кучерявий та ін. Львів : Світ, 2006. – 116 с.

44. Волошин І. М. Вміст свинцю в ґрунтах і рослинах та його вплив на поширення нозокласів / І. М. Волошин, І. В. Мезенцева // Вісник Львівського університету. Сер. Геграфічна, 2009. – № 37. – С. 120–128.

45. Впровадження новітньої технології хімічної та фітомеліорації кислих та засолених ґрунтів / Н. В. Заїменко та ін. // Nauka innov, 2016. – № 12 (1). – С. 66–77.

46. Порядок консервації земель від 19.01.2022 р. № 35. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/35-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення 24.11.2024).

47. Земельний кодекс України від 25 жовт. 2001 р. № 2769-III. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (дата звернення 24.11.2024).

48. Гусарова А. Мікробні продукти можуть знизити вплив важких металів на рослини у разі забруднення ґрунтів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://superagronom.com/news/16438-mikrobni-produkti-mojut-zniziti-vpliv-vajkih-metaliv-na-roslini-u-razi-zabrudnennya-gruntiv> (дата звернення 25.11.2024).

49. Кваліфікаційна робота магістра : методичні рекомендації щодо її підготовки та виконання здобувачами вищої освіти спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / уклад.: О.А. Параска, Т. В. Іванішена. Хмельницький : ХНУ, 2024. 43 с.

50. Іванішена Т. В. Сучасні підходи у дослідженні якості ґрунтів внаслідок забруднення військовими діями / Т. В. Іванішена, П. І. Лепікаш // Перспективи розвитку науки, освіти і суспільства в контексті євроінтеграції: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Ізмаїл, 31 жовтня 2024 р.): у 2 ч. Ізмаїл : ЦФЕНД, 2024. – С. 41–44.

ДОДАТОК А

(довідковий)

Результати апробації досліджень



МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НАУКИ, ОСВІТИ І
СУСПІЛЬСТВА В КОНТЕКСТІ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SCIENCE, EDUCATION
AND SOCIETY IN THE CONTEXT OF EUROPEAN INTEGRATION

Збірник тез доповідей
Book of abstracts

Частина 2
Part 2



31 жовтня 2024 р.
October 31, 2024

м. Ізмаїл, Україна
Izmail, Ukraine



СЕКЦІЯ 13. ХІМІЧНІ НАУКИ	
SECTION 13. CHEMICAL SCIENCES	41
<i>Іванішена Т. В., Лепікаш П. І.</i>	
СУЧАСНІ ПІДХОДИ У ДОСЛІДЖЕННІ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ ВНАСЛІДОК ЗАБРУДНЕННЯ ВІЙСЬКОВИМИ ДІЯМИ	41
СЕКЦІЯ 14. АГРАРНІ НАУКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВО	
SECTION 14. AGRICULTURAL SCIENCES AND FOOD	43
<i>Бомба М. І., Литвин О. Ф., Мазурак І. В.</i>	
УРОЖАЙНІСТЬ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД СТРОКІВ СІВБИ	43
<i>Бомба М. І., Литвин О. Ф., Сенчук С. О.</i>	
УРОЖАЙНІСТЬ СОРТІВ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД СПОСОБУ СІВБИ.....	45
СЕКЦІЯ 15. ТЕХНІЧНІ НАУКИ	
SECTION 15. TECHNICAL SCIENCES	47
<i>Грезент О. П., Кулікова Д. В.</i>	
ДО ПИТАННЯ ПИЛОВЛОВЛЮВАННЯ НА ЦЕМЕНТНИХ ЗАВОДАХ.....	47
<i>Ільків Є. Ю., Галярник М. В., Галярник Н. Р.</i>	
ІСТОРИКО-АРХІВНІ ОБСТЕЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ТРИГОНОМЕТРИЧНИХ ПУНКТІВ НА КУЛЬТОВИХ СПОРУДАХ ПОЛЬСЬКОГО ПЕРІОДУ НА ТЕРИТОРІЇ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	49
СЕКЦІЯ 16. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
SECTION 16. INFORMATION TECHNOLOGIES	52
<i>Кучеренко Д. В.</i>	
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЛОГІКИ КЛЮЧОВИХ КЛАСІВ СИСТЕМИ ПРИХОВАННЯ ДАНИХ У ЗОБРАЖЕННЯХ	52
СЕКЦІЯ 17. ГЕОГРАФІЧНІ ТА ГЕОЛОГІЧНІ НАУКИ	
SECTION 17. GEOGRAPHICAL AND GEOLOGICAL SCIENCES	54
<i>Рузіна М. В., Жильцова І. В., Дементьєва Є. В.</i>	
ПЕТРОЛОГІЯ ТА РУДОНОСНІСТЬ ЧОРНОСЛАНЦЕВИХ ФОРМАЦІЙ СЕРЕДНЬОПРИДНІПРОВСЬКОГО МЕГАБЛОКУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА.....	54

СЕКЦІЯ 13
 SECTION 13



ХІМІЧНІ НАУКИ
 CHEMICAL SCIENCES

УДК 631.4:504.05

Іванішена Т. В.

к. т. н., доцент,

декан факультету технологій та дизайну,
 Хмельницький національний університет

Лепікаш П. І.

магістрант другого року навчання
 ОПП “Хімічні технології та інженерія”
 Хмельницький національний університет

СУЧАСНІ ПІДХОДИ У ДОСЛІДЖЕННІ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ ВНАСЛІДОК ЗАБРУДНЕННЯ ВІЙСЬКОВИМИ ДІЯМИ

Серед усіх екосистем, найбільш негативно військові дії впливають на ґрунтовий покрив, відновлення якого є найповільнішим. Окрім того, військові дії спричиняють комплекс механічних, фізичних та хімічних впливів на ґрунтовий покрив, що призводить до порушення структури й функціонування екосистеми ґрунту та втрати його фізико-геохімічних властивостей.

Згідно з даними Міністерства аграрної політики України на кінець січня 2023 року, близько 25 % земельних площ України неможливо використовувати через бойові дії. Кожен снаряд, міна, ракета, БПЛА типу “Shahed” або авіабомба, що застосовуються країною-агресором, є потенційним джерелом важких металів, які забруднюють ґрунт.

На відміну від деяких інших забруднювачів, важкі метали не піддаються природному розкладанню в ґрунті. Потрапляючи до живих організмів, вони накопичуються і негативно впливають на їхній загальний стан, що робить їхнє дослідження і в подальшому знешкодження у ґрунті особливо актуальним.

До новітніх підходів у дослідженні якості ґрунтів внаслідок військових дій належать:

- використання дистанційного зондування для аналізу забруднення ґрунтів на великих територіях;
- застосування геоінформаційних систем (ГІС) для створення карт забруднення та моделювання поширення токсичних речовин;
- використання біоіндикаторів для оцінки біоаккумуляції токсинів у ґрунтах.

Нові підходи у дослідженні та прогнозуванні якості ґрунтів в умовах хімічного забруднення дозволяють більш ефективно оцінювати стан ґрунтів та прогнозувати наслідки впливу воєнного стану на їх екосистему. Серед них необхідно виділити:

1. Дистанційне зондування та супутниковий моніторинг.
2. Геоінформаційні системи (ГІС) та створення карт ризику.
3. Біоіндикація та біомоніторинг.
4. Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з датчиками.
5. Використання машинного навчання та моделей прогнозування.
6. Використання нанотехнологій у відновленні ґрунтів.

Новітні хімічні підходи до дослідження і прогнозування якості ґрунтів в умовах в умовах воєнного стану, орієнтовані на використання сучасних аналітичних технологій і методів для визначення складу та концентрацій токсичних речовин. Ось деякі з них:

1. Мікроекстракція твердою фазою (SPME). Цей метод дозволяє швидко і точно визначати низькі концентрації летких органічних сполук (ЛОС) та інших хімічних забруднювачів у ґрунті.

2. Лабораторні методи високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) з мас-спектрометрією. Метод ВЕРХ-MS дає можливість виявляти та ідентифікувати низькомолекулярні органічні забруднювачі та пестициди.

3. Аналіз нафтопродуктів за допомогою інфрачервоної спектроскопії (FTIR). Інфрачервона спектроскопія допомагає виявляти залишки нафтових речовин, що є частими забруднювачами в умовах військових дій.

4. Іонна хроматографія для аналізу важких металів та токсичних аніонів. Іонна хроматографія дозволяє швидко й точно визначити концентрації важких металів та аніонів (наприклад, хлоридів, сульфатів) у ґрунті.

5. Метод атомної абсорбційної спектроскопії (AAS). AAS є ключовим методом для визначення концентрації важких металів у ґрунтах.

6. Хімічна сенсорика та електрохімічні сенсори. Сенсори є відносно новим підходом, що дозволяє швидко і в польових умовах визначити наявність токсичних речовин.

7. Використання методів екстракції з хімічними сорбентами (наприклад, твердою фазою або надкритичною рідиною). Ці методи екстракції дозволяють більш ефективно ізолювати органічні та неорганічні забруднювачі для подальшого аналізу.

Завдяки новим хімічним підходам, дослідження та прогнозування якості ґрунтів стало значно точнішим і більш адаптивним до складних умов. Застосування цих методів дозволяє швидко й ефективно ідентифікувати та аналізувати хімічні забруднення, що є важливим для розробки стратегій з відновлення ґрунтів та мінімізації екологічних ризиків, що постраждали від військових дій.

Сучасні методи дослідження та прогнозування якості ґрунтів значно розширюють можливості для швидкого та точного визначення рівня забруднення та дозволяють приймати обґрунтовані рішення щодо відновлення екосистеми. Такі новітні технології стають невід'ємною частиною стратегії екологічного моніторингу та управління у складних умовах воєнного стану.

Список літератури

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

2. Голубцов О., Сорокіна Л., Сплодитель А. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. – Київ : ГО – Центр екологічних ініціатив "Екодія", 2023. – 32 с.

3. Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С. Забруднення земель внаслідок агресії росії проти України. – Київ : ГО – Центр екологічних ініціатив "Екодія", 2023. – 154 с.

4. Weber A.K., Bannon D.I., Abraham J.H. Passman Reduction in lead exposures with lead-free ammunition in an advanced urban assault course. *J. Occup. Environ. Hyg*, 2020. – № 17 (11–12). – P. 598–610.

5. Rehman K., Fatima F., Waheed I., Akash M.S.H. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *J. Cell. Biochem*. 2018. 119 (1), P. 157–184.

6. Baraquoni N.A., Qouta S.R., Diab S.Y. It takes time to unravel the ecology of war in Gaza, Palestine: long-term changes in maternal, newborn and toddlers' heavy metal loads, and infant and toddler developmental milestones in the aftermath of the 2014 military attacks/ *Int. J. Environ. Res. Publ*, 2020. – Health 17 (18), P. 6698.