

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адм. Макарова
Факультет економіки та екології моря
Кафедра екології та природоохоронних технологій

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри _____

«05» червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» на тему: «Екологічна оцінка
та моніторинг стану ґрунтів у зонах військового впливу»

Виповнила: студентка 4-го курсу гр. 4281

Саюнова М. К.

Перевірено науковим керівником:

д.т.н., професор Трохименко Г. Г.

Миколаїв – 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Факультет економіки та екології моря

Кафедра: екології та природоохоронних технологій

Спеціальність: 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма: Технології захисту навколишнього середовища

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант ОПП

Ремешевська І. В.


«5» червня 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студентки _____ Саюнової Марії Костянтинівни _____

1. Тема роботи: **Екологічна оцінка та моніторинг стану ґрунтів у зонах військового впливу**. Керівник роботи: Трохименко Ганна Григорівна, д.т.н., професор затверджені наказом ректора № 287-уч. від «22» _____ квітня _____ 2026р.

2. Термін подання роботи: 05.06.2026

3. Вихідні дані по роботі: Наукові праці та публікації з дослідження впливу війни на ґрунти, результати експериментальних досліджень ґрунтів в зонах військового впливу.

4. Перелік питань, що належать до розробки:

- визначити основні джерела забруднення ґрунтів унаслідок бойових дій;
- схарактеризувати вплив вибухових речовин і важких металів на ґрунти;
- встановити основні екологічні наслідки деградації земель;

- визначити особливості міграції токсичних речовин у ґрунті;
- охарактеризувати сучасні методи екологічного моніторингу та відновлення забруднених територій

5. Перелік презентаційних матеріалів:

Презентація – 19 аркушів

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав	Завдання прийняв
<u>1-5</u>	<u>Трохименко Г.Г.</u>	<u>03.03.2026</u>	<u>23.05.2026</u>

7. Дата видачі завдання: 03.03.2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Видача завдань	03.03.2026	Виконано
2.	Експериментальні задачі	27.06.2025	Виконано
3.	РОЗДІЛ I. Загальна характеристика вибухових речовин та забруднення ними ґрунту	17.03.2026 – 31.03.2026	Виконано
4.	РОЗДІЛ II. Екологічні наслідки вибухових навантажень	01.04.2026 – 15.04.2026	Виконано
5.	ДІЛ III. Методи оцінки забруднених ґрунтів вибуховими речовинами	16.04.2026 – 20.04.2026	Виконано
6.	РОЗДІЛ IV. Аналіз даних щодо викидів вибухових речовин	21.04.2026 – 28.04.2026	Виконано
7.	ОЗДІЛ V. Охорона праці	03.05.2026 – 15.05.2026	Виконано
8.	Перевірка на антиплагіат	01.06.2026 – 10.06.2026	Виконано

Студент

Керівник роботи

Саюнова М. К.

(ПБ)

Трохименко Г.Г.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота «Екологічна оцінка та моніторинг стану ґрунтів у зонах військового впливу» складається з: 67 сторінок, 5 розділів, 14 підрозділів, 14 таблиць, 8 рисунків, 24 використаних літературних джерел та без додатків.

Екологічна оцінка та моніторинг ґрунтів сьогодні є важливими напрямками у вирішенні проблеми їхнього забруднення в Україні. У кваліфікаційній роботі розглянуто основні види вибухових речовин та їхній вплив на ґрунтовий покрив у районах, що постраждали внаслідок бойових дій. Досліджено екологічний стан ґрунтів, проаналізовано основні джерела їх забруднення та наслідки військового впливу на навколишнє природне середовище.

У роботі розглянуто можливий механізм міграції вибухових речовин та їх взаємодію з компонентами ґрунту, можливий вплив на родючість земель, рослинність і загальний стан екосистем. Наведено методи екологічного моніторингу, які дають змогу своєчасно виявляти зміни стану ґрунтів і оцінювати рівень їх забруднення. Розглянуто візуальні, геофізичні, дистанційні та лабораторні методи досліджень, що використовуються для контролю стану територій, які зазнали військового впливу.

Практична частина роботи ґрунтується на результатах лабораторних досліджень зразків ґрунту, відібраних на території Миколаївської області у 2025 році. Проведено оцінку основних фізико-хімічних показників ґрунту, визначено наявність окремих забруднювальних речовин та проаналізовано зміни, що відбулися внаслідок бойових дій. Також у роботі розглянуто можливі способи поствоєнного відновлення порушених земель і заходи, спрямовані на покращення екологічного стану постраждалих територій.

Ключові слова: військовий вплив, забруднення ґрунтів, вибухові речовини, деградація ґрунтів, екологічний моніторинг, екологічні наслідки, відновлення земель, рекультивація, техногенне навантаження, родючість ґрунту

SUMMARY

The thesis titled “Environmental Assessment and Monitoring of Soil Conditions in Areas Affected by Military Activities” consists of: 67 pages, 5 chapters, 14 sections, 14 tables, 8 figures, 25 references, and no appendices.

Environmental assessment and monitoring of soils are currently key areas in addressing the problem of soil contamination in Ukraine. This thesis examines the main types of explosive substances and their impact on the soil cover in areas affected by military operations. The environmental condition of the soil is investigated, and the main sources of soil contamination and the consequences of military impact on the natural environment are analyzed.

The thesis examines the possible mechanism of explosive migration and their interaction with soil components, as well as the potential impact on soil fertility, vegetation, and the overall condition of ecosystems. Methods of environmental monitoring are presented that allow for the timely detection of changes in soil condition and the assessment of pollution levels. Visual, geophysical, remote sensing, and laboratory research methods used to monitor the condition of territories affected by military operations are examined.

The practical part of the study is based on the results of laboratory analyses of soil samples collected in the Mykolaiv region in 2025. The study assessed key physical and chemical soil parameters, identified the presence of specific pollutants, and analyzed changes resulting from military operations. The study also examines possible methods for post-war restoration of disturbed lands and measures aimed at improving the ecological condition of affected territories.

Keywords: military impact, soil contamination, explosives, soil degradation, environmental monitoring, environmental impacts, land restoration, reclamation, anthropogenic load, soil fertility.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ I. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ТА ЗАБРУДНЕННЯ НИМИ ҐРУНТУ	8
1.1. Поняття, класифікація та фізико-хімічні характеристики вибухових речовин	8
1.2. Основні джерела забруднення ґрунтового покриву в зоні військових дій 12	
1.3. Основні типи забруднення ґрунтового покриву	14
РОЗДІЛ II. ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВИБУХОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ	17
2.1. Екологічні наслідки деградації ґрунтів унаслідок військового конфлікту	17
2.2. Можливий механізм міграції вибухових речовин та їх взаємодія з компонентами ґрунту	18
2.3. Вплив токсичного забруднення ґрунтів на рослинний покрив, біорізноманіття та родючість ґрунтів	20
РОЗДІЛ III. МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ВИБУХОВИМИ РЕЧОВИНАМИ	24
3.1. Методи моніторингу забруднених ґрунтів	24
3.2. Методи оцінки й виявлення вибухових речовин в ґрунтах та проблеми ідентифікації	26
3.3. Матеріали та методи дослідження зразків ґрунту	29
РОЗДІЛ IV. АНАЛІЗ ДАНИХ ЩОДО ВИКИДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН	34
4.1. Результати дослідження зразків ґрунту за із зони бойових дій	34
4.2. Аналіз результатів дослідження ґрунтів із зони бойових дій	55
4.3. Методи поствоєнного відновлення	58
РОЗДІЛ V. ОХОРОНА ПРАЦІ	62
5.1. Вентиляція та освітлення у лабораторії під час моніторингу ґрунтів	62
5.2. Правила безпеки під час взяття проб ґрунту	63
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72

ВСТУП

Воєнні дії останніми роками завдали серйозного впливу на природне середовище. Одним із найбільш вразливих компонентів екосистем є ґрунт, адже саме він забезпечує рослини поживними речовинами, підтримує природні біологічні процеси та є основою сільського господарства, особливо такого збагаченого як в Україні. Унаслідок бойових дій ґрунтовий покрив отримує значні механічні і хімічні пошкодження, що призводять до втрати його родючості і зміни фізико-хімічних властивостей.

Актуальність теми полягає у необхідності оцінки екологічного стану ґрунтів після військового впливу, визначення рівня їх забруднення та пошуку ефективних способів моніторингу й відновлення постраждалих територій. На сьогодні значна частина земель країни потребує детального обстеження, а далі розмінування та проведення природоохоронних заходів, щодо відновлення.

Метою даної роботи є екологічна оцінка рівня дезбалансування процесів, які відбуваються у ґрунтах, та оптимізація методів їх моніторингу у зонах військового впливу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- визначити основні джерела забруднення ґрунтів унаслідок бойових дій;
- схарактеризувати вплив вибухових речовин і важких металів на ґрунти;
- встановити основні екологічні наслідки деградації земель;
- визначити особливості міграції токсичних речовин у ґрунті;
- охарактеризувати сучасні методи екологічного моніторингу та відновлення забруднених територій.

Об'єктом дослідження є ґрунти територій України, що зазнали негативного впливу внаслідок воєнних дій.

Предметом дослідження є процес забруднення та його наслідки.

РОЗДІЛ I. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ТА ЗАБРУДНЕННЯ НИМИ ҐРУНТУ

1.1. Поняття, класифікація та фізико-хімічні характеристики вибухових речовин

Вибухові речовини (ВР) — це хімічні сполуки або суміші, які під впливом зовнішньої дії (удару, тертя, іскри) здатні до швидкого самопоширюваного хімічного перетворення. Цей процес супроводжується виділенням великої кількості тепла та утворенням сильно нагрітих газів, що створюють високий тиск і руйнівну силу [1].

Вибухові речовини відрізняються між собою за складом, властивостями та рівнем небезпеки, тому їх поділяють на окремі групи. Основні ознаки класифікації:

- за складом;
- за призначенням;
- за схильністю до вибухового перетворення (вибухонебезпека).

За складом вибухові речовини поділяються на групи: однорідні вибухові хімічні сполуки та вибухові суміші.

Вибухові хімічні сполуки — це нестійкі системи, які під дією зовнішніх чинників швидко й з виділенням великої кількості тепла зазнають хімічних перетворень, при цьому відбувається руйнування внутрішньомолекулярних зв'язків і подальше утворення нових, термодинамічно стабільних продуктів та газів. Більшість таких речовин є органічними сполуками, що містять кисень, а їх розклад супроводжується процесами повного або часткового окиснення всередині молекули. Прикладами можуть бути тротил, нітрогліцерин і безкисневі вибухові сполуки, наприклад, азид свинцю $Pb(N_3)_2$, який також здатен до вибухового екзотермічного розкладу.

Вибухові суміші — це системи, які складаються щонайменше з двох хімічно не пов'язаних компонентів. Як правило, один із них є окисником, тобто речовиною з високим вмістом кисню, а другий — горючою речовиною, яка або зовсім не містить кисню, або має його недостатньо для повного окиснення. До таких сумішей належать димний порох, емульсійні вибухові речовини, аміачно-тротилкові суміші.

Проміжна група вибухових сумішей — це речовини однієї природи з різним вмістом активного кисню (наприклад, тротил і гексоген), а також вибухові сполуки, розміщені в інертному наповнювачі (як у випадку динаміту). Вибухові хімічні сполуки й суміші можуть існувати у твердому, рідкому або газоподібному стані [1].

Усі ВР за схильністю до вибухового перетворення (вибухонебезпека) поділяють чотири групи:

1. Ініціюючі вибухові речовини. Для даної групи характерна детонація. Мають високу чутливість до простих зовнішніх впливів: удару, тертя, наколювання, полум'я чи електричного розряду. Саме ці чинники викликають їх вибух. Ініціюючі ВР звичайно використовують для детонації інших, менш чутливих ВР, тому їх називають первинними. До цієї групи належать: гримуча ртуть $\text{Hg}(\text{ONC})_2$, азид свинцю $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$, тринітрорезорцинат свинцю $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb} \cdot \text{H}_2\text{O}$, тетразен $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_{10}\text{O}$ та інші.

2. Бризантні вибухові речовини. Основним видом їхнього вибухового перетворення також є детонація. Ця група речовин має невисоку чутливість до простих початкових зовнішніх впливів — удару, тертя, наколювання чи дії полум'я. За правилом, детонація бризантних ВР виникає під дією вибуху ініціюючих речовин(первинних), тому їх називають вторинними вибуховими речовинами. Вони широко використовуються для спорядження корпусів артилерійських снарядів, авіаційних бомб та також для бойових частин ракет і реактивних систем. Вони забезпечують основну руйнівну дію боєприпасів. До цієї групи належать: нітрогліцерин, гексоген, октоген, тротил, нітроцелюлоза та багато інших сполук.

3. Метальні вибухові речовини. Для даної групи ВР характерний вибухового перетворення – горіння, що збуджується простим початковим чинником – появленням вогню. До металевих ВР ставлять нітроцелюлозні порохи, димний порох, тверді ракетні палива. Застосовують металеві ВР у якості зарядів в артилерії, у стрілецькій зброї й у ракетних двигунах.

4. Піротехнічні сполуки. Вид вибухового перетворення піротехнічних сполук як і у металевих ВР – горіння. Піротехнічні сполуки застосовують для отримання необхідного піротехнічного ефекту: звуку, кольорового полум'я, диму. Використовують для спорядження запальних і димових ладунків і мін, трасувальних пристроїв, сигнальних патронів, для демонстрації феєрверків. За призначенням піротехнічні сполуки можуть бути, наприклад: освітлювальні, запальні, сигнальні, трасувальні [2].

За здатністю до вибухового перетворення вибухові речовини поділяють на три основні групи: первинні, вторинні та третинні.

1. Первинні. До них відносять ініціюючі ВР. Вони без проблем переходять у стан вибуху та призначені для запуску детонації інших менш чутливих матеріалів.

2. Вторинні. Це переважно бризантні ВР. Вони значно менш чутливі до зовнішніх впливів, тому їх детонацію складніше ініціювати. Також вони мають більшу потужність. Зазвичай вибух таких речовин запускається за допомогою ініціюючих засобів.

3. Третинні. До цієї групи належать речовини зі слабо вираженими вибуховими властивостями. Найчастіше це аміачна селітра та емульсійні суміші окисників із паливом. У звичайних умовах вони відносно безпечні та погано піддаються ініціюванню вибуху, через що іноді їх навіть відносять до умовно невибухових. При змішуванні з горючими компонентами або додаванні спеціальних домішок (сенсibiliзаторів) їх вибухонебезпечність суттєво зростає, що потребує обережного поводження [3].

Фізико-хімічні характеристики ВР

Поведінка ВР під час вибуху визначається комплексом фізико-хімічних характеристик, що впливають на чутливість, потужність, стійкість і безпеку використання.

1. Першою характеристикою є чутливість вибухових речовин. Вона показує, наскільки легко речовина може ініціювати вибух під дією зовнішніх факторів. Наприклад, ініціюючі вибухові речовини (такі як азид свинцю) мають дуже високу чутливість, тоді як бризантні або металеві ВР (тротил, амоніти) є значно стабільнішими.

Для її оцінки проводять випробування на удар, тертя, нагрівання, дію полум'я, ударної хвилі та детонатора. Рівень чутливості, зазвичай, визначають мінімальним імпульсом, необхідним для детонації.

Чутливість удару перевіряють на копрах шляхом скидання вантажу на зразок ВР з різної висоти. Для бризантних ВР використовують вертикальні копри, а результат оцінюють за відсотком вибухів або граничними умовами випробувань. Чутливість до теплового впливу через температуру спалаху — це мінімальна температура, нижче якої при нагріванні протягом 5 хвилин займання не відбувається [4].

2. Другим параметром є швидкість детонації — швидкість поширення хімічної реакції вибухового розкладу. Вона може становити від 1000 до 9000 м/с і визначає руйнівну силу вибуху. Чим вища швидкість детонації, тим більшою є бризантність (подрібнювальна дія вибуху) [5].

3. Теплота вибуху (вимірюється у кДж/кг) відображає кількість енергії, що виділяється під час повного розкладу речовини. Вона безпосередньо впливає на температуру вибухових газів і потужність вибухової хвилі. Висока теплота вибуху характерна для нітросполук та сумішевих ВР.

4. Об'єм газів вибуху, що утворюються при розкладі: чим більший об'єм газоподібних продуктів, тим сильніший тиск створюється в зоні вибуху. Саме гази є основним фактором руйнівної дії вибуху.

5. Густина (вимірюється в г/см³) ВР впливає на швидкість детонації та ефективність вибуху: більш щільні заряди зазвичай забезпечують більш потужний і концентрований вибуховий ефект.

6. До фізико-хімічних характеристик належить і стабільність (хімічна стійкість). Вона визначає здатність вибухової речовини зберігати свої властивості під час зберігання та транспортування. Нестійкі речовини можуть самочинно розкладатися, що робить їх небезпечними.

1.2. Основні джерела забруднення ґрунтового покриву в зоні військових дій

Воєнні дії на території України вже спричинили достатній негативний вплив на навколишнє природне середовище, особливо на ґрунтовий покрив. Ґрунти для всіх мешканців планети є важливою складовою екосистем, оскільки вони забезпечують усі рослини поживними мікроелементами та речовинами, підтримують водний баланс і беруть велику участь у природних біогеохімічних процесах. Під час бойових дій ґрунти зазнають сильного механічного, хімічного та термічного впливу, що призводить до порушення структури, втрати родючості та накопичення небезпечних токсичних речовин. Основними причинами забруднення стають: вибухи боєприпасів по всій території, руйнування промислових і житлових будівель, катастрофічні смертельні пожежі, витоки пального та залишки військової техніки не тільки посеред доріг, а й у самих центрах екосистем.

Горіння лісів, сільськогосподарських угідь, житлових будівель і промислових споруд супроводжується утворенням сажі, золи та продуктів неповного згоряння. Разом із ними у ґрунт потрапляють поліциклічні ароматичні вуглеводні, діоксини та інші стійкі токсичні сполуки, здатні дуже довгий час зберігатися у природному середовищі, а вивести ці сполуки є надзвичайно важко.

Одним із найбільш небезпечних чинників є вибухи артилерійських снарядів, мін, ракет та авіабомб. Під час детонації відбувається руйнування верхніх шарів ґрунту, а в навколишнє середовище потрапляють продукти розкладу вибухових речовин. У ґрунтах накопичуються нітрати, нітрити, оксиди азоту, аміни та залишки органічних сполук, зокрема тротилу й гексогену. Ці речовини мають токсичні властивості та можуть тривалий час зберігатися у ґрунтовому середовищі, поступово проникаючи у нижні горизонти й ґрунтові води, змінювати кислотно-лужний баланс ґрунтів, пригнічують діяльність ґрунтових мікроорганізмів та негативно впливають на процеси гумусоутворення. Особливу небезпеку становлять випадки, коли боєприпас не вибухає повністю, через що частина вибухової речовини залишається у ґрунті [7].

Серйозного забруднення завдає руйнування промислових підприємств, нафтобаз, складів паливно-мастильних матеріалів та енергетичних об'єктів. Після обстрілів у ґрунт потрапляють нафтопродукти, кислоти, луги та важкі метали. Нафтопродукти погіршують повітрообмін у ґрунті, пригнічують діяльність мікроорганізмів і негативно впливають на розвиток рослинного світу. Свинець, кадмій, мідь, ртуть — накопичуються у ґрунтових шарах і можуть потрапляти до харчових ланцюгів, створюючи насамперед небезпеку для людей і тварин.

Пошкоджені танки, бронетранспортери, автомобілі та інша військова техніка. Унаслідок руйнування з неї витікають паливо, мастила, гідравлічні рідини та електроліти, які проникають у ґрунт і змінюють його хімічний склад. Металеві уламки й фрагменти боєприпасів поступово кородують, у результаті чого вивільняються сполуки важких металів.

Нерозірвані боєприпаси та мінно-вибухові загородження не лише створюють загрозу для населення, а й стають джерелом тривалого хімічного забруднення. Під впливом опадів вибухові речовини поступово вимиваються у ґрунт. Наявність мін унеможливорює проведення сільськогосподарських робіт і

відновлення пошкоджених земель, через що території тривалий час залишаються непридатними для використання.

1.3. Основні типи забруднення ґрунтового покриву

Забруднення земель поділяється на три типи. *Механічне забруднення* — це коли змінюється структура ґрунтового покриву. Родючий шар неймовірно цінний для Землі, адже формується тисячоліттями і його неможливо швидко відновити. Коли він руйнується або змішується з іншими шарами, через риття окопів і траншей чи вибухи, він втрачає свої властивості, гірше утримує вологу та стає менш придатним для вирощування врожаю. До механічного забруднення призводить також рух військової техніки, через що ґрунт ущільнюється та стає більш посушливим та схильним до вивітрювання чи вимивання — так званої вітрової або водної ерозії (Рис. 1.1, Рис. 1.2).



Рис.1.1 Вітрова ерозія ґрунту на сільськогосподарських землях [20]



Рис.1.2 Водна струйчаста ерозія ґрунту [21]

Другий тип забруднення – *фізичний*. Це зміни фізичних властивостей ґрунту, які виникають через використання зброї та військової техніки. Основними проявами такого впливу є вібрації, радіаційний та тепловий вплив. Вібраційний вплив проявляється у вигляді коливань, які передаються через ґрунт під час вибухів, стрільби або руху військової техніки. Разові вібрації виникають під час вибухів боєприпасів, а постійні – через роботу техніки та шум бойових дій. Такі коливання можуть ущільнювати ґрунт, витискати з нього воду, викликати просідання поверхні, утворення пустот і зміну рельєфу.

Радіоактивний вплив пов'язаний із накопиченням радіоактивних речовин у ґрунті через використання боєприпасів із збідненим ураном або обладнання з джерелами іонізуючого випромінювання. Водночас варто зазначити, що на території України офіційно не зафіксовано застосування такого типу зброї.

Тепловий вплив виникає через локальне підвищення температури внаслідок вибухів, викидів гарячих газів і роботи техніки. Це призводить до порушення температурного та водного режиму ґрунту, змін його структури та складу. У результаті страждають ґрунтові організми, зменшується рівень кисню та знижується біорізноманіття.

Хімічне забруднення ґрунтів пов'язане з потраплянням у них шкідливих речовин. Це можуть бути витoki пального, продукти горіння, які осідають із повітря, а також токсичні сполуки, що утворюються під час вибухів боєприпасів.

Така проблема небезпечна не тільки для самого ґрунту, але й для людей. Шкідливі речовини можуть проникати у підземні води або накопичуватися в рослинах, які ростуть на забрудненій землі. У результаті вони потрапляють до організму людини разом із питною водою або їжею, що може негативно впливати на здоров'я [6].

Дослідження наслідків такого забруднення для здоров'я поодинокі, але докази його шкоди вже існують. Доведено, що важкі метали можуть сприяти порушенню роботи нервової системи чи системи кровотворення, а деякі навіть можуть нести канцерогенний ефект. Забруднення важкими металами може загрожувати ще й вагітним жінкам та дітям. Так, через вплив високого вмісту барію, молібдену, кобальту та кадмію у Секторі Гази у Палестині почастишали випадки передчасних пологів та вроджених вад у немовлят [8].

За оцінками Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, станом на 2024–2025 роки мільйони гектарів земель зазнали негативного впливу бойових дій. Значна частина цих територій потребує детального обстеження, розмінування та глибокої екологічної оцінки. Найбільш постраждалими є східні та південні регіони України, де відбувалися інтенсивні бойові дії майже без зупинки.

Забруднення ґрунтів у зонах бойових дій має комплексний характер, оскільки поєднує механічний, хімічний і термічний вплив. Наслідки такого навантаження можуть зберігатися роками та створювати серйозні труднощі для відновлення земельних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки й ведення сільського господарства. Саме тому дослідження джерел забруднення та їхнього впливу на ґрунтовий покрив є важливим для проведення моніторингу, розмінування та подальшої рекультивації постраждалих територій.

РОЗДІЛ II. ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВИБУХОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1. Екологічні наслідки деградації ґрунтів унаслідок військового конфлікту

Наша країна має унікальний ґрунтовий покрив — понад 800 видів ґрунтів. Більше 60% площі зайнято чорноземами, які за своїми характеристиками поверхневого шару, властивостями та потенціалом родючості не мають собі рівних.

Особливості ґрунтового покриття території України:

- унікальність ґрунтового покриття — понад 60% ґрунтів чорноземного типу ґрунтоутворення, що мають високий потенціал родючості (9% світових площ і 28% європейських площ);
- значне поширення малопродуктивних (піщані, еродовані, кислі, засолені, солонцеві), деградованих (до 10-12 млн га) і техногенно забруднених ґрунтів (до 20% від площі ріллі), які потребують проведення заходів з охорони і відтворення родючості ґрунтів;
- під впливом воєнних дій перебуває понад 15 млн га земель, де поширені процеси механічної, хімічної, фізичної, фізико-хімічної та біологічної деградації земель [9].

Деградація ґрунтів унаслідок військового конфлікту стала комплексним процесом, що включає всі зміни ґрунтового покриття під впливом вибухових речовин, бойової техніки та зруйнованої інфраструктури. Умови війни не дають працювати механізмам ґрунтоутворення та призводять до втрати основних екологічних функцій ґрунтів, тобто їх родючості, здатності до самоочищення та підтримання і збагачення біорізноманіття. Одним із надважливих наслідків деградації ґрунтів стало істотне посилення ерозійних процесів, які набувають особливої інтенсивності в умовах порушення природної рівноваги екосистем. Руйнування рослинного покриття, що виконує захисну функцію, різко зменшує

стійкість ґрунту до зовнішніх впливів. У звичайних умовах коренева система рослин утримує ґрунтові частинки, знижує швидкість поверхневого стоку води та запобігає видуванню дрібнодисперсних часток вітром. Після її знищення ці природні механізми захисту практично припиняють діяти.

Також руйнується структура ґрунту внаслідок пересування важкої техніки. Ґрунт втрачає свою агрегатну стабільність, ущільнюється або, навпаки, стає надмірно розпушеним, що одразу порушує водно-повітряний режим. У таких умовах дощові опади швидше формують поверхневий стік, який змиває дрібні частинки ґрунту, тоді як вітер легше підхоплює незакріплений верхній шар. Результатом деградації є поява водної та вітрової ерозії, що призводить до поступового змивання та видування найціннішої частини ґрунтового профілю — гумусового горизонту. Саме він містить основну частину поживних речовин і забезпечує родючість земель. Його втрата є критичною, оскільки відновлення гумусового шару в природних умовах відбувається надзвичайно повільно.

Наслідком ерозійних процесів є зниження агрономічної продуктивності ґрунтів, погіршення їхньої здатності утримувати вологу та зменшення стійкості до посух і інших кліматичних впливів. У перспективі це призводить до деградації сільськогосподарських угідь і значного ускладнення їх відновлення та використання [10].

2.2. Можливий механізм міграції вибухових речовин та їх взаємодія з компонентами ґрунту

Міграція вибухових речовин у ґрунті — це тривалий процес, який не відбувається одразу після вибуху снарядів. Коли боєприпаси детонують, у ґрунті залишаються різні хімічні сполуки, наприклад, тротил, гексоген, пентрит та інші продукти вибуху. З моменту вибуху сполуки поступово змінюються та переміщуються в ґрунтовому середовищі, з урахуванням природних умов.

Найпоширеніший шлях розповсюдження речовин разом із водою. Під час дощів, зливів або танення снігу вода просочується в ґрунт і «підхоплює» розчинені або частково розчинені речовини, переносячи з собою їх у глибші шари. Швидкість цього процесу сильно залежить від типу ґрунту. У піщаних ґрунтах, де є багато великих пор і висока проникність, вода проходить стрімко, тому й забруднення переміщується інтенсивніше. У глинистих ґрунтах, навпаки, рух значно повільніший через надщільну структуру і здатність утримувати вологу та домішки.

Деяка частина речовин затримується в ґрунті, оскільки прилипає до поверхні ґрунтових частинок, особливо глини та органічної речовини — гумусу. З одного боку, це ніби фіксує забруднення на місці, зменшуючи його рухливість, а з іншого — створює довготривале джерело забруднення, яке може залишатися в ґрунті роками. Якщо змінюються умови, наприклад, підвищується вологість або температура середовища, то ці речовини можуть знову переходити в рухомий стан і продовжувати міграцію.

Важливим чинником є розчинність вибухових сполук у воді. Деякі з них здатні проникати дуже глибоко і навіть досягати рівня ґрунтових вод, створюючи ризик їх забруднення. Інші залишаються у верхніх шарах ґрунту, накопичуючись у зоні активного укорінення рослинності. Через це забруднення розподіляється нерівномірно і часто має «плямистий» характер.

З часом ці ВР не залишаються незмінними. Під впливом мікроорганізмів, кисню, вологи та сонячного світла вони поступово розкладаються або перетворюються на інші сполуки. Частина з них може ставати менш небезпечною, але інколи утворюються проміжні продукти, які є ще більш стійкими або довше зберігаються в ґрунті. Це ускладнює природне самоочищення екосистеми.

Міграція відбувається не тільки за рахунок води. Навіть без сильного водного потоку речовини можуть повільно переміщуватися в поровому просторі ґрунту завдяки дифузії та капілярним процесам. Усі ці механізми працюють одночасно і взаємодіють, тому поведінка забруднювачів є дуже

складною і часто непередбачуваною. Вітрова міграція відбувається, коли після вибуху на поверхні залишаються дрібнодисперсні частинки ґрунту, пилу та залишки ВР, тоді ці частинки підхоплюються повітряним потоком і переносяться на різні відстані (від сантиметрів до кілометрів).

У результаті ґрунт перетворюється на середовище, де постійно відбувається взаємодія фізичних, хімічних і біологічних процесів, тому забруднення вибуховими речовинами може зберігатися тривалий час і поступово впливати як на якість ґрунту, так і на екосистему загалом [11].

2.3. Вплив токсичного забруднення ґрунтів на рослинний покрив, біорізноманіття та родючість ґрунтів

Токсичне забруднення ґрунтів, спричинене воєнними процесами, є одним із найнебезпечніших екологічних питань, оскільки воно призводить до погіршення стану ресурсів землі, зниження їхньої родючості та несе прямий негативний вплив на живі організми. У попередніх розділах було зазначено, що в процесі вибухів, обстрілів і руйнування промислових та цивільних об'єктів у ґрунт потрапляють залишки вибухових речовин, важкі метали, паливно-мастильні матеріали та інші токсичні сполуки. У результаті цього змінюються фізичні й хімічні характеристики ґрунту, порушується природний рівень кислотності, пригнічуються біологічні процеси та знижується здатність ґрунту забезпечувати нормальний розвиток рослинності й ґрунтових організмів.

Особливу небезпеку становлять нітрати, нітрити, аміни та поліциклічні ароматичні вуглеводні, які утворюються після детонації боєприпасів і накопичуються переважно у верхньому шарі ґрунту та негативно впливають на життєдіяльність мікроорганізмів. Порушення мікробіологічних процесів уповільнює розкладання органічних решток і процес утворення гумусу, через що погіршується структура ґрунту та поступово знижується його продуктивність [7]. У ґрунті живе велика кількість організмів — бактерій,

грибів, комах і безхребетних, які забезпечують розкладання органічних речовин та формування родючого шару. Через токсичне забруднення їх чисельність різко зменшується. Це порушує природні біологічні процеси та негативно впливає на весь ланцюг живлення.

Важкі метали — свинець, кадмій, ртуть, мідь та цинк, що потрапляють у ґрунт із уламків боєприпасів та військової техніки, здатні накопичуватися у ґрунтовому профілі протягом тривалого часу, створюючи небезпечні умови для флори і ґрунтової фауни. На територіях, які зазнали інтенсивних бойових дій, фіксується перевищення допустимих концентрацій важких металів у кілька разів, що призводить до пригнічення росту рослин, погіршення врожайності та зниження якості сільськогосподарської продукції.

Небезпека токсичного забруднення полягає також у тому, що шкідливі речовини можуть переходити з ґрунту в рослини, а далі — у харчові ланцюги. Унаслідок цього виникає загроза для тварин і здоров'я людини. Також до хімічних змін, у ґрунті відбуваються і фізичні порушення: він ущільнюється, втрачає здатність добре пропускати воду й повітря, що додатково ускладнює розвиток рослин та ґрунтових організмів.

Забруднення токсичними речовинами прямо впливає на ріст і розвиток рослин та екосистем. Коренева система може пошкоджуватися, а здатність рослин поглинати воду та поживні речовини знижується. У результаті рослини можуть гинути або розвиватися значно повільніше. На забруднених територіях часто зменшується кількість видів рослин, а залишаються лише ті, які є більш стійкими до несприятливих умов (соняшник, ріпак, верба).

Війна суттєво впливає на міграцію тварин та їхні популяції, особливо тих видів, що занесені до Червоної книги України.

Під час війни стали актуальними такі проблеми пов'язані з тваринним світом:

- порушення міграційних шляхів;
- стрес і дезорієнтація тварин;
- зменшення чисельності популяцій;

– фрагментація середовища існування.

До прикладу, підлив Каховської ГЕС спричинив катастрофічні наслідки для природи Європи — найбільші від початку війни. Вони торкнулися всього живого під водою і на землі. У багатьох груп тварин (як наземних, так і водних) на час підливу греблі тривав період розмноження або вже було молоде покоління 2023 року. Через раптовий та стрімкий перебіг подій у перші хвилини після катастрофи у більшості тварин не було шансу врятуватися в бурхливому потоці води завтовшки кілька метрів. Додатково ситуацію погіршили дезорієнтація у нічну пору та відсутність природних механізмів протидії таким факторам у видів степової зони, пристосованих до посушливих умов. Також можна припускати і масову загибель водних тварин, які мешкали в нижній течії Дніпра та були винесені у солоні води Чорного моря або засипані товстим шаром забрудненого мулу (Рис.2.1.). Це багато видів молюсків, ракоподібних, комах різних груп, червів, а також хребтних – риб, земноводних і ссавців, що традиційно мешкають у воді (бобри, видри) [11].

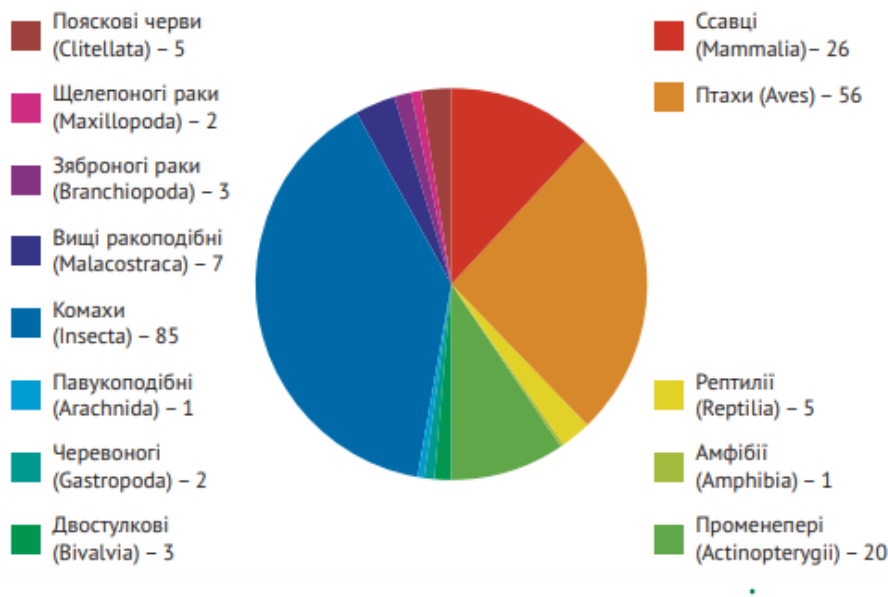


Рис. 2.1 Рідкісні види тварин, що опинилися під загрозою внаслідок Каховської катастрофи [11]

Однією з головних проблем є зниження рівня ґрунтових вод. Раніше водосховище підтримувало стабільну вологість ґрунтів, а після його осушення вода опустилася значно нижче. Через це багато рослин, які потребують вологих умов, не можуть виживати, що змінює рослинні угруповання і впливає на всю екосистему.

Здоров'я ґрунтів погіршилося через посилення вітрової ерозії. Засолення ґрунтів створило ризики для сільськогосподарської продуктивності та здоров'я людей.

РОЗДІЛ III. МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ВИБУХОВИМИ РЕЧОВИНАМИ

3.1. Методи моніторингу забруднених ґрунтів

Методи екологічного моніторингу ґрунтів після воєнного впливу є ключовими для оцінювання стану земельних ресурсів, виявлення зон забруднення та планування заходів щодо їх відновлення. Вони дозволяють визначити як фізичні, так і хімічні зміни, що відбулися в ґрунтовому покриві під час проходження військової техніки, вибухів та інших бойових дій, а також оцінити масштаби руйнування та деградації. Ефективність моніторингу ґрунтів значною мірою залежить від комплексного застосування різних методів, що включають візуальні, геофізичні та дистанційні підходи і не тільки.

Візуальна оцінка є найпростішим і водночас ефективним методом первинного огляду території. За допомогою цього підходу фахівці визначають зміни поверхневого шару ґрунту, такі як утворення воронки після детонацій, ущільнення ґрунту внаслідок проходження важкої техніки, перемішування горизонтів та інші видимі пошкодження. Візуальна оцінка дозволяє швидко виявити критично уражені ділянки та скласти попередню карту забруднення для подальшого детального дослідження. Особливо важливо використовувати цей метод у поєднанні з фото- та відеофіксацією, що забезпечує документування змін та дає змогу проводити порівняльний аналіз стану ґрунтів у різні періоди часу. До біоіндикаційних методів належать:

- використання натренованих службових собак, які здатні відчувати випари вибухівки, навіть якщо вона глибоко в ґрунті.

- рослини-індикатори являють собою генетично модифіковані рослини, які змінюють колір (наприклад, стають червоними) у присутності діоксиду азоту, що виділяється з вибухівки у ґрунті.

Геофізичні методи дослідження ґрунтів доповнюють візуальний огляд, надаючи більш точну інформацію про внутрішню структуру ґрунтового профілю та приховані пошкодження. До таких методів належать використання ґрунтових зондів, які дозволяють оцінити щільність ґрунту та наявність ущільнених горизонтів, електропровідність для виявлення зон підвищеного забруднення та магнітометрія, що допомагає ідентифікувати залишки металевих частин військової техніки або боєприпасів, захованих у ґрунті. Ці методи дозволяють отримати кількісні дані про стан ґрунту, оцінити глибину та інтенсивність забруднення, а також визначити потенційні ризики для екосистем та людини.

Дистанційне зондування є сучасним і високоефективним інструментом моніторингу територій у складних умовах, коли доступ до ділянок обмежений або небезпечний. Супутникові знімки дозволяють оцінити масштаби пошкодження ґрунтового покриву на великій площі та відстежити зміни структури ґрунту в динаміці.

Використання безпілотних літальних апаратів (дронів) дає можливість отримувати високоточні аерофотознімки та відеоматеріали, аналізувати стан рослинного покриву, визначати ділянки ерозії, ущільнення та воронки після вибухів. Дані дистанційного зондування інтегруються з географічними інформаційними системами (ГІС), що дозволяє створювати детальні карти пошкоджених ґрунтів і планувати рекультиваційні заходи [13].

Комплексне застосування візуальних, геофізичних та дистанційних методів моніторингу забезпечує всебічну оцінку стану ґрунтів, дозволяє виявляти як видимі, так і приховані пошкодження, а також своєчасно визначати пріоритетні зони для відновлення та рекультивації. Такий підхід є особливо важливим у постконфліктних умовах, коли точна оцінка стану земельних

ресурсів є необхідною для збереження родючості, безпеки екосистем та планування подальшого використання територій.

3.2. Методи оцінки й виявлення вибухових речовин в ґрунтах та проблеми ідентифікації

Методи виявлення вибухових речовин у ґрунтах — це об'єднання польових і лабораторних підходів, які дозволяють визначити наявність, склад і концентрацію вибухових сполук у ґрунтового середовищі.

Після воєнних дій оцінка стану ґрунтів неможлива без застосування сучасних лабораторних методів аналізу, які дозволяють отримати точну інформацію про ураження і склад ґрунтового покриву. Лабораторні дослідження є ключовими у виявленні ВР, оцінці деградації ґрунтів та плануванні заходів щодо їх відновлення. Вони дозволяють не лише виявити наявність залишків токсинів і важких металів, а й оцінити вплив забруднення на біоту та родючість земель.

Першим етапом дослідження є правильний відбір проб ґрунту. Зразки відбирають командою у різних точках та на різній глибині, оскільки токсичні речовини накопичуються як у поверхневому шарі, так і в нижніх горизонтах. Особливу увагу приділяють територіям поблизу місць вибухів, складів боєприпасів, позицій військової техніки та ділянок пожеж. Для забезпечення достовірності результатів проби герметично упаковують і перевозять до лабораторії відповідно до встановлених стандартів.

Одним із найважливіших напрямів є хімічний аналіз ґрунтів. У лабораторіях визначають концентрацію важких металів (свинцю, кадмію, міді, ртуті, цинку та нікелю), які потрапляють у ґрунт із уламків частин снарядів, пального військової техніки та загалом від зброї. Також проводять дослідження на вміст вибухових речовин — тротилу, гексогену, октогену та продуктів їх розкладу.

Важливим показником є кислотність ґрунту (рН), оскільки після вибухів і пожеж вона часто змінюється. Порушення кислотно-лужного балансу впливає на активність мікроорганізмів, доступність поживних елементів та здатність кореневих систем нормально розвиватися. Крім цього, визначають вміст азоту, фосфору, калію та органічної речовини, що дозволяє оцінити рівень родючості й придатність земель до подальшого використання.

Фізичні дослідження у лабораторних умовах, встановлюють зміни структури ґрунту, визначають щільність, пористість, водопроникність і вологоємність. Такі показники допомагають оцінити ступінь ризику розвитку ерозійних процесів. Засоленість ґрунту виникає через руйнування зрошувальних каналів, вигорання органіки та потрапляння токсичних речовин, що знижує родючість і робить поля непридатними для сільського господарства, але стан ґрунту при цьому можна відновити. На засолених полях рослини страждають від осмотичного стресу через погане поглинання води. Аналіз на засолення допомагає зрозуміти, чи може конкретна ділянка використовуватися як сільськогосподарська територія. Зазвичай, засоленість земель аналізують шляхом:

- випаровування загальної кількості розчинних солей з витяжки води та ґрунту;
- вимірювання електропровідності насиченого екстракту пасти або дистильованого водно-земельного розчину [14].

Біологічні дослідження у лабораторіях спрямовані на оцінку стану ґрунтової мікрофлори та живих організмів, які є індикаторами екологічного стану території (частини екосистеми). У лабораторіях досліджують активність мікроорганізмів, кількість ґрунтових безхребетних тварин та реакцію рослин на токсичне середовище. Біотестування дозволяє визначити, чи здатний ґрунт до самовідновлення.

Для проведення сучасних лабораторних досліджень використовують високоточне обладнання: спектрофотометри, хроматографи, атомно-абсорбційні спектрометри та мас-спектрометри. Завдяки ним можна виявляти

навіть мінімальні концентрації небезпечних речовин. Після отриманих результатів створюють карти забруднення, оцінюють екологічні ризики і відбирають найбільш ефективні методи рекультивації та очищення ґрунтів.

Проблема ідентифікації вибухових речовин у ґрунтах є однією з ключових екологічних і техногенних задач сучасності, особливо в умовах територій, що зазнали впливу військових дій. У ґрунтового середовищі можуть накопичуватися залишки небезпечних сполук, які характеризуються високою токсичністю, стійкістю до природного розкладу та здатністю до міграції у ґрунтового профілі. Основна складність ідентифікації цих речовин полягає в необхідності точно визначити їхню наявність, хімічну природу та концентрацію в умовах складної багатоконпонентної системи ґрунту. Важливим ускладнюючим фактором є те, що вибухові речовини часто присутні у слідових кількостях — на рівні мікро- або наноконцентрацій, що значно ускладнює їх виявлення навіть за допомогою сучасних аналітичних методів.

Проблему також посилює неоднорідність ґрунтів, які складаються з мінеральної частини, органічної речовини, води та повітря, що створює значні перешкоди для точного визначення цільових сполук. У процесі перебування у ґрунті вибухові речовини можуть зазнавати хімічних трансформацій під впливом мікроорганізмів, ультрафіолетового випромінювання та вологи, утворюючи похідні сполуки, які відрізняються за властивостями від початкових речовин і ускладнюють їх ідентифікацію.

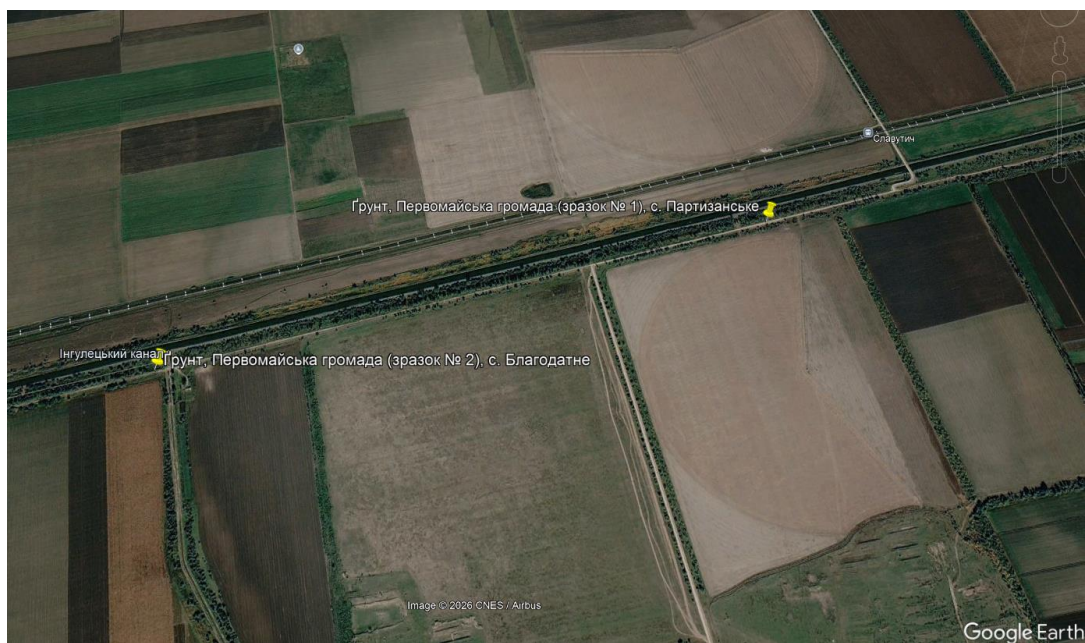
Молекули вибухових речовин здатні адсорбуватися на поверхні ґрунтових частинок, особливо гумусу та глинистих мінералів, що знижує їх доступність для вилучення під час лабораторного аналізу. Значну проблему становить також інтерференція — наявність у ґрунті інших органічних речовин, таких як нафтопродукти або пестициди, які можуть давати подібні аналітичні сигнали та призводити до помилкових результатів. Просторова неоднорідність забруднення, що проявляється у вигляді локальних осередків, ще більше ускладнює процес ідентифікації, оскільки результати значною мірою залежать від правильності відбору проб.

Велику складність становить етап пробопідготовки, який включає екстракцію вибухових речовин із ґрунту без їх руйнування та втрат, що вимагає застосування спеціалізованих методик і високої кваліфікації персоналу. При цьому навіть за використання сучасного обладнання, такого як газова або рідинна хроматографія у поєднанні з мас-спектрометрією, залишається ризик отримання хибнопозитивних або хибнонегативних результатів.

Усе це зумовлює необхідність комплексного підходу до вирішення проблеми ідентифікації вибухових речовин у ґрунтах, який повинен включати ретельно спланований відбір проб, застосування високочутливих аналітичних методів, а також контроль якості отриманих даних. Вирішення цієї проблеми є важливим не лише для забезпечення екологічної безпеки, а й для ефективного розмінування територій, відновлення сільськогосподарських земель та мінімізації ризиків для здоров'я населення.

3.3. Матеріали та методи дослідження зразків ґрунту

Відбір проб ґрунту відбувався 27 червня 2025 року у рамках програми Ukraine Future Leaders Program (UFLP) відповідно до вимог ДСТУ ISO 10381-2:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб». Відбір проводили біля доріг на території Миколаївської області — с. Партизанське та с. Благодатне, що зазнали впливу воєнних дій та антропогенного навантаження внаслідок ведення бойових дій ще у 2022 році. Досліджувані ділянки характеризувалися наявністю порушеного ґрунтового покриття, механічних пошкоджень поверхні та можливого накопичення токсичних речовин.



Зображені точки розташування взяття проб на карті Google Earth Pro

Рис. 3.1 Координати місця відбору проб 1, 2

1. Грунт, Первомайська громада (зразок № 1), с. Партизанське;
Координати: 47.04868 N, 32.54597 E
2. Грунт, Первомайська громада (зразок № 2), с. Благодатне
Координати: 47.02412 N, 32.31256 E

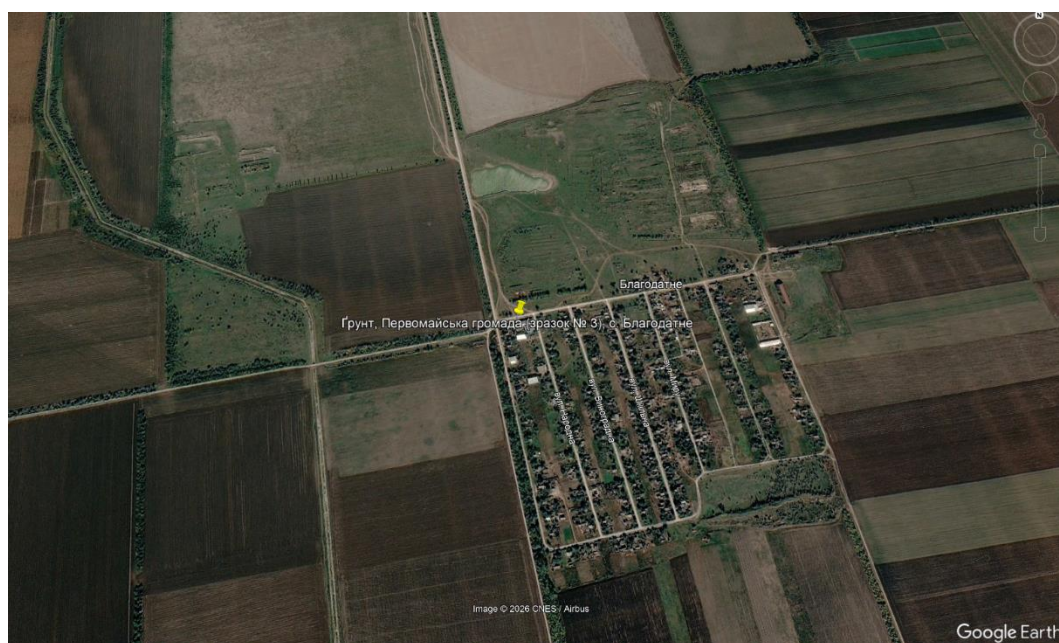


Рис. 3.2 Координати місця відбору 3 проби

3. Грунт, Первомайська громада (зразок № 3), с. Благодатне

Координати: 47.03339 N, 32.54370 E

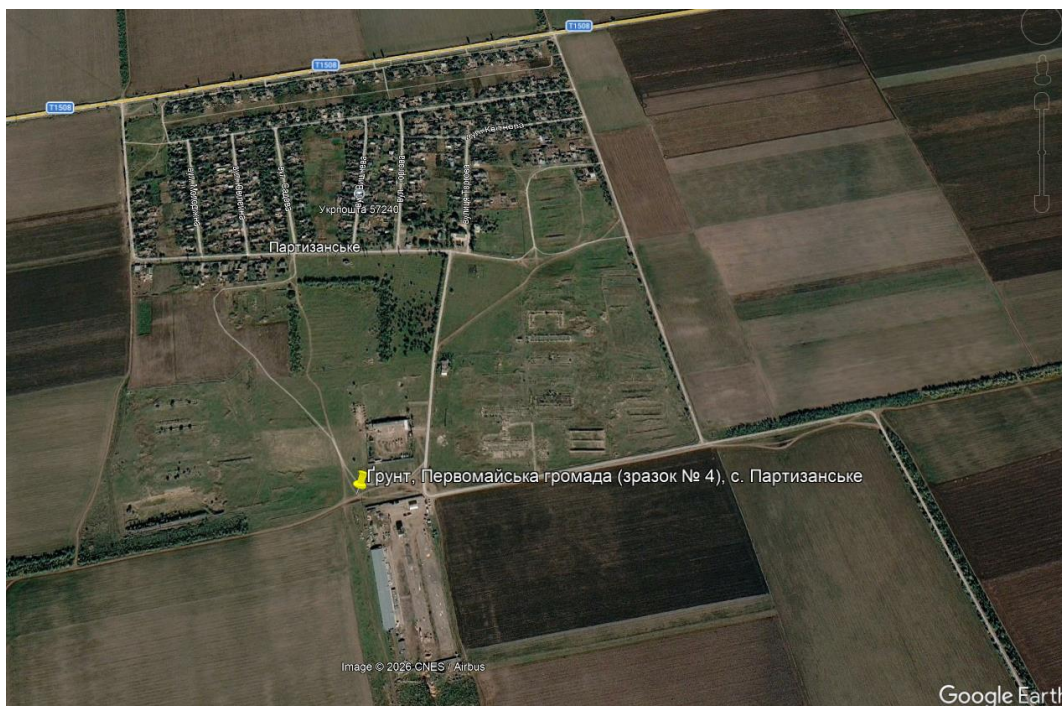


Рис. 3.3. Координати місця відбору 4 проби

4. Координати: 47.06417 N, 32.53323 E

Проби відбирали методом «конверта». Для отримання репрезентативної проби ґрунту з досліджуваної території відбір здійснювали у п'яти точках: по чотирьох кутах умовної ділянки та в її центральній частині. Такий підхід дозволив більш об'єктивно оцінити стан ґрунтового покриву та зменшити можливу похибку під час дослідження. У кожній точці відбирали ґрунт з поверхневого шару глибини 0–20 см за допомогою совка та лопати. Саме цей шар є найбільш вразливим до накопичення забруднювальних речовин і найчастіше піддається негативному впливу внаслідок воєнної діяльності.

Після цього окремі точкові проби ретельно змішували для формування середньої (об'єднаної) проби, яку використовували для подальших лабораторних досліджень. Перед змішуванням із проб видаляли рослинні рештки, каміння та сторонні домішки, які могли вплинути на точність результатів аналізу.

Відібрані проби поміщали в герметичні поліетиленові пакети темних кольорів, герметично запокувували, маркували маркером і транспортували до Української лабораторії якості та безпеки сільськогосподарської продукції Національного університету наук України для визначення рівня забруднення ґрунту важкими металами та іншими шкідливими речовинами. Маркування містило інформацію про місце відбору, координати розташування, дату та номер зразка. Транспортування здійснювали з дотриманням умов, необхідних для збереження природних фізико-хімічних властивостей ґрунту до моменту проведення лабораторного аналізу.

Методи лабораторного дослідження для даних зразків

1. Визначення рН обмінної (сольова витяжка) – ДСТУ ISO 10390:2022 Ґрунт, оброблені біовідходи та осад. Визначення рН (ISO 10390:2021, IDT).
2. Визначення органічної речовини (гумусу) – ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. П. 8.1.
3. Визначення вмісту амонійного та нітратного азоту в ґрунті – ДСТУ 4729:2007 Якість ґрунту. Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського.
4. Визначення вмісту рухомого фосфору в ґрунті – ДСТУ 4114-2002 Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна. Визначення масової частки елементів – РМ.УЛ 5.4-100 Визначення вмісту елементів (Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn, Be, Mo, Se, Ti, V, As, Hg, S, P) методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою.
5. ISO/TS 16965:2013 Soil quality. Determination of trace elements using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).
6. Визначення вмісту рухомого кадмію - ДСТУ ISO 14870-2005 Якість ґрунту. Екстрагування слідів елементів буферним розчином ДТПО.

7. Визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів - ДСТУ ISO 13877:2005 Якість ґрунту. Визначення багатоядерних ароматичних вуглеводнів методом вискоєфективної рідинної хроматографії. Скринінг хімічного складу зразків на визначення поліароматичних вуглеводнів виконувався методом газової хроматографії з мас-спектрометричним детектуванням (прилад Agilent 7890A/5975C). Ідентифікацію виявлених поліароматичних вуглеводнів проводили шляхом співставлення отриманих мас-спектрів з базою даних DRS-database, що інтегрована з програмним забезпеченням приладу DRS-AMDIS. ⁽⁶⁾SIST ISO 18287:2019 Soil quality - Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) - Gas chromatographic method with mass spectrometric detection (GC-MS) (Якість ґрунту. Визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ). Метод газової хроматографії з мас-спектрометричним виявленням (GC-MS)).
8. Визначення вмісту нітроароматичних сполук та нітроамінів у ґрунті та у воді методом вискоєфективної рідинної хроматографії (METHOD 8330A).

РОЗДІЛ IV. АНАЛІЗ ДАНИХ ЩОДО ВИКИДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

4.1 Результати дослідження зразків ґрунту за із зони бойових дій

Лабораторні дослідження зразка ґрунту (Таблиці 4.1. – 4.16.), дані якого отримані у рамках програми [22] оцінки забруднення ґрунту та геологічного середовища, спричиненого бойовими діями в Миколаївській області внаслідок російської військової агресії проти України, відібраного на обстріляному та замінованому полі поблизу, свідчать про суттєві зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту та наявність окремих небезпечних забруднювачів. Аналіз показників дає змогу оцінити стан родючості ґрунту, рівень токсичного навантаження та потенційні екологічні ризики.

Таблиця 4.1

Результати визначення показників якості ґрунту Зразок № 1, с.

Партизанське

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>⁽¹⁾Результати випробувань</i>	<i>⁽²⁾Розширена невизначеність</i>	<i>Групування ґрунтів за показниками родючості згідно ⁽³⁾НД</i>	
рН сольової витяжки, одиниці рН	7,26	0,02	7,1-7,5	близькі до нейтральних
Органічна речовина (гумус), %	2,48	0,31	2,1-3,0	середній
Нітратний азот (NO ₃), мг/кг	6,52	0,83	16-24	середній
Амонійний азот (NH ₄), мг/кг	10,98	0,57		
Рухомий фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг	45,07	3,43	31-45	підвищений

**Вміст валових форм хімічних елементів, визначений методом атомної
емісії з індуктивно-зв'язаною плазмою Зразок № 1, с. Партизанське**

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>⁽¹⁾Результати випробувань</i>	<i>⁽²⁾Розширена не-визначеність</i>	<i>Межа детектування, мг/кг</i>	<i>Нормативи ГДК згідно ^(4,5)НД</i>
1	2	3	4	5
Масова частка алюмінію (Al), г/кг	19,23	1,39	0,10	не нормується
Масова частка заліза (Fe), г/кг	17,90	1,31	0,10	не нормується
Масова частка кальцію (Ca), г/кг	7,63	0,64	0,10	не нормується
Масова частка калію (K), г/кг	5,96	0,52	0,10	не нормується
Масова частка магнію (Mg), г/кг	3,74	0,35	0,10	не нормується
Масова частка марганцю (Mn), мг/кг	651,88	78,65	0,10	^(4,5) 1500 загальносанітарний
Масова частка фосфору(P), мг/кг	525,38	65,48	0,10	не нормується
Масова частка фосфору (P ₂ O ₅), мг/кг	2406,24	299,90	-	^(4,5) 200 транслокаційний
Масова частка барію(Ba), мг/кг	91,84	14,88	0,10	⁽⁴⁾ 200
Масова частка натрію(Na), мг/кг	126,61	19,55	0,10	не нормується

1	2	3	4	5
Масова частка цинку (Zn), мг/кг	57,77	10,04	0,10	не нормується
Масова частка стронцію (Sr), мг/кг	33,37	6,30	0,10	не нормується
Масова частка нікелю (Ni), мг/кг	29,95	5,74	0,10	не нормується
Масова частка хрому (Cr), мг/кг	24,71	4,88	0,10	не нормується
Масова частка кобальту (Co), мг/кг	14,29	3,06	0,10	не нормується
Масова частка свинцю (Pb), мг/кг	12,96	2,82	0,10	^(4,5) 32 загальносанітарний
Масова частка загального миш'яку (As), мг/кг	12,9	1,8	0,05	^(4,5) 2,0 транслокаційний
Масова частка міді (Cu), мг/кг	12,41	2,72	0,10	не нормується
Масова частка літію (Li), мг/кг	11,97	2,64	0,10	не нормується
Масова частка бору (B), мг/кг	1,79	0,53	0,10	⁽⁴⁾ 30
Масова частка загального кадмію (Cd), мг/кг	0,54	0,19	0,10	⁽⁴⁾ 3,0
Масова частка рухомого кадмію (Cd), мг/кг	0,033	0,018	0,02	не нормується
Масова частка срібла (Ag), мг/кг	0,22	0,02	0,05	не нормується

Результати визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ)

Зразок № 1, с. Партизанське

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>(1) Результати випробувань</i>	<i>(2) Розширена невизначеність</i>	<i>Межа кількісного визначення, LOQ</i>	<i>Нормативи ГДК згідно (4,5) НД</i>
Нафтален, мг/кг	0,004	0,002	0,001	не нормується
Аценафтен, мг/кг	0,008	0,004	0,002	не нормується
Флуорен, мг/кг	0,016	0,007	0,003	не нормується
Фенантрен, мг/кг	0,218	0,032	0,002	не нормується
Антрацен, мг/кг	0,013	0,006	0,002	не нормується
Флуорантен, мг/кг	0,487	0,057	0,002	не нормується
Пірен, мг/кг	0,509	0,065	0,002	не нормується
Бенз(а)нтрацен, мг/кг	0,141	0,019	0,001	не нормується
Хризен, мг/кг	0,179	0,024	0,002	не нормується
Бенз(б)флуорантен, мг/кг	0,277	0,029	0,002	не нормується
Бенз(к)флуорантен, мг/кг	0,110	0,014	0,002	не нормується
Бенз(а)пірен, мг/кг	0,185	0,024	0,002	0,02 (загальносанітарний)
Дибенз(а,һ)антрацен, мг/кг	0,030	0,005	0,001	не нормується
Бенз(ɡ,һ,і)перилен, мг/кг	0,157	0,013	0,002	не нормується
Індено(1,2,3-сd)пірен мг/кг	0,150	0,017	0,002	не нормується

Результати визначення залишків вибухових речовин (нітроароматичних сполук та нітроамінів) Зразок № 1, с. Партизанське

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>Результати випробувань</i>	<i>⁽¹⁾Розширена невизначеність</i>	<i>Межа кількісного визначення, LOQ</i>
ВЕРХ метод:			
Октоген (HMX), мг/кг	не ідентифіковано (<0,150)	-	0,150
Гексоген (RDX), мг/кг	не ідентифіковано (<0,150)	-	0,150
1,3,5-тринітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,070)	-	0,070
1,3-динітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,040)	-	0,040
Тетрил, мг/кг	не ідентифіковано (<0,170)	-	0,170
Нітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,280)	-	0,280
2,4,6-тринітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,100)	-	0,100
4-аміно-2,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,200)	-	0,200
2-аміно-4,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,170)	-	0,170
2,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,200)	-	0,200
2,4-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,100)	-	0,100
2-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270
4-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270
3-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270

Таблиця 4.5

Результати визначення показників якості ґрунту Зразок № 2, с. Благодатне

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>(1) Результати випробувань</i>	<i>(2) Розширена невизначеність</i>	<i>Групування ґрунтів за показниками родючості згідно (3) НД</i>	
рН сольової витяжки, одиниці рН	7,30	0,01	7,1-7,5	близькі до нейтральних
Органічна речовина (гумус), %	2,93	0,03	2,1-3,0	середній
Нітратний азот (NO ₃), мг/кг	4,47	0,11	11-15	низький
Амонійний азот (NH ₄), мг/кг	7,59	0,59		
Рухомий фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг	29,60	0,51	16-30	середній

Таблиця 4.6

Вміст валових форм хімічних елементів, визначений методом атомної емісії з індуктивно-зв'язаною плазмою Зразок № 2, с. Благодатне

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>(1) Результати випробувань</i>	<i>(2) Розширена невизначеність</i>	<i>Межа детектування, мг/кг</i>	<i>Нормативи ГДК згідно (4,5) НД</i>
Масова частка алюмінію (Al), г/кг	24,33	1,70	0,10	не нормується
Масова частка заліза (Fe), г/кг	21,87	1,56	0,10	не нормується
Масова частка кальцію (Ca), г/кг	19,60	1,42	0,10	не нормується

г/кг				
Масова частка магнію (Mg), г/кг	5,23	0,46	0,10	не нормується
Масова частка калію (K), г/кг	4,86	0,43	0,10	не нормується
Масова частка марганцю (Mn), мг/кг	732,25	86,81	0,10	^(4,5) 1500 загальносанітарний
Масова частка фосфору (P), мг/кг	667,00	80,20	0,10	не нормується
Масова частка фосфору (P ₂ O ₅), мг/кг	3051,86	367,32	-	^(4,5) 200 транслокаційний
Масова частка натрію (Na), мг/кг	185,01	26,98	0,10	не нормується
Масова частка барію (Ba), мг/кг	119,91	16,43	0,10	⁽⁴⁾ 200
Масова частка цинку (Zn), мг/кг	73,34	12,29	0,10	не нормується
Масова частка стронцію (Sr), мг/кг	57,21	9,95	0,10	не нормується
Масова частка нікелю (Ni), мг/кг	33,38	6,30	0,10	не нормується
Масова частка хрому (Cr), мг/кг	29,59	5,69	0,10	не нормується
Масова частка літію (Li), мг/кг	18,80	3,87	0,10	не нормується

Масова частка загального миш'яку (As), мг/кг	14,1	2,7	0,05	^(4,5) 2,0 транслокаційний
Масова частка кобальту (Co), мг/кг	13,88	2,99	0,10	не нормується
Масова частка свинцю (Pb), мг/кг	13,70	2,96	0,10	^(4,5) 32 загальносанітарний
Масова частка міді (Cu), мг/кг	11,80	2,60	0,10	не нормується
Масова частка бору (B), мг/кг	2,04	0,59	0,10	⁽⁴⁾ 30
Масова частка загального кадмію (Cd), мг/кг	0,72	0,24	0,10	⁽⁴⁾ 3,0
Масова частка рухомого кадмію (Cd), мг/кг	0,037	0,02	0,02	не нормується
Масова частка вісмуту (Bi), мг/кг	0,33	0,07	0,002	не нормується
Масова частка срібла (Ag), мг/кг	0,25	0,04	0,05	не нормується

Результати визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ)

Зразок № 2, с. Благодатне

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>⁽¹⁾Результати випробувань</i>	<i>⁽²⁾Розширена невизначеність</i>	<i>Межа кількісного визначення, LOQ</i>	<i>Нормативи ГДК згідно (4,5) НД</i>
Нафтален, мг/кг	0,010	0,004	0,001	не нормується
Аценафтен, мг/кг	0,006	0,003	0,002	не нормується
Флуорен, мг/кг	0,006	0,002	0,003	не нормується
Фенантрен, мг/кг	0,114	0,050	0,002	не нормується
Антрацен, мг/кг	0,007	0,003	0,002	не нормується
Флуорантен, мг/кг	0,329	0,041	0,002	не нормується
Пірен, мг/кг	0,431	0,056	0,002	не нормується
Бенз(а)нтрацен, мг/кг	0,154	0,020	0,001	не нормується
Хризен, мг/кг	0,170	0,023	0,002	не нормується
Бенз(б)флуорантен, мг/кг	0,310	0,032	0,002	не нормується
Бенз(к)флуорантен, мг/кг	0,135	0,017	0,002	не нормується
Бенз(а)пірен, мг/кг	0,215	0,027	0,002	0,02 (загальносанітарний)
Дибенз(а,һ)антрацен, мг/кг	0,042	0,019	0,001	не нормується
Бенз(ɡ,һ,і)перилен, мг/кг	0,262	0,026	0,002	не нормується
Індено(1,2,3-сd)пірен мг/кг	0,220	0,023	0,002	не нормується

Результати визначення залишків вибухових речовин (нітроароматичних сполук та нітроамінів) Зразок № 2, с. Благодатне

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>Результати випробувань</i>	<i>⁽¹⁾Розширена невизначеність</i>	<i>Межа кількісного визначення, LOQ</i>
ВЕРХ метод:			
Октоген (HMX), мг/кг	не ідентифіковано (<0,150)	-	0,150
Гексоген (RDX), мг/кг	не ідентифіковано (<0,150)	-	0,150
1,3,5-тринітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,070)	-	0,070
1,3-динітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,040)	-	0,040
Тетрил, мг/кг	не ідентифіковано (<0,170)	-	0,170
Нітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,280)	-	0,280
2,4,6-тринітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,100)	-	0,100
4-аміно-2,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,200)	-	0,200
2-аміно-4,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,170)	-	0,170
2,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,200)	-	0,200
2,4-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,100)	-	0,100
2-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270

4-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270
3-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270

Таблиця 4.9

Результати визначення показників якості ґрунту Зразок № 3, с. Благодатне

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>⁽¹⁾Результати випробувань</i>	<i>⁽²⁾Розширена невизначеність</i>	<i>Групування ґрунтів за показниками родючості згідно ⁽³⁾НД</i>	
рН сольової витяжки, одиниці рН	7,24	0,01	7,1-7,5	близькі до нейтральних
Органічна речовина (гумус), %	2,94	0,06	2,1-3,0	середній
Нітратний азот (NO ₃), мг/кг	14,89	0,58	16-24	середній
Амонійний азот (NH ₄), мг/кг	6,69	0,48		
Рухомий фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг	274,79	4,14	більше 60	дуже високий

**Вміст валових форм хімічних елементів, визначений методом атомної
емісії з індуктивно-зв'язаною плазмою Зразок № 3, с. Благодатне**

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>(1) Результат и випробувань</i>	<i>(2) Розширена невизначеність</i>	<i>Межа детекту- вання, мг/кг</i>	<i>Нормативи ГДК (4,5) НД згідно</i>
Масова частка кальцію (Ca), г/кг	26,65	1,84	0,10	не нормується
Масова частка алюмінію (Al), г/кг	20,72	1,49	0,10	не нормується
Масова частка заліза (Fe), г/кг	19,14	1,39	0,10	не нормується
Масова частка калію (K), г/кг	5,24	0,46	0,10	не нормується
Масова частка магнію (Mg), г/кг	4,82	0,43	0,10	не нормується
Масова частка фосфору (P), мг/кг	2960	280	0,10	не нормується
Масова частка фосфору (P ₂ O ₅), мг/кг	13556,80	1282,40	-	^(4,5) 200 транслокаційний
Масова частка марганцю (Mn), мг/кг	527,88	65,74	0,10	^(4,5) 1500 загальносанітарний
Масова частка цинку (Zn), мг/кг	145,73	22,03	0,10	не нормується
Масова частка натрію (Na),	142,38	21,60	0,10	не нормується

мг/кг				
Масова частка стронцію (Sr), мг/кг	125,44	19,39	0,10	не нормується
Масова частка барію (Ba), мг/кг	102,71	16,37	0,10	⁽⁴⁾ 200
Масова частка нікелю (Ni), мг/кг	29,48	5,67	0,10	не нормується
Масова частка хрому (Cr), мг/кг	27,81	5,39	0,10	не нормується
Масова частка літію (Li), мг/кг	16,91	3,53	0,10	не нормується
Масова частка свинцю (Pb), мг/кг	12,30	2,70	0,10	^(4,5) 32 загальносанітарний
Масова частка загального миш'яку (As), мг/кг	14,8	1,6	0,05	^(4,5) 2,0 транслокаційний
Масова частка кобальту (Co), мг/кг	12,08	2,66	0,10	не нормується
Масова частка міді (Cu), мг/кг	11,73	2,59	0,10	не нормується
Масова частка бору (B), мг/кг	4,22	1,09	0,10	⁽⁴⁾ 30
Масова частка загального кадмію (Cd), мг/кг	0,64	0,22	0,10	⁽⁴⁾ 3,0
Масова частка рухомого	0,031	0,017	0,02	не нормується

кадмію (Cd), мг/кг				
Масова частка вісмуту (Bi), мг/кг	0,32	0,06	0,002	не нормується
Масова частка срібла (Ag), мг/кг	0,24	0,03	0,05	не нормується

Таблиця 4.11

Результати визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ)

Зразок № 3, с. Благодатне

Найменування показників, одиниці вимірювань	⁽¹⁾Результати випробувань	⁽²⁾Розширена невизначеність	Межа кількісного визначення LOQ	Нормативи ГДК згідно ^(4,5)НД
Нафтален, мг/кг	0,008	0,003	0,001	не нормується
Аценафтен, мг/кг	<0,002	—	0,002	не нормується
Флуорен, мг/кг	<0,003	—	0,003	не нормується
Фенантрен, мг/кг	<0,002	—	0,002	не нормується
Антрацен, мг/кг	0,004	0,002	0,002	не нормується
Флуорантен, мг/кг	0,021	0,009	0,002	не нормується
Пірен, мг/кг	0,025	0,011	0,002	не нормується
Бенз(а)нтрацен, мг/кг	0,007	0,003	0,001	не нормується
Хризен, мг/кг	0,014	0,006	0,002	не нормується
Бенз(б)флуорантен, мг/кг	0,025	0,011	0,002	не нормується

Бенз(к)флуорантен, мг/кг	0,009	0,004	0,002	не нормується
Бенз(а)пірен, мг/кг	<0,002	—	0,002	0,02 (загальносанітарний)
Дибенз(а,һ)антрацен, мг/кг	0,003	0,001	0,001	не нормується
Бенз(ɡ,һ,і)перилен, мг/кг	0,019	0,008	0,002	не нормується
Індено(1,2,3-сd)пірен мг/кг	0,010	0,004	0,002	не нормується

Таблиця 4.12

Результати визначення залишків вибухових речовин (нітроароматичних сполук та нітроамінів) Зразок № 3, с. Благодатне

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>Результати випробувань</i>	<i>⁽¹⁾Розширена невизначеність</i>	<i>Межа кількісного визначення, LOQ</i>
ВЕРХ метод:			
Октоген (HMX), мг/кг	не ідентифіковано (<0,150)	-	0,150
Гексоген (RDX), мг/кг	1,994	0,203	0,150
1,3,5-тринітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,070)	-	0,070
1,3-динітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,040)	-	0,040
Тетрил, мг/кг	не ідентифіковано (<0,170)	-	0,170
Нітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,280)	-	0,280

2,4,6-тринітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,100)	-	0,100
4-аміно-2,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,200)	-	0,200
2-аміно-4,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,170)	-	0,170
2,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,200)	-	0,200
2,4-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,100)	-	0,100
2-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270
4-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270
3-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270

Таблиця 4.13

Визначення показників якості ґрунту Зразок № 4, с. Партизанське

Найменування показників, одиниці вимірювань	⁽¹⁾Результати випробувань	⁽²⁾Розширена невизначеність	Групування ґрунтів за показниками родючості згідно ⁽³⁾НД	
рН сольової витяжки, одиниці рН	7,19	0,02	7,1-7,5	близькі до нейтральних
Органічна речовина (гумус), %	7,00	0,05	більше 5,0	дуже високий
Нітратний азот (NO ₃), мг/кг	2,92	0,07	16-24	середній

Амонійний азот (NH ₄), мг/кг	12,54	0,46		
Рухомий фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг	229,57	12,91	більше 60	дуже високий

Таблиця 4.14

Вміст валових форм хімічних елементів, визначений методом атомної емісії з індуктивно-зв'язаною плазмою Зразок № 4, с. Партизанське

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>⁽¹⁾Результати випробувань</i>	<i>⁽²⁾Розширена невизначеність</i>	<i>Межа детектування, мг/кг</i>	<i>Нормативи ГДК згідно ^(4,5)НД</i>
Масова частка алюмінію (Al), г/кг	20,99	1,50	0,10	не нормується
Масова частка заліза (Fe), г/кг	19,81	1,43	0,10	не нормується
Масова частка кальцію (Ca), г/кг	19,45	1,41	0,10	не нормується
Масова частка калію (K), г/кг	6,13	0,53	0,10	не нормується
Масова частка магнію (Mg), г/кг	4,97	0,44	0,10	не нормується
Масова частка фосфору (P), г/кг	2510	250	0,10	не нормується

мг/кг				
Масова частка фосфору (P ₂ O ₅), мг/кг	11495,80	1145,00	-	^(4,5) 200 транслокаційн ий
Масова частка марганцю (Mn), мг/кг	566,88	69,85	0,10	^(4,5) 1500 загальносаніта рний
Масова частка натрію (Na), мг/кг	112,03	17,62	0,10	не нормується
Масова частка барію (Ba), мг/кг	110,90	17,47	0,10	⁽⁴⁾ 200
Масова частка стронцію (Sr), мг/кг	110,16	17,37	0,10	не нормується
Масова частка цинку (Zn), мг/кг	106,39	16,86	0,10	не нормується
Масова частка нікелю (Ni), мг/кг	30,98	5,91	0,10	не нормується
Масова частка хрому (Cr), мг/кг	28,03	5,43	0,10	не нормується
Масова частка міді (Cu), мг/кг	17,70	3,68	0,10	не нормується
Масова частка літію (Li), мг/кг	17,27	3,60	0,10	не нормується

Масова частка свинцю (Pb), мг/кг	16,31	3,43	0,10	^(4,5) 32 загальносанітарний
Масова частка кобальту (Co), мг/кг	12,32	2,70	0,10	не нормується
Масова частка загального миш'яку (As), мг/кг	11,8	1,9	0,05	^(4,5) 2,0 транслокаційний
Масова частка бору (B), мг/кг	9,81	2,23	0,10	⁽⁴⁾ 30
Масова частка загального кадмію (Cd), мг/кг	0,71	0,24	0,10	⁽⁴⁾ 3,0
Масова частка рухомого кадмію (Cd), мг/кг	0,056	0,028	0,02	не нормується
Масова частка вісмуту (Bi), мг/кг	0,35	0,05	0,002	не нормується
Масова частка срібла (Ag), мг/кг	0,23	0,03	0,05	не нормується

Визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) Зразок № 4, с.

Партизанське

Найменування показників, одиниці вимірювань	¹⁾Результат випробувань	Розширена визначеність	Межа кількісного визначення ОQ	Нормативи ГДК згідно ^(4,5)НД
Нафтален, мг/кг	0,009	0,004	0,001	не нормується
Аценафтен, мг/кг	<0,002	—	0,002	не нормується
Флуорен, мг/кг	<0,003	—	0,003	не нормується
Фенантрен, мг/кг	<0,002	—	0,002	не нормується
Антрацен, мг/кг	<0,002	—	0,002	не нормується
Флуорантен, мг/кг	0,061	0,027	0,002	не нормується
Пірен, мг/кг	0,067	0,029	0,002	не нормується
Бенз(а)нтрацен, мг/кг	0,019	0,009	0,001	не нормується
Хризен, мг/кг	0,024	0,011	0,002	не нормується
Бенз(б)флуорантен, мг/кг	0,033	0,014	0,002	не нормується
Бенз(к)флуорантен, мг/кг	0,012	0,005	0,002	не нормується
Бенз(а)пірен, мг/кг	0,019	0,008	0,002	0,02 (загальносанітарний)
Дибенз(а,һ)антрацен, мг/кг	0,003	0,001	0,001	не нормується
Бенз(ɡ,һ,і)перилен, мг/кг	0,022	0,010	0,002	не нормується
Індено(1,2,3-сd)пірен мг/кг	0,015	0,007	0,002	не нормується

Визначення залишків вибухових речовин (нітроароматичних сполук та нітроамінів) Зразок № 4, с. Партизанське:

<i>Найменування показників, одиниці вимірювань</i>	<i>Результати випробувань</i>	<i>⁽¹⁾Розширена невизначеність</i>	<i>Межа кількісного визначення, LOQ</i>
ВЕРХ метод:			
Октоген (HMX), мг/кг	не ідентифіковано (<0,150)	-	0,150
Гексоген (RDX), мг/кг	не ідентифіковано (<0,150)	-	0,150
1,3,5-тринітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,070)	-	0,070
1,3-динітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,040)	-	0,040
Тетрил, мг/кг	не ідентифіковано (<0,170)	-	0,170
Нітробензен, мг/кг	не ідентифіковано (<0,280)	-	0,280
2,4,6-тринітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,100)	-	0,100
4-аміно-2,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,200)	-	0,200
2-аміно-4,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,170)	-	0,170

2,6-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,200)	-	0,200
2,4-динітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,100)	-	0,100
2-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270
4-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270
3-нітротолуол, мг/кг	не ідентифіковано (<0,270)	-	0,270

4.2. Аналіз результатів дослідження ґрунтів із зони бойових дій

Перший зразок взято з с. Партизанське. Кислотність ґрунту (рН) становить 7,26. Показник знаходиться у межах 7,1–7,5 та є близьким до нейтрального, що підтримує сприятливе середовище для більшості засаджених рослин. Середній вміст гумусу свідчить про задовільну родючість. Спостерігається суттєвий дефіцит нітратного азоту (NO_3^-), який становить 6,52 мг/кг при нормі 16–24 мг/кг, що впливає на формування врожаю. На відміну від нітратного азоту, амонійний азот (NH_4^+) не вимивається з опадами, але все ж таки має занижений показник 10,98 мг/кг. Рухомий фосфор (P_2O_5) трішки перевищений за норму на 0,07 мг/кг, тобто є підвищеним та не гарантує здорового розвитку рослин.

У більшості елементів (Fe, Ca, Mg, K, Mn, Zn, Pb, Cd) перевищень ГДК не виявлено, однак важкий метал миш'як (As) перевищений приблизно у 6 разів, бо має 12,9 мг/кг при ГДК 2,0 мг/кг. Фосфор (P_2O_5) – 2406 мг/кг (ГДК 200) має дуже значне перевищення у понад 10 разів, що свідчить про техногенне перенавантаження. Бенз(а)пірен є надзвичайно токсичною сполукою, яка несе

загрозу для здоров'я людини, і він має перевищення приблизно у 9 разів – 0,185 мг/кг при ГДК 0,02 мг/кг. Визначення залишків вибухових речовин (нітроароматичних сполук та нітроамінів) не зафіксовано у даній пробі.

За результатами лабораторного аналізу першого зразка ґрунту встановлено, що ґрунт характеризується як частково деградований із ознаками техногенного та пірогенного навантаження.

Другий зразок взято з с. Благодатне. Кислотність ґрунту (рН) становить 7,30. Показник знаходиться у межах 7,1–7,5 та є близьким до нейтрального. Середній вміст гумусу свідчить про задовільну родючість. Великий дефіцит нітратного азоту (NO_3^-) – 4,47 мг/кг, та амонійного азоту (NH_4^+) – 7,59 мг/кг, при нормі 11–15 мг/кг. Цей показник свідчить про суттєве порушення азотного живлення ґрунту, що вказує на ослаблення процесів мінералізації органічної речовини та нітрифікації, що є наслідком зниження біологічної активності ґрунтової мікрофлори. Рухомий фосфор знаходиться на рівні 29,60 мг/кг, що відповідає середньому рівню забезпеченості та не виходить за межі нормативних значень. Зафіксовано надзвичайно високий вміст рухомого фосфору на рівні 3051,86 мг/кг при нормативі 200 мг/кг, що є значним перевищенням і може бути наслідком техногенного впливу та вибухових процесів. Масова частка загального миш'яку (As) становить 14,1 мг/кг при нормі 2,0 мг/кг, що перевищує допустимий рівень приблизно у 7 разів. Бенз(а)пірен – 0,215 мг/кг перевищує норму більш ніж у 10 разів. Також підвищеними є концентрації флуорантену, пірену, бенз(б)флуорантену та інших ПАВ, що свідчить про інтенсивний вплив процесів горіння та вибухів на ґрунтове середовище. Визначення залишків вибухових речовин не зафіксовано.

Найбільш критичними відхиленнями є перевищення вмісту миш'яку та бенз(а)пірену, а також надлишок рухомого фосфору, що в сукупності свідчить про значний негативний вплив воєнних дій на екологічний стан ґрунтового покриву.

Третій зразок взято з с. Благодатне. Кислотність ґрунту (рН) становить 7,24 — близька до нейтральної. Відсоток гумусу — 2,94 %, що є задовільним

рівнем родючості, але без високого запасу органічної речовини. Вміст нітратного азоту (NO_3^-) – 14,89 мг/кг, амонійного азоту (NH_4^+) – 6,69 мг/кг, при нормі 16–24 мг/кг, свідчить про порушення азотного живлення рослин та зниження інтенсивності процесів нітрифікації. Спостерігається дуже високий вміст рухомого фосфору (P_2O_5) – 274,79 мг/кг (норма >60, дуже високий рівень), що значно перевищує оптимальні значення і може свідчити про техногенне навантаження або вторинне накопичення фосфатів унаслідок вибухових процесів. Зафіксовано катастрофічний показник масової частки фосфору – 13556,80 мг/кг при нормі 200 мг/кг. Це надзвичайно високий рівень перевищення (майже у 68 разів), що є чіткою ознакою сильного техногенного забруднення. Такий надлишок напряду пов'язаний із вибуховими процесами та руйнуванням військової інфраструктури. Аналіз показав, що більшість елементів (Ca, Mg, Fe, K, Mn, Zn, Pb, Cd тощо) не перевищують гранично допустимих концентрацій і знаходяться в межах екологічної норми, однак зафіксовано суттєве відхилення масової частки загального миш'яку (As) – 14,8 мг/кг при ГДК 2,0 мг/кг (критичне перевищення у 7–8 разів). Бенз(а)пірен не перевищує ГДК (< 0,002 мг/кг при нормі 0,02 мг/кг).

У зразках за номерами 1, 2, 4 не виявлено залишків вибухових речовин, але саме у даній пробі, взятій біля ангару, визначено наявність дуже потужної вторинної (бризантної) вибухової речовини. Гексоген (RDX) становить 1,994 мг/кг і є основним активним компонентом у багатьох типах боєприпасів (снаряди, міни, торпеди).

Загалом, стан ґрунту свідчить про істотне погіршення його екологічної якості та порушення природних біохімічних процесів, а наявність гексогену та значне перевищення масової частки фосфору свідчать про техногенне навантаження на ґрунтове середовище. Крім того, зафіксоване перевищення вмісту миш'яку підсилює токсикологічну небезпеку досліджуваного ґрунту, оскільки цей елемент є високотоксичним і здатним до міграції в трофічних ланцюгах.

Останній зразок № 4 взятий з с. Партизанське. Кислотність становить 7,19 (є найменшою серед зразків). 7% гумусу вказує на значний запас органічної маси та потенційно високу природну родючість ґрунту. Виявлено критичний дефіцит нітратного азоту – 2,92 мг/кг при нормі 16–24 мг/кг, що свідчить про різке порушення азотного живлення рослин, пригнічення процесів нітрифікації та зниження біологічної активності ґрунту. Високий вміст рухомого фосфору – 229,57 мг/кг (норма >60) значно перевищує оптимальні значення і може свідчити про накопичення фосфатів та порушення природного балансу елементів у ґрунті. Наявний критичний дефіцит нітратного азоту – 2,92 мг/кг при нормі 16–24 мг/кг. Як і у всіх показниках зафіксовано значне перевищення миш'яку (As) – 11,8 мг/кг при ГДК 2,0 мг/кг. Бенз(а)пірен – 0,019 мг/кг при ГДК 0,02 мг/кг знаходиться на межі нормативу, що свідчить про підвищене пірогенне навантаження, характерне для зон впливу пожеж і вибухів. Інші ПАВ (флуорантен, пірен, бенз(б)флуорантен тощо) присутні в низьких концентраціях і не перевищують допустимих значень. Всі досліджувані вибухові речовини (HMX, RDX, TNT та ін.) не ідентифіковані.

Досліджуваний ґрунт характеризується високим вмістом гумусу (7 %), але агрохімічно дисбалансований через критичний дефіцит нітратного азоту. Цей зразок ґрунту має природну потенційну родючість, однак його екологічний стан є нестабільним через порушення азотного циклу та наявність токсичного техногенного забруднення, що пов'язано з впливом воєнних дій.

4.3. Методи поствоєнного відновлення

Україна є країною з багатими природними ресурсами, зокрема родючими ґрунтами, серед яких значну частину становлять чорноземи світового значення. Останні роки воєнні дії завдають їм суттєвої шкоди: руйнується верхній родючий шар, відбувається забруднення мінами, нафтопродуктами та боєприпасами, що різко погіршує стан земель. Враховуючи повільне природне відновлення ґрунтів, їх деградація стає довготривалою проблемою, яка

потребує термінових рішень. Рекультивація земель, пошкоджених унаслідок війни, є надзвичайно важливою умовою відновлення природного стану територій, повернення їх до сільськогосподарського використання та відновлення екологічної рівноваги. Для цього необхідно впроваджувати комплексні заходи, спрямовані на очищення територій, відновлення родючості ґрунтів і повернення їх до безпечного використання людиною та природними екосистемами [15].

Початковим інженерним етапом відновлення земель є *технічна* рекультивація. Первинний крок перед допуском будь-якої техніки чи людей для очищення і оцінення стану ґрунту є розмінування території, яке здійснюється виключно сертифікованими державними або приватними операторами.

Технічна рекультивація передбачає очищення територій від уламків техніки, залишків боєприпасів і сторонніх підозріло-небезпечних предметів, засипання котлованів і ям, вирівнювання поверхні та розпушування ущільнених ділянок за допомогою важких культиваторів або глибокорозпушувачів для покращення циркуляції повітря та води. Ці роботи сприятимуть покращенню водного та повітряного режиму ґрунту, зменшуватимуть ризик ерозійних процесів і створюватимуть сприятливі умови для подальшого відновлення рослинного покриву.

Біологічні методи рекультивації базуються на застосуванні природних процесів для покращення стану ґрунту та відновлення його родючості. Для цього застосовують органічні добрива, компост, торф, а також висівають сидеральні та покривні культури. До прикладу, найактивнішим відновлювачем є компост, завдяки високому вмісту поживних речовин і мікроорганізмів, компост швидко перетворює мертвий субстрат (наприклад, глину чи пісок на місці кар'єрів) на живий ґрунт. Він також допомагає зв'язувати важкі метали та боротися з ерозією. Торф має чудову вологомісткість та високу кислотність. У рекультивації він використовується як структуроутворювач, тобто розпушує важкі ґрунти і, навпаки, скріплює легкі піщані ґрунти, запобігаючи вимиванню поживних речовин. Чистий торф не завжди є повноцінним добривом. Найкращі

результати дає компостування торфу з гноєм, рослинними залишками або мулом. Фіторе mediaція — це екологічно безпечна та економічно вигідна технологія очищення ґрунтів, підземних вод і повітря за допомогою рослин. «Зелені лікарі» поглинають, накопичують або розщеплюють токсичні речовини (важкі метали, пестициди, нафтопродукти), поступово повертаючи забруднені землі до життя. Процес цього очищення базується на природних біохімічних реакціях рослин та мікроорганізмів у кореневій зоні Використання сидератів — це ефективний спосіб відновлення родючості ґрунту та підвищення його якості, збагачення його азотом та органікою, хоча вони не можуть повністю замінити мінеральні добрива, їх вирощування є важливим кроком у покращенні ґрунтового середовища та відновлення природної родючості.

Такі заходи сприяють активізації ґрунтової мікрофлори, покращують структуру ґрунту та стимулюють накопичення органічної речовини у ньому. Завдяки біологічному методу рекультивації, поступово відновлюється чисельність дощових черв'яків та інших організмів, які забезпечують природне функціонування ґрунтового середовища.

Для територій, де зафіксоване значне хімічне забруднення, застосовують хімічні та фізико-хімічні методи рекультивації. Вони спрямовані на зниження токсичності ґрунтів і стабілізацію небезпечних сполук. З цією метою використовують вапнування, гіпсування та внесення спеціальних сорбентів, які здатні зв'язувати важкі метали, залишки нафтопродуктів та інші шкідливі речовини. Вапнування — це внесення до ґрунту лужних матеріалів (вапна, доломітового борошна, дефекату) для зниження рівня кислотності (підвищення рН) та покращення його структури, і це ключовий агрономічний метод хімічної меліорації. Гіпсування ґрунту є хімічною меліорацією солонцюватих ґрунтів. Внесення гіпсу або фосфогіпсу заміщує токсичний натрій кальцієм у ґрунтовому комплексі, покращуючи дренаж, структуру землі та її родючість. Іони кальцію витісняють натрій, який переходить у водорозчинну сіль і легко вимивається з кореневого шару під час поливу або опадів. У результаті важкі, запливаючі глинисті ґрунти стають більш пухкими, покращується їхня

водопроникність та аерація. Завдяки сукупності цих процесів покращується хімічний стан ґрунту та зменшується ризик потрапляння токсикантів у рослини й ґрунтові води.

Для України особливо важливим є поєднання всіх способів рекультивації залежно від ступеня пошкодження територій. На землях, які зазнали незначного забруднення, достатньо механічного відновлення та біологічних заходів. Натомість у районах із високим рівнем токсичного навантаження, де проходили активні бойові дії, необхідне комплексне очищення із застосуванням нейтралізуючих речовин і тривалого екологічного контролю, який, скоріш за все, триватиме 10-річчями. Після завершення робіт проводять обов'язковий повторний моніторинг стану ґрунтів, що дає змогу оцінити ефективність відновлення та визначити подальші заходи щодо боротьби з токсикацією, незадовільним складом земель і проблемою біорізноманіття [16].

РОЗДІЛ V. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Вентиляція та освітлення у лабораторії під час моніторингу ґрунтів

Вентиляція приміщення є першим надважливим пунктом для безпечної та ефективної роботи у лабораторіях, у яких проводяться дослідження польових зразків ґрунту і не тільки. Якість проведення досліджень і безпека персоналу, особливо під час роботи з хімічними реагентами і токсичними речовинами, залежить від правильного облаштування і проведення системи вентиляції, які забезпечує постійний обмін повітря, видалення шкідливих випарів, пилу та газоподібних речовин, що можуть утворюватися під час підготовки та аналізу ґрунтових проб. Під час досліджень досить часто використовуються кислоти, луги, органічні розчинники та інші реактиви, випари яких гарантовано будуть негативно впливати на здоров'я персоналу.

Щоб запобігти накопиченню шкідливих речовин, у лабораторіях обладнують припливно-витяжну вентиляцію. Припливно-витяжна вентиляція — це система, яка одночасно подає в приміщення свіже повітря з вулиці та видаляє несвіже з приміщення, тобто насичене вологою, запахами й CO_2 . Саме цю систему об'єднання процесів припливу та виведення повітря відрізняє від систем, що працюють лише на приплив або тільки на витяжку.

Витяжні шафи (вентилятори), які використовують у цьому процесі, дозволяють локалізувати небезпечні випари в зоні активного і регулярного проведення аналізів та запобігти їх поширенню у приміщенні. У лабораторіях це надважливо при аналізі наявних у ґрунті важких металів, нафтопродуктів, поліциклічних ароматичних вуглеводнів та залишків вибухових речовин. Ефективна вентиляція допомагає підтримувати оптимальні показники температури та вологості, що необхідно для стабільної роботи лабораторного обладнання та точності результатів досліджень. Таким чином, завдяки припливно-витяжній вентиляції у помешканні підтримується оптимальне

повітряне балансування: обсяг повітря, що заходить, приблизно дорівнює обсягу, який виводиться. Завдяки цьому рівномірному повітрообміну в кімнатах не накопичується зайва волога та шкідливі речовини [17].

Другим надважливим пунктом задля безпеки персоналу є освітлення у лабораторних приміщеннях. Якісне освітлення забезпечує точність виконання аналітичних операцій, правильне зчитування показників приладів та зменшує навантаження на зір працівників. У лабораторіях застосовують як природне, так і штучне освітлення. Природне світло є найбільш комфортним для роботи, тому лабораторні приміщення зазвичай проєктують із достатньою кількістю вікон. Проте основним джерелом освітлення переважно є штучне світло, яке повинно бути рівномірним і достатньо інтенсивним.

Для лабораторій рекомендується використовувати світлодіодні або люмінесцентні лампи, що забезпечують стабільний світловий потік без мерехтіння. Освітлення робочих поверхонь має бути достатнім для виконання точних маніпуляцій із пробамі та реактивами. Особливу увагу приділяють локальному освітленню робочих місць, де проводяться вимірювання або робота з мікроскопами та аналітичними приладами.

Недостатнє або нерівномірне освітлення може призводити до помилок під час проведення аналізів, погіршення концентрації уваги та швидкої втоми персоналу. Водночас надто яскраве світло або відблиски від поверхонь обладнання також негативно впливають на умови праці. Саме тому освітлення лабораторій повинно відповідати санітарним і технічним нормам [18].

5.2 Правила безпеки під час взяття проб ґрунту

Весь процес відбору проб складається з таких етапів:

- 1) збір інформації про подію;
- 2) підготовка до здійснення процедури відбору проб;
- 3) визначення місць і схеми відбору проб;
- 4) визначення засобів індивідуального захисту;

- 5) визначення складу та завдань групи з відбору проб;
- 6) доведення вимог безпеки під час відбору проб.

На етапі *збору інформації* про подію роботи до здійснення пробовідбору рекомендовано здійснити попереднє оцінювання місця події, де планується проведення зазначеної процедури, та зібрати таку інформацію:

- 1) короткий опис події, що трапилася;
- 2) характер загрози (наявні ознаки, вплив на навколишнє середовище або живі організми в зоні: зміни забарвлення листя або води, мертві тварини тощо);
- 3) схему зонування місця події, місце розташування зони небезпеки, місця (точки) входу та виходу аварійно-рятувальних підрозділів, місце проведення спеціальної обробки;
- 4) метеорологічні умови.

Зібрана інформація є основою для прийняття рішень щодо організації процедури відбору проб.

Етап *підготовки* до відбору проб розпочинається після отримання інформації про небезпечну подію та огляду місця події. На етапі підготовки до відбору проб рекомендовано:

- 1) визначити місця відбору проб;
- 2) визначити типи та кількість проб для відбору;
- 3) скласти план-схему місць відбору проб;
- 4) визначити точки входу та виходу із забрудненої зони;
- 5) скласти маршрут руху групи з відбору проб із урахуванням часу роботи в засобах захисту;
- 6) визначити засоби індивідуального захисту;
- 7) визначити склад та завдання групи;
- 8) довести вимоги безпеки під час відбору проб.

Місця відбору проб ґрунту визначаються з урахуванням мети дослідження, особливостей території та можливих джерел забруднення. Перш за все проводиться попереднє обстеження ділянки, під час якого враховують рельєф місцевості, тип ґрунту, характер рослинного покриву, а також

антропогенне навантаження. У разі екологічного моніторингу проби відбирають у найбільш характерних точках території — як у зонах потенційного забруднення (біля доріг, біля воєнної згорівшої техніки, промислових об'єктів, складів, місць розливу пально-мастильних матеріалів), так і на умовно «чистих» ділянках для порівняння фонових показників. При дослідженнях після надзвичайних ситуацій особлива увага приділяється епіцентру можливого впливу та напрямам поширення забруднювачів.

Схема відбору проб ґрунту залежить від площі ділянки та характеру дослідження. Найчастіше використовують кілька основних підходів:

1. Сіткова (ґратчаста) схема. Передбачає розбиття території на рівномірну сітку з однаковими інтервалами. Проби відбираються у вузлових точках сітки. Такий метод забезпечує рівномірне охоплення всієї площі та використовується для об'єктивної оцінки стану ґрунтів.

2. Маршрутна (трансектна) схема. Відбір здійснюється вздовж заданих ліній (трансектів), які перетинають територію з урахуванням рельєфу або напрямку можливого поширення забруднення. Метод ефективний для вивчення градієнтів забруднення.

3. Точкова схема. Застосовується для локальних досліджень, коли необхідно оцінити конкретне джерело забруднення. Проби відбирають у чітко визначених точках без формування сітки.

4. Комбінована схема. Поєднує елементи кількох методів і використовується для складних або неоднорідних територій, де потрібна більш детальна оцінка.

Загальні вимоги до відбору:

Для отримання репрезентативних результатів проби часто відбирають у декількох точках з подальшим формуванням середньої (змішаної) проби. Глибина відбору визначається метою дослідження та зазвичай становить від 1 до 20 см для поверхневого шару ґрунту або більше — при спеціальних дослідженнях. Відібраний ґрунт треба засипати в герметичний пакет або в скляну пляшку об'ємом 250 мл за допомогою лійки для сипучих речовин і

герметизувати пляшку. Також треба виміряти температуру ґрунту, а також температуру повітря за допомогою термометра. Додатково вимірюють рН зразка, використовуючи зволожену смужку індикаторного паперу. Усі значення треба записати в супровідній формі.

Під час відбору проб ґрунту важливе значення має правильна експлуатація та безпечне використання обладнання й інструментів, оскільки їх несправність або неправильне застосування може призвести до травмування виконавця, пошкодження зразків або отримання недостовірних результатів аналізу. Перед початком роботи обов'язково проводять перевірку стану всього інвентарю. Ґрунтові бури, лопати, ножі, совки та інші інструменти повинні бути без тріщин, деформацій і слідів корозії. Рукоятки мають бути надійно закріплені, без розхитування, щоб уникнути вислизання інструмента під час роботи. Під час використання гострих і металевих інструментів необхідно дотримуватися обережності, працювати у стійкому положенні та уникати різких рухів. Забороняється прикладати надмірне зусилля, особливо при зануренні бура у щільні шари ґрунту, оскільки це може призвести до втрати контролю над інструментом і травмування.

Під час обертання або заглиблення бура забороняється тримати руки поблизу робочої частини інструмента. У разі застрягання обладнання в ґрунті витягувати його слід поступово, без різких ривків.

Усе обладнання після використання необхідно *очищати від ґрунту*, промивати та за потреби дезінфікувати, щоб запобігти корозії, перенесенню мікроорганізмів і перехресному забрудненню між пробами. Для транспортування інструменти слід розміщувати у спеціальних чохлах або контейнерах, які унеможливають випадкове травмування.

Зберігання інструментів повинно здійснюватися у сухому, провітрюваному приміщенні, окремо від хімічних речовин та проб ґрунту. Ріжучі та гострі частини інструментів мають бути закриті захисними накладками.

До складу групи з відбору проб ґрунту зазвичай входять:

1. Керівник групи (польовий керівник, еколог або інженер-еколог) відповідає за організацію робіт, вибір схем відбору, дотримання методик і техніки безпеки, а також ведення документації.

2. Фахівець з відбору проб (лаборант або польовий дослідник) здійснює відбір зразків ґрунту відповідно до встановлених стандартів і методик.

3. Помічник (технічний працівник) виконує допоміжні роботи: підготовку інструментів, маркування, пакування та транспортування проб.

4. За потреби присутній фахівець з безпеки або сапер (у регіонах із ризиком мінної небезпеки), який контролює безпечність території та допускає проведення робіт.

Доведення вимог безпеки під час відбору проб:

1. Під час відбору проб необхідно використовувати відповідні інструменти, щоб запобігти забрудненню проби та гарантувати безпеку при відборі проб.

2. Під час проведення робіт, пов'язаних із пошкодженням устаткуванням і відходами, що містять шкідливі, небезпечні хімічні речовини, виявлення витоків необхідно здійснювати за допомогою відповідних індивідуальних засобів захисту.

3. Перед використанням засобів захисту та устаткування необхідно переконаватися в їх технічній справності.

4. У процесі відбору проб рекомендується передбачити можливі нештатні ситуації, продумати, як їм запобігти та у випадку їх настання як звести до мінімуму ризик для людини і довкілля.

5. Група має бути забезпечена аптечкою і засобами зв'язку. У складних гірничотехнічних умовах – страхувальною системою (мотузок обв'язування, карабіни тощо).

6. Під час відбору проб в обмеженому просторі потрібно проникати тільки у тому випадку, якщо фахівець підготовлений і має у розпорядженні необхідні індивідуальні засоби захисту і устаткування, такі як рятувальне устаткування.

7. Обмежені простори потрібно перевіряти на наявність достатнього вмісту кисню і відсутність токсичних і вибухонебезпечних газів. Обов'язкова присутність двох людей: один проникає в простір, інший залишається зовні.

8. Необхідно мати запас чистої води і сухий засіб для очищення рук. Після відбору проб необхідно мити руки негайно (спочатку, не знімаючи рукавичок).

9. У разі розливу хімікатів на одяг або безпосередньо на шкіру вимагається зняти одяг і ретельно промити чистою водою ділянку шкіри, що зазнала впливу. Рекомендується мати змінний одяг на випадок таких подій. Подальше поводження з одягом має бути здійснено відповідно до правил поводження з відходами.

10. Із забрудненими небезпечними хімічними речовинами захисним одягом і рукавичками рекомендовано поводитися відповідно до правил поводження з небезпечними відходами.

11. Забороняється: відкачувати проби ротом; підносити руки до рота і очей під час відбору проб; палити і використовувати відкритий вогонь під час відбору проб чи проведення вимірів; змішувати речовини, які можуть вступити в реакцію або відносно реакції, в якій є невизначеність.

12. Відповідальність за дотримання заходів безпеки під час проведення процедур відбору проб та вимірів покладається на керівника групи [19].

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження для кваліфікаційної роботи визначено основні джерела забруднення ґрунтів унаслідок бойових дій. Встановлено, що найбільший негативний вплив на стан земельних ресурсів спричиняють вибухи боєприпасів, застосування артилерії, ракетної техніки, мінування територій, пересування важкої військової техніки, пожежі та руйнування промислових об'єктів. У процесі вибухів у ґрунт потрапляють залишки вибухових речовин, продукти горіння пального, уламки металів, токсичні сполуки та інші небезпечні компоненти. Аварії на промислових підприємствах, нафтобазах і складах хімічних речовин в умовах воєнних дій призводять до масштабного вторинного забруднення навколишнього середовища. Доведено, що військовий вплив є одним із найбільш руйнівних факторів для ґрунтового покриву, оскільки поєднує механічне, хімічне та фізичне порушення природних процесів.

У ході роботи було зазначено, що залишки тротилу, гексогену, октогену та інших компонентів боєприпасів мають високу токсичність і здатні тривалий час зберігатися у ґрунтовому середовищі. Ці речовини змінюють хімічний склад ґрунту, порушують його кислотність, знижують біологічну активність та негативно впливають на ґрунтову мікрофлору. Значну екологічну небезпеку становлять також важкі метали, серед яких свинець, кадмій, мідь, цинк, нікель та ртуть. Вони потрапляють у ґрунт із уламків боєприпасів, військової техніки, пального та продуктів горіння. Такі елементи здатні накопичуватися у верхніх шарах ґрунту, проникати у рослини та потрапляти до харчового ланцюга. Це створює ризики не лише для екосистем, а й для здоров'я населення, оскільки токсичні сполуки можуть викликати отруєння та інші негативні наслідки для організму людини.

Унаслідок бойових дій відбулися руйнування структури ґрунту, ущільнення поверхневих шарів, зниження вмісту гумусу та погіршення водно-повітряного режиму, що призвело до деградації ґрунту. Значні площі земель втрачають свою родючість та стають непридатними для сільськогосподарського використання. Вибухи спричиняють утворення вирв, посилення водної та вітрової ерозії, руйнування рослинного покриву та порушення природних процесів ґрунтоутворення. Деградація земель призводить до зменшення біорізноманіття, погіршення стану поверхневих і підземних вод, а також до загального порушення екологічної рівноваги територій.

Під час проведеної роботи було визначено особливості міграції токсичних речовин у ґрунті. З'ясовано, що переміщення небезпечних сполук залежить від фізико-хімічних властивостей забруднювачів, типу ґрунту, рівня вологості, кислотності середовища, температури та наявності органічної речовини. Частина токсичних компонентів затримується у верхньому шарі ґрунту, однак значна кількість може мігрувати у глибші горизонти та потрапляти у підземні води. Особливо небезпечними є водорозчинні форми забруднювачів, які швидко поширюються за межі осередку забруднення.

Розглянуто сучасні методи екологічного моніторингу та відновлення забруднених територій. Визначено, що ефективна оцінка стану ґрунтів неможлива без застосування комплексного підходу, який поєднує польові дослідження, лабораторні аналізи та дистанційні методи спостереження. Для визначення рівня забруднення використовують хімічні, фізичні та біологічні методи аналізу ґрунтів, а також геоінформаційні системи та супутниковий моніторинг. Сучасні технології дозволяють оперативно виявляти осередки забруднення та оцінювати масштаби деградації земель. Для відновлення постраждалих територій застосовують рекультивацію, фіторе mediaцію, очищення ґрунтів від токсичних речовин, внесення органічних добрив і заходи з відновлення рослинного покриву. Тільки комплексне впровадження екологічного моніторингу та відновлювальних заходів дає можливість

поступово відновити екологічний стан земель і зменшити негативний вплив воєнних дій на навколишнє середовище.

Результати проведеного польового дослідження показали, що ґрунти на територіях, які зазнали впливу бойових дій, перебувають у нестабільному екологічному стані та мають ознаки техногенного порушення. Попри те, що більшість досліджених зразків зберігають близьку до нейтральної кислотність і певний рівень природної родючості, у них простежуються суттєві зміни агрохімічних та екологічних показників. Найбільш характерною ознакою для всіх досліджених ділянок є порушення азотного балансу ґрунту, що свідчить про пригнічення природних біологічних процесів, ослаблення активності ґрунтової мікрофлори та поступову втрату здатності ґрунту до самовідновлення.

У зразках виявлено накопичення сполук фосфору, пов'язане з наслідками вибухів, руйнуванням боєприпасів та залишками військової діяльності. Такі зміни свідчать про порушення природного балансу елементів у ґрунтовому середовищі та можуть негативно впливати на ріст рослин і якість сільськогосподарської продукції.

Серйозне занепокоєння викликає наявність миш'яку, перевищення якого зафіксоване у всіх досліджених пробах. Це вказує на тривалий токсичний вплив на ґрунтове середовище та потенційну небезпеку для екосистем і здоров'я людини. У частині зразків також простежується підвищений вміст продуктів горіння, характерних для пожеж і вибухових процесів. Такі речовини здатні накопичуватися у ґрунті, проникати у рослини та поступово поширюватися в навколишньому середовищі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технології виробництва вибухових речовин: курс лекцій / укладачі: М. Ф. Буллер, В. А. Роботко. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 211 с.
2. Спорягін, Е.О. Навчальний посібник до вивчення курсу «Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості спецматеріалів» [Текст] / Е.О. Спорягін, К.Є. Варлан. – Д.: РВВ ДНУ, 2011. – 68 с.
3. Загальна будова вибухонебезпечних предметів : навч. посіб. / МВС України, Нац. ун-т цивільного захисту України. — Харків : НУЦЗУ, 2020. — 312 с.
4. Конспект лекцій з дисципліни “Технологія та безпека виконання вибухових робіт” для студентів напряму підготовки 6.050901 «Гірництво» / В.О. Гнеушев, І.І. Рибак, В.О. Козяр. – Рівне НУВГП, 2013. – __ с.
5. Реакції розкладу вибухових речовин. Методичні рекомендації до самостійного вивчення теми з дисципліни «Хімія» студентами всіх спеціальностей / О.Ю. Светкіна, О.Б. Нетяга, Г.В. Тарасова; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2016. – 19 с.
6. Еко-екшн Україна. Ґрунти: дослідження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/grunty-doslidzhennia.html> (дата звернення: 25.05.2026).
7. Ґрунти України: стан і проблеми деградації // Rubryka. – URL: <https://rubryka.com/article/soil-ukraine/> (дата звернення: 25.05.2026).
8. Global perspective on current environmental and humanitarian challenges in Ukraine // United Nations News. – URL: <https://news.un.org/en/story/2025/12/1166539> (дата звернення: 25.05.2026)
9. Ми їх втрачаємо! Ґрунти України бідніють і деградують // SuperAgronom. – URL: <https://superagronom.com/articles/727-mi-yih-vtrachayemo-grunty-ukrayini-bidniyut-i-degraduyut>

10. Воєнні дії та українські ґрунти: правда, інформаційний шум та науковий погляд // SuperAgronom. – URL: <https://superagronom.com/blog/1098-voyenni-diyi-ta-ukrayinski-grunti-pravda-informatsiyniy-shum-ta-naukoviy-poglyad> (дата звернення: 25.05.2026)
11. ЕНП «Радіоекологія». [Електронний ресурс] — URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/ЕНП_радіоекологія_4/page9.html (дата звернення: 25.05.2026).
12. Василюк О.В., Колодежна В.В., Демченко В.О., Куземко А.А., Марущак О.Ю., Мойсієнко І.І., Некрасова О.Д., Пархоменко В.В., Русін М.Ю., Сон М.О., Сплодитель А.О., Темченко Є.А., Філюта К.О., Ходосовцев О.Є., Шевченко І.В. / Знищення Каховського водосховища: наслідки для довкілля [Електронний ресурс]. — Чернівці : Друк Арт, 2025. — 112 с. — URL: <https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2025/02/znyshhennya-kahovskogo-vodoshovyshha-naslidky-dlya-dovkilliya-2025.pdf> (дата звернення: 25.05.2026).
13. Юхно В. Моніторинг земель, забруднених внаслідок воєнних дій // Build-Master-Class-2024. Київ : КНУБА, 2024. С. 121–122.
14. EOS Data Analytics. Деградація ґрунту: причини, наслідки та методи боротьби [Електронний ресурс] // EOSDA Blog. — URL: <https://eos.com/uk/blog/dehradatsiia-gruntiv/> (дата звернення: 25.05.2026).
15. Вишневський Д.С., Малимон. С.С. Рекультивація земель та охорона ґрунтів: навчальний посібник [Електронний ресурс]. — Київ : Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2021. — Режим доступу: NUBiP Repository (дата звернення: 25.05.2026).
16. Наумчук В. В. Стратегії відновлення та рекультивації земель після воєнних конфліктів // Актуальні проблеми економіки. — 2024. — № 7 (277). — С. 239–248. — URL: https://eco-science.net/wp-content/uploads/2024/07/7.24._topic_Viktor-Naumchuk-239-248.pdf (дата звернення: 25.05.2026).

17. Vents-shop.com.ua. Припливно-витяжна вентиляція [Електронний ресурс] // Vents Shop. — URL: <https://vents-shop.com.ua/statti-pro-ventilyaciyu-uk/priplivno-vityazhna-ventilyaciya/> (дата звернення: 25.05.2026).

18. Правила влаштування і безпеки роботи в лабораторіях (відділах, відділеннях) мікробіологічного профілю (ДСП 9.9.5-080-02) [Електронний ресурс] : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 28 січня 2002 р. № 1 // Законодавство України. — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0001588-02#Text> (дата звернення: 25.05.2026).

19. Методичні рекомендації щодо процедур відбору проб під час надзвичайних ситуацій та небезпечних подій, пов'язаних з виливом (викидом) небезпечних хімічних речовин [Електронний ресурс] : наказ Державної служби України з надзвичайних ситуацій від 08.09.2021 № 602 // Головне управління ДСНС України у Закарпатській області. — URL: <https://zk.dsns.gov.ua/upload/1/6/1/8/4/2021-9-8-metodicni-rekomendaciyi.pdf> (дата звернення: 25.05.2026).

20. Вітрова ерозія ґрунту на сільськогосподарських землях [Електронний ресурс]. URL: <https://ecolog-ua.com/sites/default/files/styles/article/public/vitrova-eroziya.jpg?itok=NalH37uW> (дата звернення: 25.05.2026).

21. Водна ерозія ґрунту [Електронний ресурс] // EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/wp-content/uploads/2021/02/rill-erosion.jpg.webp> (дата звернення: 25.05.2026).

22. Р. Гаврилюк , І. Тимченко , В. Карамушка , Д. Крисінська та О. Самкова / Assessment of Soil and Geological Environment Contamination Caused by Hostilities in Mykolaiv Region as a Result of Russian Military Aggression against Ukraine [Електронний ресурс]: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2025510175> (дата звернення: 25.05.2026).

23. рН-метр EZODO МР-103 з виносним електродом РY41 та термодатчиком / URL:
<https://content.rozetka.com.ua/goods/images/big/562263750.jpg>

24. Кондуктометр Horiba LAQUAtwin EC-11/ URL:
https://images.prom.ua/3179637860_w640_h640_konduktometr-horibalaquatwin.jpg.