ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра загальної та прикладної екології і зоології

Кваліфікаційна робота

магістра

на тему: ЗМІНИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ ПРИ ВИБУХОВОМУ ВПЛИВІ

CHANGES IN THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS DURING EXPLOSIVE IMPACT

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1013
спеціальності 101 Екологія
освітньо-професійної програми Екологія та охорона навколишнього середовища

Шершньов С. Г.

Керівник доцент, к.б.н. Воронова Н. В.

Рецензент доцент, к.б.н. Притула Н. М.

Запоріжжя – 2024

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Біологічний факультет

Кафедра загальної та прикладної екології і зоології

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 101 Екологія

Освітньо-професійна програма «Екологія та охорона навколишньо середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри загальної та прикладної екології і зоології,
д.б.н., проф.

О.Ф. Рильський

«31» січня 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Шершньову Семену Геннадійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів при вибуховому впливі

Керівник роботи Воронова Н.В., доцент, к.б.н.

затверджена наказом ЗНУ від «23» березня 2023 року № 526-с

2. Строк подання студентом роботи «30» листопада 2024 року

3. Вихідні дані до роботи

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

- визначити оптимальний набір показників для фізико-хімічного аналізу ґрунтів, які зазнали вибухового впливу;
- порівняти отримані результати з типовими показниками для району дослідження;
- провести ростовий тест на *Lactuca sativa, Brassica juncea* та *Raphanus sativus* в ґрунті з місця вибуху;
- розробити гугл форму для проведення соціологічного дослідження щодо обізнаності різних груп населення Запоріжжя про наслідки вибухових дій на якість ґрунту та проаналізувати отримані результати.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 19 рисунків.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ім’я, по батькові та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Притула Н.М., к.с\г.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 31 березня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Огляд літературних джерел. Написання відповідного розділу роботи.	Березень-травень 2023р.	Виконано
2.	Вивчення, засвоєння методик дослідження. Написання відповідного розділу роботи.	Травень-червень 2024р.	Виконано
3.	Засвоєння правил техніки безпеки під час виконання експериментальної частини. Написання відповідного розділу роботи.	серпень 2023р.	Виконано
4.	Проведення експериментальних досліджень. Оформлення результатів експерименту	вересень 2023 – вересень 2024р.	Виконано
5.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Передзахист роботи.	жовтень 2024р.	Виконано
6.	Рецензування кваліфікаційної роботи	грудень 2024р.	Виконано
7.	Захист кваліфікаційної роботи	грудень 2024р.	Виконано

Студент _____ С. Г. Шершньов

Керівник роботи _____ Н.В. Воронова

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Н. М. Притула

Запоріжжя – 2024

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить 83 сторінки, 19 рисунків, 4 таблиць, 6 додатків. Використано 68 літературних джерел, з яких 8 – іноземною мовою.

Об’єкт дослідження – ґрунти, які зазнали вибухового впливу. Предмет дослідження – зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів під впливом вибухів.

Методи дослідження: фізико-хімічний аналіз ґрунту, ростовий тест з використанням Lactuca sativa, Brassica juncea та Raphanus sativus, соціологічне опитування через Google форму, картографічний метод, статистичний аналіз даних у Microsoft Excel.

Актуальність дослідження. У сучасному світі питання екологічної безпеки та сталого розвитку стають все більш актуальними, особливо в регіонах, які переживають військові конфлікти. У контексті воєнного конфлікту в Україні, дослідження екологічних наслідків вибухів на ґрунти є важливим завданням, адже вони можуть впливати на сільськогосподарську продуктивність і здоров’я населення.

Мета роботи – визначити вплив вибухів на стан ґрунтів та їх придатність для подальшого використання.

Для досягнення мети дослідження були виконані завдання з визначення оптимального набору показників для фізико-хімічного аналізу ґрунтів, що зазнали вибухового впливу, порівняння отриманих результатів з типовими показниками для району дослідження. Проведено ростовий тест із використанням культур Lactuca sativa, Brassica juncea та Raphanus sativus у ґрунті з місця вибуху. Також було розроблено Google-форму для соціологічного опитування, що оцінює обізнаність різних груп населення Запоріжжя про наслідки вибухових дій на якість ґрунту, і проведено аналіз отриманих даних.

ҐРУНТ, ВИБУХОВИЙ ВПЛИВ, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ, ТЕСТ КУЛЬТУРИ.

ABSTRACT

The thesis consists of 83 pages, 19 figures, 4 tables, and 6 annexes. A total of 68 references were used, including 8 in foreign languages.

Object of the study – soils affected by explosive impact. Subject of the study – changes in the physico-chemical properties of soils due to explosions.

Research methods: physico-chemical soil analysis, growth test using Lactuca sativa, Brassica juncea, and Raphanus sativus, sociological survey through Google Forms, cartographic method, statistical data analysis using Microsoft Excel.

Relevance of the research. In today's world, issues of environmental safety and sustainable development are becoming increasingly important, especially in regions experiencing military conflicts. In the context of the ongoing conflict in Ukraine, research on the environmental impact of explosions on soils is a critical task, as it may affect agricultural productivity and public health.

Aim of the study – to assess the impact of explosions on soil conditions and their suitability for further use.

To achieve the research goal, the following tasks were completed: determining the optimal set of indicators for the physico-chemical analysis of soils affected by explosive impact, and comparing the obtained results with typical indicators for the study area. A germination test was conducted using *Lactuca sativa*, *Brassica juncea*, and *Raphanus sativus* in soil from the explosion site. Additionally, a Google form was developed for a sociological survey to assess the awareness of different groups of the population in Zaporizhzhia regarding the impact of explosive actions on soil quality, followed by an analysis of the collected data.

SOIL, EXPLOSIVE IMPACT, PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES, ENVIRONMENTAL IMPACT, GROWTH TEST.

ЗМІСТ

ВСТУП 5

1. ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ. ЗМІНИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ ПРИ ВИБУХОВОМУ ВПЛИВІ. 7

1.1. Вплив вибухів на фізичні та механічні властивості ґрунтів 7

1.2. Хімічні зміни в ґрунтах після вибухів. 12

1.3. Вплив забруднення ґрунтів на екосистеми та здоров'я людини 15

1.4 Правові механізми регулювання та відновлення впливу військових дій на стан земельних ресурсів 20

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ 25

2.1. Методика відбору проб ґрунту. 25

2.2. Методи лабораторного аналізу проб ґрунту 29

2.3. Характеристика місця дослідження та методи картографічного аналізу фізико-географічних особливостей. 33

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ 42

3.1. Опис дослідної ділянки та відбору проб. 42

3.2. Результати екологічного та агрохімічного аналізу ґрунту 44

3.3. Тест на проростання насіння 48

3.4. Аналіз результатів опитування щодо обізнаності про стан ґрунтів після вибухового впливу 55

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 59

4.1 Заходи з охорони праці 59

4.2 Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях 64

ВИСНОВКИ 68

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ 69

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 71

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГДК – гранично допустима концентрація

pH – водневий показник, що характеризує кислотність середовища

ОМ – органічна речовина (Organic Matter)

TDS – загальний вміст розчинених речовин (Total Dissolved Solids)

НМ – важкі метали (Heavy Metals)

ПДК – перевищення допустимих концентрацій

CEC – катіонно-обмінна ємность (cation-exchange capacity)

ААС – Атомно-абсорбційна спектрофотометрія

ПТЕ – потенційно токсичні елементи

ВСТУП

Актуальність. У сучасному світі питання екологічної безпеки та сталого розвитку стають все більш актуальними. Особливо це стосується регіонів, які переживають військові конфлікти, де воєнні дії можуть призводити до серйозного впливу на природне середовище. У контексті воєнного конфлікту в Україні, дослідження екологічних наслідків воєнних дій стає особливо важливим завданням [1].

Метою дослідження було визначити вплив вибухів на стан ґрунтів та їх придатність для подальшого використання.

Для досягнення поставленої мети були виконані такі *завдання*:

– визначити оптимальний набір показників для фізико-хімічного аналізу ґрунтів, які зазнали вибухового впливу;

– порівняти отримані результати з типовими показниками для району дослідження;

– провести ростовий тест *на Lactuca sativa, Brassica juncea* та *Raphanus sativus* в ґрунті з місця вибуху;

– розробити гугл форму для проведення соціологічного дослідження щодо обізнаності різних груп населення Запоріжжя про наслідки вибухових дій на якість ґрунту та проаналізувати отримані результати.

Об'єкт дослідження – ґрунти, які зазнали вибухового впливу.

Предмет дослідження – зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів під впливом вибухів.

Практичне значення роботи – отримані результати дослідження можуть бути використані для оцінки екологічного стану ґрунтів у районах, що зазнали вибухового впливу під час військових дій. Дані фізико-хімічного та агрохімічного аналізу ґрунтів, а також результати ростового тесту можуть бути застосовані для підбору рослинних культур, здатних вирощуватися на таких ґрунтах, зокрема для використання в проєктах фіторемедіації. Це допоможе

визначити придатність ґрунтів до сільськогосподарського використання та розробити заходи з відновлення ґрунтового покриву.

Робота виконувалась в рамках науково-дослідної роботи «Науковий супровід проектів екологічного спрямування в Запорізькому регіоні» (керівник д.б.н., проф. Рильський О.Ф.). Номер державної реєстрації НДР: 0119U002425. Терміни виконання етапу: з 01.01.2019 р. по 31.12.2024 р. та її результати опубліковані:

Shershnov S. G., Voronova N. V. Changes in the chemical and mechanical state of soils under the influence of various types of explosions during military operations in Ukraine // Innovative development of science, technology and education. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. 2023. Pp. 77-80. URL: http://surl.li/qfvzqa

Шершньов С. Г., Воронова Н. В. Changes in the physical and chemical state of soils during explosions. Сучасні проблеми біології, екології та хімії: Збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя: Поліграфічний центр «CopyArt», 2024. С. 202-204. URL: http://surl.li/clbyvy

1. ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ. ЗМІНИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ ПРИ ВИБУХОВОМУ ВПЛИВІ

1.1. Вплив вибухів на фізичні та механічні властивості ґрунтів

Вибухи, що відбуваються під час військових дій, мають суттєвий вплив на фізичні властивості ґрунтів, змінюючи їхню структуру та механічні характеристики [2]. Під час вибухів утворюються воронки, що супроводжується перемішуванням шарів ґрунту, його ущільненням та зниженням пористості [3]. Ці процеси значно змінюють водопроникність ґрунту, його здатність утримувати вологу та впливають на аерацію, що може мати довготривалі наслідки для екологічного стану території. Аналіз впливу вибухів на фізичні властивості ґрунтів є важливим для розуміння їхнього подальшого відновлення та забезпечення стійкості ґрунтових екосистем.

У роботі «Забруднення земель внаслідок агресії Росії проти України» (А. Сплодитель та ін.) [4] автори виділяють три основні типи кратерів, які формуються внаслідок вибухів боєприпасів різної потужності та типу. Кратери, що утворюються внаслідок вибухів над поверхнею землі, мають незначну глибину та відрізняються мінімальною кількістю уламків у їхній структурі, хоча осколкові пошкодження навколо місця удару можуть бути значними. Інший тип кратерів формується при вибухах на незначній глибині під поверхнею, характеризується добре помітною платформою зсуву та навколо-кратерним валом. Такі кратери, зазвичай утворені артилерійськими снарядами та авіабомбами, мають уламки великого розміру, які частково заповнюють кратер. Третій тип – це кратери, що виникають внаслідок вибухів на значній глибині, мають майже вертикальну платформу зсуву та значну кількість уламків всередині. Як видно з рисунка 1.1, такі кратери важче оцінити через велику кількість уламків, що заповнюють внутрішній простір і спричиняють

локалізовані порушення ґрунту, обмежені безпосередньою територією над точкою вибуху [4].

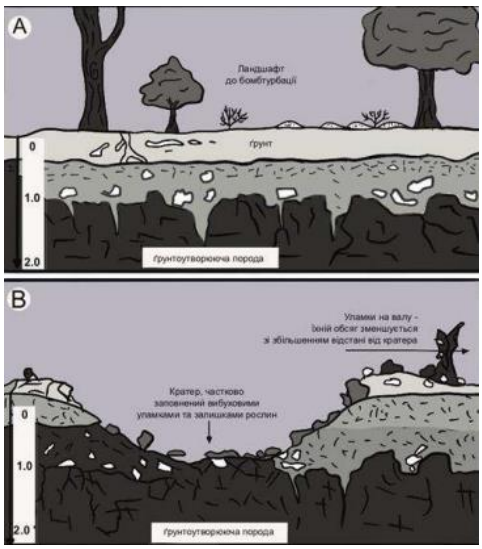


Рисунок 1.1 – Типовий кратер, утворений бомбардуванням [4]

На рисунку представлено схематичне зображення змін у ґрунтовому покриві до та після вибуху боєприпасу. Частина А показує ландшафт до бомбування, де видно непорушену структуру ґрунту та рослинний покрив. У частині В ілюструються наслідки вибуху: утворення кратера, що частково заповнений уламками вибухівки та залишками рослин. На рисунку також видно, як уламки розкидані на валу, їх обсяг зменшується зі збільшенням відстані від кратера, а сам кратер порушує природні горизонти ґрунту, що призводить до зміщення та руйнування структурних шарів ґрунту.

У результаті вибухів ґрунт зазнає значних змін у структурі, що пов'язано з перемішуванням верхнього родючого шару з нижніми горизонтами. Це перемішування та подальше ущільнення ґрунту суттєво впливають на його повітряно-водний баланс, знижуючи здатність ґрунту до аерації та проникнення води. Ущільнення призводить до погіршення умов для розвитку кореневої системи рослин, що своєю чергою зменшує родючість ґрунту та ускладнює його використання для сільськогосподарських потреб. Зміна фізичних характеристик ґрунту після вибухів потребує тривалого періоду відновлення та проведення рекультиваційних робіт для повернення ґрунту до природного стану [5].

Daniel Ambrosini та Bibiana Luccioni у своїх дослідженнях використовували числові методи та комп’ютерні моделі для аналізу впливу вибухів на ґрунти. Вони підкреслюють, що вибухові навантаження створюють динамічні впливи з високими швидкостями деформації, що змінює властивості ґрунтів, зокрема збільшує їх жорсткість та призводить до утворення кратерів. Для точного аналізу цих процесів автори застосували числові симуляції, які дозволяють детально вивчати формування кратерів та механізми, що впливають на ґрунт під час вибухів. Цей підхід дає змогу краще зрозуміти складні процеси, які відбуваються у ґрунті під впливом вибухових навантажень [6].

Дослідження І.В. Пліско, К.Ю. Романчука та С.І. Крилача з ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» показало вплив вибухів на гранулометричний склад ґрунтів у зонах бойових дій. Зокрема, аналіз зразків ґрунту, відібраних у місцях утворення воронок від артилерійських снарядів та авіабомб, виявив зменшення вмісту піску середньої та мілкої фракцій (1-0,25 мм, 0,25-0,05 мм) порівняно з контрольними ділянками. Як показано на рисунку 1.2, спостерігається збільшення вмісту дрібних часточок пилу та фізичної глини (<0,01 мм) у нижній частині воронок, що свідчить про переміщення та перемішування горизонтів ґрунту внаслідок вибухової дії і призводить до погіршення його фізичних властивостей та ускладнює подальше використання для сільськогосподарських цілей [7].

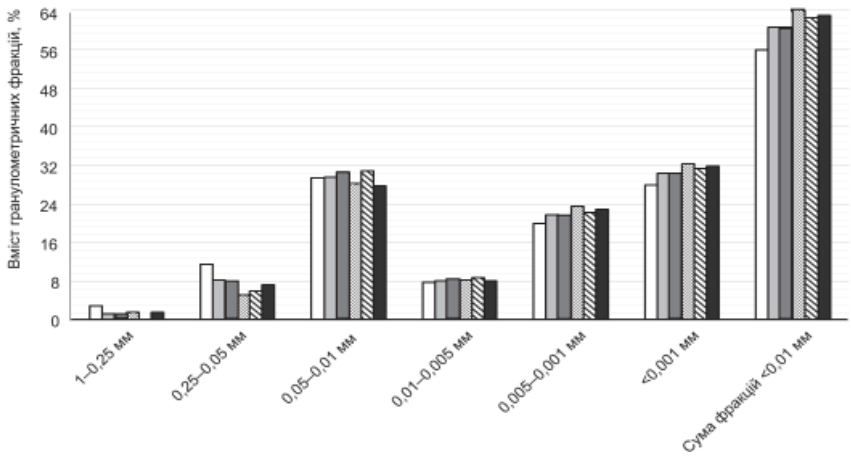


Рисунок 1.2 – Вплив воєнних дій на гранулометричний склад ґрунту. Джерело: І.В. Пліско, К.Ю. Романчук, С.І. Крилач, ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» [7]

Василюк Олексій та Валерія Колодежна у своїй статті [8] описують серйозні наслідки ерозії ґрунтів, що виникають внаслідок вибухів. Вони зазначають, що вибухова хвиля від детонації, наприклад, 250-кілограмової бомби, може створити воронку діаметром до 8 метрів і глибиною до 4 метрів, викидаючи велику кількість ґрунту. За їх оцінками, 1 кг вибухової речовини може призвести до викиду 1,5 м³ ґрунту, що для бомби масою 250 кг дорівнює приблизно 375 кубометрів. Оголений ґрунт в утвореній воронці ущільнюється по стінках через дію ударної хвилі, що призводить до його деградації. Ущільнений ґрунт втрачає свої природні властивості, такі як гуміфікація, вилуговування та вивітрювання, що суттєво впливає на його здатність до природного відновлення.

Крім того, автори вказують, що вибухи можуть руйнувати водонепроникний шар ґрунту, що призводить до пришвидшеного просочування води у ґрунт та її активного розмивання стінок воронки. Це збільшує закислення ґрунту та пришвидшує процеси ерозії. Як показано на рисунку 1.3, такі зміни призводять до втрати родючого шару ґрунту, що впливає на здатність ґрунту підтримувати ріст рослинності та сприяє забрудненню водоносних горизонтів, що несе загрозу здоров'ю людей та тварин.

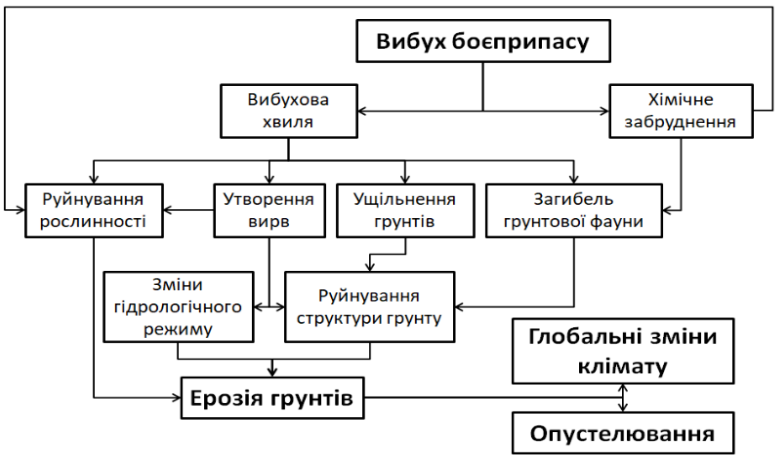


Рисунок 1.3 – Схема впливу вибухової дії боєприпасів на ґрунти та екологічні наслідки. Джерело: Василюк Олексій, Валерія Колодежна [8]

На рисунку показано взаємозв'язок між вибуховою дією боєприпасів та наслідками для ґрунтів і довкілля. Вибухова хвиля та хімічне забруднення призводять до руйнування рослинності, утворення воронок, ущільнення ґрунтів

і загибелі ґрунтової фауни. Ущільнення ґрунтів та руйнування їх структури, своєю чергою, викликають зміни гідрологічного режиму, що сприяють розвитку ерозії ґрунтів. Зміни в структурі та складі ґрунтів також можуть впливати на глобальні зміни клімату та процеси опустелювання.

Як зазначають Nadiia Maidanovych та Stanislav Sidorenko у своїй роботі «Забруднення угідь внаслідок бойових дій: огляд рішень для подолання кризи», проблеми на українських землях не обмежуються лише поверхневими забрудненнями [9]. Навіть якщо верхній шар ґрунту відновлений, підземні продукти бойової діяльності з металевими відходами можуть створювати бар’єри для води, ускладнюючи вирощування сільськогосподарських культур.

Механічний вплив вибухів та військових дій відображається не лише у деформації ґрунтового покриву, але й у забрудненні ґрунтів металевими відходами, зокрема гільзами та осколками від снарядів. Осколкова дія снарядів характеризується числом осколків різної маси, які можуть становити небезпеку для сільськогосподарських робіт та впливати на водний баланс ґрунту.

Як видно з таблиці 1.1. при вибухах снарядів різного калібру утворюється значна кількість уламків:

Таблиця 1.1 – Кількість осколків при розриві снарядів [9]

Калібр снаряда, мм	Число осколків масою від 1 до 4 г	Число осколків масою від 4 г і більше
100	900-1200	450-550
122	1000-1500	600-850
152	1800-2200	900-1300

1.2. Хімічні зміни в ґрунтах після вибухів

Вибухи боєприпасів суттєво впливають на хімічний склад ґрунтів, змінюючи баланс елементів та вносячи значні кількості забруднювальних речовин. Основними забруднювачами, що потрапляють у ґрунти після вибухів, є важкі метали, залишки вибухових речовин та інші токсичні елементи [10]. Такі зміни впливають на кислотність ґрунту, вміст органічних речовин та мінералів, що має значні наслідки для екосистем та сільськогосподарського використання земель. Розуміння цих змін є важливим для розробки стратегій з відновлення та рекультивації пошкоджених ділянок.

Перед тим як розглянути хімічні зміни у ґрунтах після вибухів, важливо звернути увагу на поняття гранично допустимої концентрації (ГДК). ГДК – це максимальний рівень концентрації небезпечних речовин у ґрунті, що не має шкідливого впливу на навколишнє середовище та здоров'я людей. В Україні нормативи ГДК для різних речовин встановлені постановою Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 року № 1325, що регламентує допустимі рівні та забезпечує контроль якості ґрунтів для захисту екосистем [11].

Автори: к.г.н. Анастасія Сплодитель, к.г.н. Олександр Голубцов, д.т.н. Сергій Чумаченко, д.г.н. Людмила Сорокіна у своїй роботі [12] детально розглядають вплив вибухів та військової діяльності на хімічний стан ґрунтів. Вони зазначають, що вибухи та активне застосування військової техніки призводять до забруднення ґрунтів різноманітними токсичними речовинами, такими як залишки вибухових речовин, пальне, мастильні матеріали та важкі метали. Внаслідок цього утворюються локальні воєнно-техногенні геохімічні аномалії, які можуть перетворити землі на непридатні для використання протягом тривалого часу. Зокрема, нерозірвані боєприпаси та наземні міни з часом піддаються корозії, що призводить до викидів токсичних речовин у ґрунт та створює ризик випадкової детонації.

Автори також акцентують увагу на проблемі забруднення ґрунтів важкими металами. У результаті військових дій спостерігаються підвищені концентрації свинцю (Pb), міді (Cu), миш'яку, цинку, хрому, кадмію та інших токсичних елементів. Це забруднення негативно впливає на ґрунтове біорізноманіття та знижує здатність ґрунтів до природного відновлення. Наприклад, у зонах АТО/ООС у 2016-2020 роках були зафіксовані значні концентрації цих елементів, що дає змогу використовувати їх як індикатори для моніторингу змін екологічного стану забруднених територій та прилеглих зон.

Крім того, у роботі зазначено вплив проливів паливно-мастильних матеріалів на хімічний склад ґрунтів. Вуглеводні, що потрапляють у ґрунт під час військових дій, можуть блокувати поровий простір, що перешкоджає доступу повітря та води до коренів рослин і мікроорганізмів. Це знижує біологічну активність ґрунту та погіршує дихання рослин, що в підсумку негативно впливає на стан екосистем.

У своїй роботі John Pichtel розглядає, як вибухові речовини змінюють хімічний склад ґрунтів після потрапляння у навколишнє середовище [13]. Цей процес включає розчинення, адсорбцію, фотоліз та біологічну деградацію. Наприклад, через низьку розчинність HMX він накопичується на поверхні ґрунту, а TNT швидше розчиняється у воді. HMX і RDX можуть проникати глибше в ґрунт, досягаючи ґрунтових вод, на відміну від TNT. Характер розчинення залежить від властивостей вибухових речовин, температури, та їх хімічних властивостей.

У своїй роботі [14] дослідники S. Kadali та його колеги дослідили зміну катіонно-обмінної ємності (CEC) ґрунтів під впливом високих температур. Вони визначили, що збільшення температури призводить до зниження CEC, що можна пояснити зменшенням кількості обмінних катіонів та втратами органічної речовини в ґрунті. Крім того, підвищення температури спричиняє збільшення розміру частинок та зменшення питомої поверхні ґрунту, що також впливає на зменшення катіонно-обмінної ємності. Зниження катіонно-обмінної ємності (CEC) ґрунту має суттєвий вплив на його родючість та здатність утримувати

поживні речовини. CEC визначає, наскільки ефективно ґрунт може утримувати позитивно заряджені іони, такі як кальцій, магній, калій та інші, які є важливими для живлення рослин. Коли CEC знижується, ґрунт втрачає здатність утримувати ці поживні елементи, що призводить до їхнього швидкого вимивання з ґрунту під час опадів або поливу. Це може призвести до дефіциту важливих елементів у ґрунті та погіршення умов для росту рослин, знижуючи загальну продуктивність ґрунту та його здатність підтримувати рослинний покрив.

У своєму огляді Mark A. S. Laidlaw [15] та його колеги обговорюють значні ризики, пов'язані з впливом свинцю на стрільбищах. Вони підкреслюють, що свинець (Pb) від випущених куль і капсулів є основним джерелом забруднення, що становить серйозну загрозу для здоров'я. Дослідження зосереджується на тому, що підвищені рівні свинцю в крові (BLLs) є поширеними серед осіб, які користуються стрільбищами, через вдихання свинцевого пилу та частинок. Зазначається, що свинець може накопичуватися в ґрунтах на відкритих стрільбищах, де він може зберігатися в навколишньому середовищі протягом тривалого часу, погіршуючи якість ґрунту та потенційно призводячи до подальшого забруднення через стік у водні системи.

Це дослідження є актуальним для розуміння хімічних змін у ґрунтах після вибухів або діяльності, пов'язаної з використанням свинцевих боєприпасів. Воно підкреслює довготривалу стійкість свинцю в навколишньому середовищі та потенціал забруднення ґрунтів, що може мати шкідливі наслідки для якості ґрунтів та екологічного стану загалом.

Стаття Лабораторії хімічного аналізу [16] досліджує вплив важких металів на рослини, акцентуючи увагу на різних хімічних елементах та їхню дію на ріст і розвиток рослин. Зокрема, у таблиці яку вони надають у своїй статті розглянуто, як метали, такі як свинець, мідь, кобальт, цинк та ртуть, впливають на фотосинтетичні процеси, утворення ферментів та обмін речовин у рослинах.

У цій таблиці зазначено що свинець у невеликих кількостях може сприяти прискоренню росту рослин та підвищенню вмісту крохмалю, але забруднення ґрунту та води свинцем пригнічує фотосинтетичні процеси, що негативно

впливає на врожайність. Мідь стимулює процеси фотосинтезу та утворення ферментів на основі заліза, таких як пероксидаза, проте її надлишок призводить до непропорційного розвитку, пригнічення росту пагонів та швидкого в’янення рослин. Цинк, як мікродобриво, прискорює дозрівання і підвищує врожайність, але надлишок може викликати відмирання перенасичених елементом частин рослини, переважно листя. Ртуть необхідна для здорового розвитку рослин, адже її нестача призводить до зупинки вироблення гормону росту ауксину та зниження життєстійкості. Однак надлишок ртуті уповільнює ріст, викликає відмирання нових пагонів та знижує засвоюваність міді. Кобальт активно накопичується у хвойних деревах та рослинах, що розмножуються спорами, але у великих концентраціях він сповільнює обмін речовин, клітинне дихання та вироблення важливих ферментів.

Автори Шейко В.І., Кучменко О.Б., Гавій В.М., Пасічник С.В. у своєму дослідженні розглядають небезпеку забруднення ґрунтів важкими металами, що становлять загрозу для здоров'я людини та тварин. Також вони зазначають, що у забруднених ґрунтах найчастіше зустрічаються іони Pb^{2+}, Cr^{3+}, As^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+}, Cu^{2+}, Hg^{2+} та Ni^{2+} [17].

1.3. Вплив забруднення ґрунтів на екосистеми та здоров'я людини

Забруднення ґрунтів має серйозний вплив на стан екосистем та здоров'я людини. Внаслідок забруднення в ґрунт потрапляють важкі метали, токсичні хімічні сполуки, залишки палива та інші небезпечні речовини, які змінюють фізико-хімічні властивості ґрунтів. Ці зміни призводять до деградації біорізноманіття, зниження родючості ґрунтів та порушення ланцюгів живлення у природних екосистемах. Водночас накопичення шкідливих речовин у харчових продуктах та питній воді, що контактують із забрудненим ґрунтом, створює

значні ризики для здоров'я людини, включаючи розвиток хронічних захворювань та порушення імунної системи.

У своєму дослідженні [18] Микола Хилько зазначає, що ліси є ключовим елементом екосистеми, оскільки вони виконують численні функції, такі як забезпечення санітарно-гігієнічних умов, водоохоронних та рекреаційних. Проте, зараз воєнні дії призводять до знищення лісів, що не лише негативно впливає на екологічний баланс, але й загрожує здоров'ю людей та тварин, а також зменшує біорізноманіття в регіонах, де відбуваються військові конфлікти.

Василюк О. та Норенко К. у своїй праці [19] наголошують, що військова діяльність спричиняє значний негативний вплив на природні екосистеми України, що стає особливо помітним у зоні бойових дій. Погіршення стану довкілля знижує можливості для відновлення сільського господарства та промисловості на окупованих територіях. Вони також зазначають, що такі зміни можуть спричинити появу екологічних біженців-людей, які змушені покидати свої домівки через погіршення стану довкілля. Вони зазначають, що це явище може стати другим прикладом екологічної міграції в Україні після катастрофи на ЧАЕС у 1986 році.

Volodymyr Fedenko з Oles Honchar Dnipro National University у своїй роботі досліджує вплив воєнних дій на природні екосистеми України, зокрема на трансформацію рослинності [20]. Автор підкреслює, що бойові дії, починаючи з 2014 року, призвели до значних змін у рослинному покриві, включаючи майже повне знищення рослинності в окремих заповідних зонах на сході України. Це стосується не тільки типових видів, але й ендемічних і занесених до Червоної книги України. Особлива увага приділена лісовим екосистемам, які зазнали значних пошкоджень в зоні бойових дій.

Fedenko також описує процеси синантропізації рослинного покриву, що включають рудералізацію, адвентизацію та поширення інвазивних видів. Наприклад, під час сучасної російсько-української війни на Луганщині був виявлений новий для України вид адвентивних рослин *Sporobolus cryptandrus*, ареал якого раніше був обмежений територією Росії.

Автор наголошує на важливості документації довоєнного стану біорізноманіття для планування відновлення пошкоджених середовищ існування. Це включає внесення даних до міжнародних баз та мереж для оцінки стану рідкісних та зникаючих рослинних угруповань, що перебувають під охороною. На думку Fedenko, руйнування ключових компонентів фітоценозу внаслідок воєнних дій може призводити до екологічної кризи, невизначеності в розвитку екосистем та появи нових, трансформованих рослинних угруповань у повоєнний період.

Також автор надає таблицю, яка містить інформацію про рудеральні та інвазивні рослини, що можуть бути використані для технологій фіторемедіації – процесу очищення ґрунту та води від забруднювальних речовин за допомогою рослин. У ній перелічено різні види рослин, зазначено полютанти (забруднювачі), які вони можуть видаляти з ґрунту або води, а також процеси, що застосовуються (наприклад, фітоекстракція, фітодеградація, фітостабілізація). На рисунку також представлено інформацію про середовище, у якому ці рослини ефективно діють (ґрунт або стічні води), та посилання на відповідні дослідження, що підтверджують ефективність цих методів.

Авторський колектив Блага А. Б., Медведєва М. О., Короткий Т. Р. та інші у своїй праці «На межі виживання: знищення довкілля під час збройного конфлікту на сході України» описують вплив військових дій на природний заповідник «Крейдова флора» [21]. Вони наголошують, що ця унікальна територія, де збережені рідкісні соснові бори та флора крейдяних відшарувань, зазнала значних пошкоджень унаслідок обстрілів та бойових дій. Зокрема, на території заповідника було зафіксовано понад 500 вирв від снарядів, осколки та зруйновані дерева, що свідчить про високий рівень деструктивного впливу на екосистему. Вони зазначають, що бойові дії призвели до зникнення слідів великих ссавців і павуків, водночас розповсюдились чужорідні рослини, такі як злинка канадська (*Erigeron canadensis*).

Також автори наводять цікаву таблицю, в якій представлено дані щодо відсотка домінування певних видів рослин у вирвах та динаміки відновлення

рослинного покриву на різних типах ґрунтів. У їх таблиці наведено інформацію про відсоток покриття вирв рослинами через два роки після військових дій та очікуваний період відновлення рослинного покриву. Найшвидше відновлення спостерігається на чорноземах (2-3 роки), тоді як на крейдових схилах процес може зайняти понад 10 років.

Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., та Сорокіна Л. у своїх дослідженнях підкреслюють негативні наслідки воєнно-техногенного впливу на здоров'я дітей, які проживають на територіях бойових дій. Вони зазначають, що затримка росту та неврологічного розвитку у дітей може бути пов'язана з впливом важких металів, таких як миш'як (As), барій (Ba) та молібден (Mo). Дослідження вказують на підвищений рівень передчасних пологів та вроджених вад у новонароджених в районі Газа, що обумовлено впливом важких металів, зокрема барію, миш'яку, кобальту (Co), кадмію (Cd), хрому (Cr), ванадію (V) та урану (U). Подібні порушення неврологічного розвитку виявлено й у дітей в зоні бойових дій в Іраку.

Автори наголошують, що хоча досліджень у цій сфері недостатньо, існують незаперечні докази негативного впливу високих концентрацій важких металів на здоров'я населення, зокрема на центральну та периферичну нервову систему, кровотворення та ендокринну систему. Вони також підкреслюють, що певні хімічні елементи можуть сприяти виникненню атеросклерозу, злоякісних новоутворень та генетичних порушень. Зважаючи на це, епідеміологічний моніторинг є важливою частиною дослідження територій, що зазнали воєнно-техногенних впливів.

У статтях, підготовлених лабораторією «УкрХімАналіз», йдеться про вплив важких металів на здоров'я людини, а також про способи запобігання їхньому негативному впливу [22-24]. Важкі метали, такі як ртуть, свинець, кадмій, миш'як та інші, потрапляють в організм з їжею, повітрям та водою, накопичуючись протягом тривалого часу. Це призводить до серйозних порушень роботи мозку, серцево-судинної, нервової та травної систем. Особлива увага приділяється ризикам, пов'язаним з отруєнням ртуттю, свинцем та кадмієм, які

можуть спричинити такі наслідки, як головний біль, м'язова слабкість, анемія, а також загрожувати безпліддям і онкологічними захворюваннями. У таблиці яку вони наводять зазначено що ртуть накопичується в організмі та може викликати порушення роботи мозку і нервової системи, анемію та судоми, хоча смертельні випадки трапляються рідко. Свинець є поширеним джерелом отруєння, що спричиняє головні болі, зміни настрою, ураження серцево-судинної та нервової систем. Кадмій заміщає цинк, порушуючи баланс кальцію і фосфору, що призводить до деградації кісткових тканин, болю, а також можливих уражень нервової та сечостатевої систем. Миш'як при гострому отруєнні викликає головний біль та болі в шлунку, а хронічне отруєння може призводити до захворювань сечостатевої та дихальної систем, а також до розвитку раку.

Дослідження, проведене Тетяною Чайкою, показало, що рослини на військових полігонах здатні накопичувати важкі метали, зокрема свинець, мідь, нікель, цинк та миш'як [25]. Забруднення не обмежується лише межами полігону, а через процеси вимивання поширюється на сусідні території. Це становить пряму загрозу для здоров'я людей та призводить до тривалої екологічної шкоди для водних ресурсів та ґрунту.

Також важливо приділити увагу такому поняттю, як біомагніфікація – це процес, при якому концентрація токсичних речовин, таких як важкі метали, пестициди та інші забруднювальні речовини, зростає в організмах на кожному наступному рівні харчового ланцюга. Як показано на рисунку 1.5, це явище спостерігається тоді, коли речовини потрапляють в навколишнє середовище, наприклад, у ґрунт або воду, і накопичуються в організмах, які їх поглинають. Оскільки організми споживають забруднені харчові ресурси, концентрація токсичних речовин зростає в їхніх тканинах, і з часом ця концентрація стає значно вищою у вищих трофічних рівнях, таких як хижаки [26].

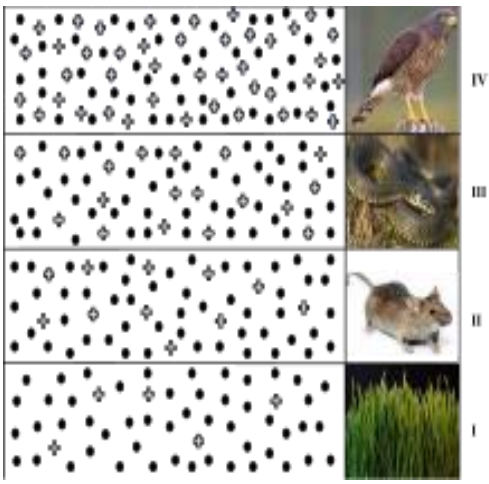


Рисунок 1.4 – Біологічне підсилення (біомагніфікація) [26]

1.4 Правові механізми регулювання та відновлення впливу військових дій на стан земельних ресурсів

Військові дії мають значний негативний вплив на стан земельних ресурсів, що вимагає застосування комплексних правових механізмів для їх регулювання та відновлення. Зміни у структурі ґрунту, забруднення важкими металами, токсичними речовинами та інші наслідки бойових дій можуть завдати тривалого збитку навколишньому середовищу, що впливає на здатність земельних ресурсів виконувати свої екологічні та господарські функції. Правові механізми відіграють ключову роль у процесі регулювання відновлення таких територій, встановлюючи стандарти для проведення оцінки збитків, відновлення земель та мінімізації наслідків військових дій. У цьому розділі буде розглянуто основні законодавчі акти та нормативні документи, що спрямовані на регулювання відновлення земельних ресурсів після військових дій, а також надано аналіз їхньої ефективності у забезпеченні екологічної безпеки та сталого відновлення територій.

Закон України № 962-IV «Про охорону земель» регулює збереження і раціональне використання земельних ресурсів. Він визначає правові основи

захисту земель від деградації та забруднення, а також відновлення пошкоджених територій. Закон встановлює обов'язки власників та користувачів земельних ділянок щодо збереження ґрунтів та відшкодування збитків, спричинених порушенням правил охорони земель. Також він передбачає заходи для збереження природних властивостей ґрунтів, особливо в зонах, що постраждали внаслідок військових дій [27].

Постанова Кабінету Міністрів України № 812-2006-п визначає порядок утилізації ракет, боєприпасів та вибухових речовин. Документ регулює процедури безпечного знищення таких матеріалів для мінімізації ризиків забруднення навколишнього середовища. Він встановлює правила зберігання, транспортування та знешкодження вибухових речовин, щоб забезпечити захист довкілля та громадської безпеки під час утилізації боєприпасів [28].

Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» визначає ключові напрями екологічного розвитку країни. Він спрямований на поліпшення якості навколишнього середовища, раціональне використання природних ресурсів, зменшення забруднення та впровадження екологічно безпечних технологій. Закон передбачає інтеграцію екологічної політики в інші галузі, розвиток екологічної освіти та посилення моніторингу стану довкілля для досягнення сталого розвитку [29].

Розпорядження Кабінету Міністрів України № 70-р від 19 січня 2022 року схвалює Концепцію Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель. Вона спрямована на збереження та раціональне використання земельних ресурсів, запобігання деградації ґрунтів і підвищення їх родючості. Основні завдання програми включають зниження рівня розораності, поліпшення управління земельними ресурсами та адаптацію до змін клімату. Міністерство аграрної політики призначено головним виконавцем програми [30].

Кожен регіон України щорічно готує Регіональну доповідь про стан навколишнього природного середовища, яка містить аналіз різних аспектів стану довкілля. Один з ключових розділів цих доповідей – «Земельні ресурси і ґрунти».

У ньому оцінюється стан земельних ресурсів, процеси ерозії, рівень забруднення ґрунтів та заходи, спрямовані на їх охорону і відновлення. Така інформація допомагає моніторити зміни і формувати ефективні регіональні екологічні програми [31-33].

Автори К. Ситник і В. Багнюк у своїй роботі «Стан ґрунтів і майбутнє людства» зазначають, що сьогодні для відновлення порушених земель необхідно виділяти значні фінансові ресурси [34]. Однак, у багатьох країнах підхід до цього питання залишається залишковим, що ускладнює відновлювальні процеси. Як показано на рисунку 1.6, ця проблема проілюстрована в їхньому дослідженні на прикладі даних про витрати на відновлення забруднених земель у деяких країнах Європи.

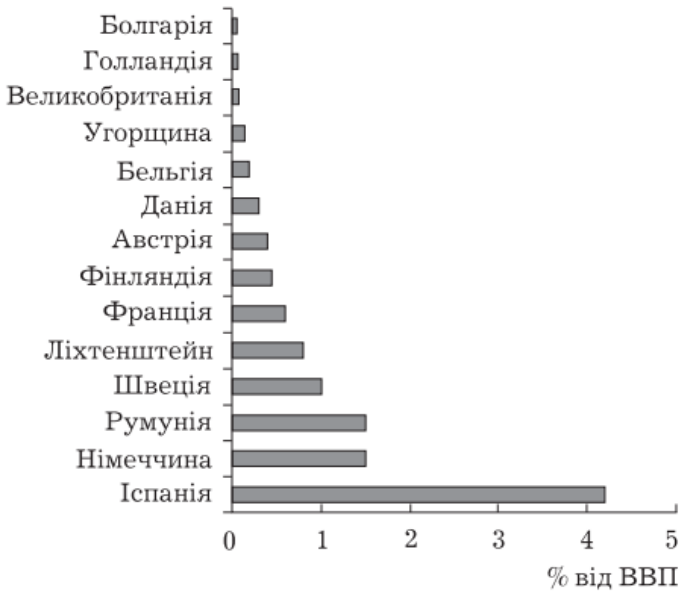


Рисунок 1.5 – Затрати на відновлення забруднених земель у деяких країнах Європи (дані Світового банку) [34]

Автори Dimitrios Kalderis, Albert L. Juhasz, Raj Boopathy, та Steve Comfort у своїй роботі [35] аналізують процеси деградації та очищення ґрунтів, забруднених вибуховими речовинами, такими як TNT, RDX, та HMX. Дослідження охоплює методи біоремедіації, хімічного знешкодження та теплових технологій. Вони наголошують на важливості використання специфічних методів для різних умов, щоб знизити екологічні ризики та покращити ефективність очищення забруднених територій.

Деякі країни, як-от США, використовують високотехнологічні методи для очищення земель. У документі Report of the Defense Science Board Task Force on Unexploded Ordnance [36] розглядається приклад застосування США технології High Tech Remediation у процесі очищення від вибухонебезпечних предметів (UXO). Очищення земель включає використання сучасних технологій, що дозволяють зменшити кількість хибних спрацьовувань детекторів і знизити загальні витрати. Як показано на рисунку 1.7, графіки у звіті порівнюють витрати на видалення металолому за допомогою звичайних і високотехнологічних методів, демонструючи, що High Tech Remediation скорочує витрати завдяки досягненню співвідношення помилкових сигналів 10:1, що економить значні кошти.

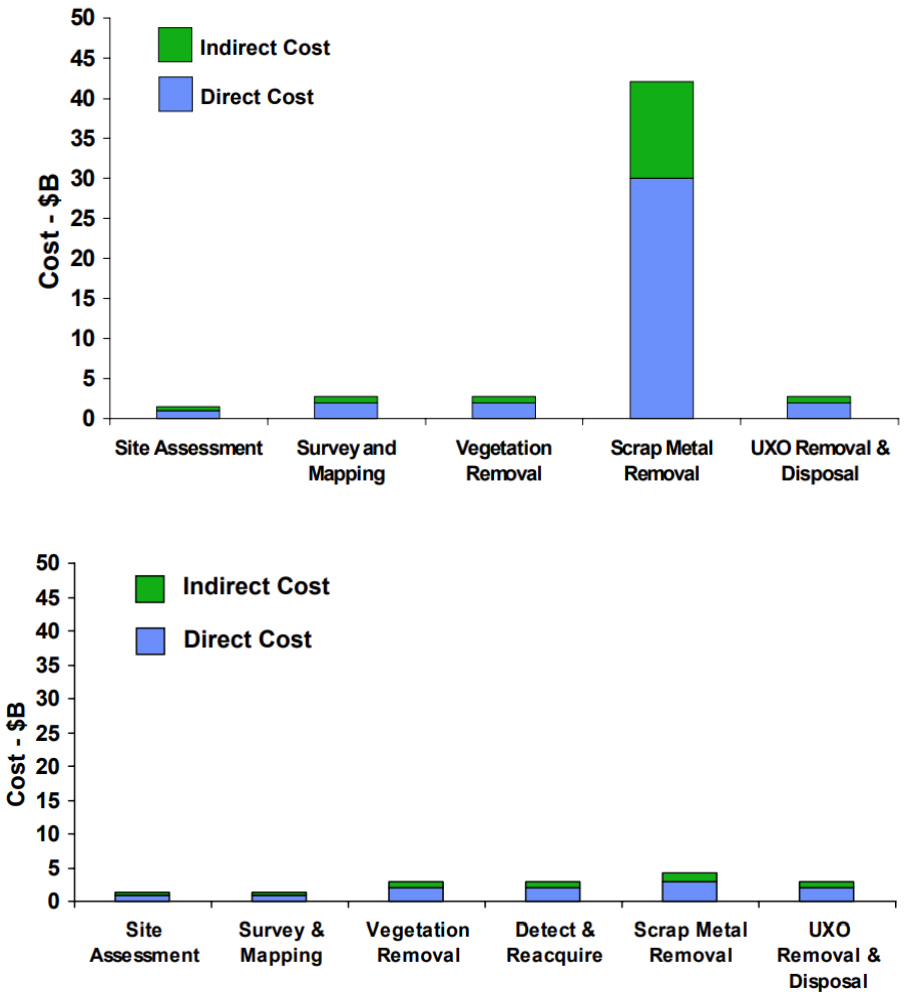


Рисунок 1.6 – Порівняння витрат на очищення земель за допомогою Low Tech Remediation (52 мільярди доларів) та High Tech Remediation (16 мільярдів доларів) [36].

Ці два графіки ілюструють порівняння витрат на очищення земель від вибухонебезпечних предметів (UXO) між звичайними (Low Tech Remediation) та високотехнологічними методами (High Tech Remediation).

На першому графіку (Low Tech Remediation) видно, що основні витрати пов'язані з видаленням металолому, і загальна сума складає близько $52 мільярдів.

Другий графік (High Tech Remediation) показує, що використання сучасних технологій значно знижує ці витрати до $16 мільярдів завдяки ефективному виявленню та зменшенню помилкових сигналів.

Albert T. Yeung з Institute of Environmental Engineering у своїй роботі «Remediation Technologies for Contaminated Sites» [37] Він розглядає методи очищення, що включають технології, які працюють безпосередньо на місці забруднення та ті, що потребують видалення забрудненої землі для очищення. Він описує ефективність, обмеження, вартість та потенційні побічні ефекти кожної з технологій, підкреслюючи важливість їх адаптації до специфічних забруднювачів та умов місцевості. Також він надає критерії вибору відповідної технології та методи моніторингу ефективності очищення, що є важливими для досягнення екологічної безпеки.

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Методика відбору проб ґрунту

Згідно ДСТУ ISO 10381-2:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2 та ДСТУ ISO 10381-5:2009. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 5. Процес відбору проб ґрунту включає вибір відповідної техніки та обладнання для забезпечення точності та репрезентативності проб. Залежно від мети дослідження, обираються різні методи відбору, які відрізняються за способом виймання зразків, їх глибиною та подальшою обробкою [38, 39].

Вибір техніки відбору та підбір обладнання залежить від характеристик об’єктів контролю та цілей дослідження. До найпоширеніших методів належать:

– відбір непорушених проб, де зберігається природна структура ґрунту;

– відбір порушених проб, де структура ґрунту не зберігається, що дозволяє дослідити хімічний склад без врахування початкової структури;

– точкові проби, які відображають склад ґрунту в певній точці на момент відбору;

– об'єднані проби, що отримуються шляхом змішування декількох точкових проб і характеризують середні показники ділянки або певного шару ґрунту.

Проби поділяються за глибиною на поверхневі (0-20 см) та глибинні (понад 20 см). Відбір глибинних проб зазвичай здійснюється за допомогою буріння або розкопування з контролем глибини за допомогою спеціальних приладів. Точкові проби з глибин відбирають з використанням спеціалізованого обладнання, такого як ґрунтові бури, для забезпечення точності вимірювань [40].

Окрім відбору проб за глибиною, важливим є також вивчення просторового та вертикального розподілу забруднень у ґрунтах, що зазнали впливу військових дій. Автори дослідження *Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review* (Parya Broomandi, Mert Guney, Jong Ryeol

Kim та Ferhat Karaca) розглядають підходи до характеристики таких військових зон, зокрема досліджують розподіл потенційно токсичних елементів (ПТЕ) [41]. Забруднення часто концентрується у верхніх шарах ґрунту та з часом може мігрувати на більшу глибину. Наприклад, у дослідженні, проведеному у Франції, свинець і цинк мали найбільшу концентрацію у верхніх шарах ґрунту, проте поступово знижувалися на відстані від джерела забруднення. Інші дослідження також показують, що забруднення у верхніх шарах ґрунту може мати значну варіативність, з поступовим зниженням концентрацій на глибших рівнях.

Ми здійснили відбір ґрунтових проб з використанням методу «конверта» під час дослідження ґрунту з воронки на місці прильоту ракети. Цей метод є одним із найпоширеніших і забезпечує отримання середнього показника стану ґрунту на всій ділянці. Методика відбору проб ґрунту «Конверт» передбачала забір зразків із п'яти точок: чотирьох крайових, розташованих по діагоналі, та однієї центральної (рисунок 2.1) [42]. Такий підхід дозволяв отримати репрезентативний зразок, який відображав стан ґрунту на всій досліджуваній площі. Далі ці зразки об’єднували в один середній зразок для подальшого аналізу, що забезпечувало більш точний результат та дозволяло провести об’єктивну оцінку фізико-хімічних властивостей ґрунту.

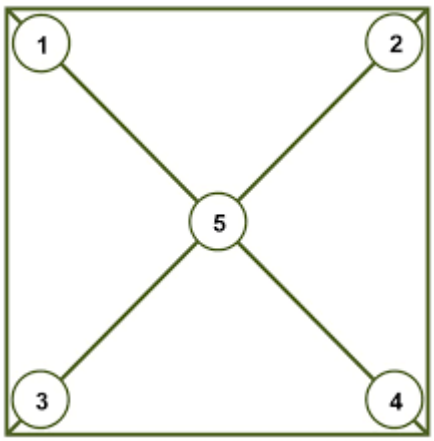


Рисунок 2.1 – Відбір ґрунту методом «Конверт»

Під час відбору проб ми використовували принцип точкового відбору, що є основою методу «конверта» згідно з ДСТУ ISO 10381-5:2009. Точкові проби відбирали з глибини 0-20 см, що дозволяло оцінити поверхневий шар ґрунту, де накопичуються забруднювальні речовини. Кожна точкова проба мала масу

приблизно 200 г, що було достатньо для проведення всіх запланованих аналізів. Зразки одразу маркували, пакували у пластикові мішечки та відправляли до лабораторії для подальшого аналізу. Цей підхід дозволяв уникнути змішування проб і зберегти природну структуру ґрунту під час транспортування, що мінімізувало ризик перехресного забруднення.

Для виконання відбору проб ми використовували такі інструменти:

– ґрунтову лопату для збору зразків із поверхневих шарів ґрунту та видалення рослинних залишків;

– мішечки з ярликами для зберігання зразків та маркування, що забезпечувало правильне транспортування до лабораторії.

Розпочинали відбір проб із крайових точок, розташованих по діагоналі ділянки, формуючи форму «конверта». Зразки збирали з кожної крайової точки, а також із центральної точки ділянки. Під час відбору видаляли рослинні залишки за допомогою лопатки та відбирали ґрунт від низу до верху, щоб уникнути змішування різних шарів. Всі відібрані точкові зразки змішували, утворюючи одну об'єднану пробу.

Зібрані зразки маркували з зазначенням місця, дати відбору та глибини, після чого їх пакували в герметичні мішечки. Уникаючи відбору зразків поблизу потенційних джерел забруднення, таких як склади з добривами або дороги, ми забезпечували об’єктивність результатів. Після збору зразки ґрунту обробляли: зменшували об’єм проби до необхідного рівня методом квартування, подрібнювали та ретельно перемішували для отримання однорідної структури. Матеріал розсипали на аркуші паперу, видаляли коріння рослин, каміння та інші домішки. Така підготовка проб забезпечувала точність хімічного аналізу.

Етикетовані зразки складали у пластикові мішечки та відправляли до лабораторії «УкрХімАналіз», де проводили агрохімічний та екологічний аналіз. Це дозволяло зберегти природні властивості зразків і забезпечити достовірність результатів дослідження.

Методика відбору проб за допомогою «конверта» дозволила нам отримати надійні дані про стан ґрунтів на досліджуваній ділянці. Всі відібрані зразки були

оброблені згідно з нормативами та доставлені до лабораторії в найкоротші терміни для подальшого аналізу.

Далі проводили дослідження ґрунту методом проростання, саме цей метод використовував для оцінки токсичності ґрунту з місця прильоту [43]. Цей метод базується на використанні рослинних тест-систем, які є надійним інструментом для визначення ступеня токсичності забруднювачів у ґрунті. Методика дозволяє оцінити сумарний ефект впливу різних видів забруднювачів на рослини та стан ґрунтових екосистем, що зазнали антропогенного впливу.

Рослинні тест-системи застосовують для оцінки фітотоксичності – здатності ґрунту впливати на ріст та розвиток рослин. Фітотоксичність може бути результатом наявності забруднювачів у ґрунті, які пригнічують фізіологічні процеси рослин, що призводить до зниження їхнього росту та якості рослинної продукції.

Метод проростання включає використання насіння рослин як тест-об'єктів. Ми оцінювали такі параметри, як:

– динаміка проростання насіння: швидкість і кількість насіння, яке проросло в контрольному та дослідному зразках ґрунту;

– відсоток схожості: співвідношення кількості пророслого насіння до загальної кількості висіяного;

– довжина головного та бічних коренів: вимірюється для оцінки можливого впливу забруднення на розвиток кореневої системи;

– довжина пагона: показує, як забруднення ґрунту впливає на ріст наземної частини рослин.

Основною перевагою тестування методом проростання є можливість отримати оперативну інформацію про рівень токсичності ґрунту. На відміну від хімічного аналізу, цей метод дозволяє оцінити сумарний вплив на живий організм, враховуючи можливі взаємодії між різними забруднювачами. Це особливо важливо в умовах техногенного забруднення, коли концентрації окремих речовин можуть змінюватися та взаємодіяти між собою, посилюючи або послаблюючи токсичний ефект.

2.2. Методи лабораторного аналізу проб ґрунту

Лабораторний аналіз ґрунту є важливим етапом оцінки його складу та стану. Він дозволяє визначати хімічний склад ґрунту, вміст важких металів та інших елементів, а також кислотно-лужний баланс (pH). Ці дані допомагають виявити забруднення, оцінити родючість та визначити необхідні заходи для покращення ґрунту. Застосування стандартизованих методик, таких як ДСТУ та ISO, забезпечує точність та достовірність результатів, що є основою для прийняття рішень щодо охорони та відновлення ґрунтових ресурсів [44].

Лабораторний аналіз проб ґрунту було проведено в лабораторії «УкрХімАналіз», де було встановлено 23 показники, що характеризують стан ґрунту. Серед них: pH, вміст органічної речовини, азот нітратний, азот лужногідролізований, фосфор рухомий (за методом Чирікова), калій рухомий (за методом Чирікова), pH водної витяжки, pH сольової витяжки, загальна засоленість, питома електропровідність, гідролітична кислотність, сума обмінних основ, сірка рухома, кальцій обмінний, магній обмінний, радіаційний фон, а також валовий вміст кадмію, свинцю та марганцю, рухомі форми цинку, міді, нікелю, кобальту, і загальний вміст хрому. У розділі описано методики лабораторного аналізу, які використовувалися для визначення цих показників.

Для аналізу pH ґрунту за ДСТУ ISO 10390:2001 використовується інструментальний метод із застосуванням скляного електрода [45]. Процедура включає підготовку ґрунтової суспензії у співвідношенні ґрунту до рідини 1:5 (V/V), де рідиною може бути вода, розчин хлориду калію (KCl) або розчин хлориду кальцію (CaCl2). Після цього pH вимірюється за допомогою pH-метра.

Основні етапи проведення аналізу:

– взяти зразок ґрунту, подрібненого та просіяного через сито з розміром отворів 2 мм;

– помістити зразок у посудину і додати п'ятикратний об'єм обраного розчину (вода, KCl, $CaCl_2$);

– струшувати суміш протягом 5 хвилин та дати настоятися від 2 до 24 годин;

– виміряти pH за допомогою pH-метра, калібруючи його перед кожним вимірюванням з використанням буферних розчинів для точності.

Атомно-абсорбційний спектральний аналіз (ААС) – це метод аналізу, що базується на здатності атомів речовини, переведеної в газоподібний атомарний стан, вибірково поглинати світло на певних довжинах хвиль [46]. При проходженні випромінювання через пару атомів досліджуваної речовини, світло поглинається на частотах, що відповідають переходу електронів з одного енергетичного рівня на інший (резонансні лінії). Ступінь поглинання світла використовується для визначення концентрації досліджуваного елемента у зразку.

Принцип методу визначення оптичної густини обчислюється за законом Бугера-Ламберта-Бера, який записується у вигляді формули (2.1):

$$D = \lg(I_0/I) = klC,$$

де D – оптична густина (абсорбція), I_0 – інтенсивність вихідного світла, I – інтенсивність світла після проходження через зразок, k – коефіцієнт поглинання, l – товщина шару зразка, C – концентрація визначуваного елемента

Температура для проведення атомізації проби (переведення у газоподібний стан) зазвичай становить 2000-3000°C. Для цього використовуються різні типи атомізаторів: полуменеві, електротермічні, ВЧ– та НВЧ-розрядні, проте найчастіше застосовуються полуменеві, що працюють на суміші ацетилену та закису азоту. У цьому температурному діапазоні переважна більшість атомів перебуває у не збудженому стані, що забезпечує високу точність та вибірковість аналізу.

Світлове випромінювання, яке використовується для збудження атомів, генерується джерелами з лінійчастим спектром, такими як лампи з порожнистим катодом, безелектродні газорозрядні лампи та перестроювані лазери. Це

дозволяє чітко виділити необхідну резонансну лінію для конкретного елемента, який досліджується.

Основною перевагою атомно-абсорбційного спектрального аналізу є висока селективність, чутливість та можливість визначення до 70 елементів у концентраціях від 10^{-4} до 10^{-9}% маси. Водночас недоліком методу є те, що він дозволяє визначати лише один елемент за один вимір, що робить процес аналізу послідовним для кількох елементів, на відміну від методів атомно-емісійного аналізу.

Метод ААС широко застосовується завдяки його точності, простоті проведення, відносній економічності та високій продуктивності. Це робить його незамінним у аналізах, де потрібно визначати як високі, так і низькі концентрації хімічних елементів у різних зразках.

ДСТУ 4770.6:2007 описує метод визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті за допомогою буферної амонійно-ацетатної витяжки з pH 4,8 із застосуванням методу атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ААС) [47]. Цей стандарт використовується для оцінки доступності міді у ґрунті, що має велике значення для агрохімічного аналізу та моніторингу екологічного стану ґрунтів.

Основні етапи проведення аналізу включають підготовку ґрунтової витяжки, відділення витяжки, вимірювання вмісту міді та розрахунок результатів. Зразок ґрунту обробляється буферним розчином амонійно-ацетатної витяжки з pH 4,8, після чого ґрунт змішується з розчином у визначеному співвідношенні. Суміш струшується або перемішується протягом певного часу для досягнення рівноваги між ґрунтом і розчином, а після цього центрифугується або фільтрується для отримання чистої рідкої фази. Рідка витяжка аналізується за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометра, налаштованого на визначення міді, використовуючи відповідні стандартні розчини для калібрування. Результати вимірювань обробляються для визначення вмісту міді в ґрунті, вираженого в міліграмах на кілограм (мг/кг), і перераховуються на масу сухого ґрунту, що дозволяє отримати стандартизовані дані для порівняння з іншими зразками та нормативами. Цей метод забезпечує точну оцінку доступної

форми міді у ґрунті, що важливо для оцінки її впливу на ріст рослин, їх харчування та стан ґрунтового середовища.

Цей метод дозволяє отримати точну оцінку доступної форми міді у ґрунті, що важливо для оцінки її впливу на ріст рослин, їх харчування та стан ґрунтового середовища.

ДСТУ 4770.3:2007 описує методику визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті за допомогою буферної амонійно-ацетатної витяжки з pH 4,8 та методу атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Це дозволяє оцінити доступність кадмію у ґрунті, що важливо для моніторингу його забруднення та впливу на довкілля та здоров'я людини [48].

ДСТУ 4770.5:2007 регламентує визначення вмісту рухомих сполук кобальту в ґрунті, використовуючи буферну амонійно-ацетатну витяжку з pH 4,8 та метод атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Цей стандарт є необхідним для оцінки агрохімічного стану ґрунтів та аналізу екологічних ризиків, пов'язаних з кобальтом [49].

ДСТУ 4770.8:2007 стосується визначення вмісту рухомих сполук хрому в ґрунті, що проводиться за допомогою буферної амонійно-ацетатної витяжки з pH 4,8 та атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Це дозволяє виявити потенційно небезпечні концентрації хрому у ґрунтах та контролювати його вплив на екосистеми[50].

ДСТУ 4770.9:2007 визначає методику оцінки вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті через буферну амонійно-ацетатну витяжку з pH 4,8 із застосуванням атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Метод використовується для моніторингу свинцю в ґрунті, що є важливим через його токсичність та потенційний негативний вплив на здоров'я людей та тварин[51].

ДСТУ 7853:2015 описує метод визначення вмісту рухомих сполук цинку у ґрунті за допомогою одно нормальної солянокислої витяжки та методу атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Цей метод дозволяє визначити доступні форми цинку у ґрунті, що має значення для агрохімічного аналізу та оцінки стану ґрунтових ресурсів [52].

ДСТУ 4770.7:2007 стосується визначення вмісту рухомих сполук нікелю в ґрунті, використовуючи буферну амонійно-ацетатну витяжку з pH 4,8 та метод атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Цей стандарт забезпечує оцінку екологічного стану ґрунтів та потенційних ризиків, пов'язаних з наявністю нікелю [53].

ДСТУ 4770.1:2007 регламентує метод визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті, що проводиться за допомогою буферної амонійно-ацетатної витяжки з pH 4,8 та атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Це дозволяє отримати дані про доступність марганцю у ґрунтах та його вплив на ріст рослин і екологічний баланс [54].

2.3. Характеристика місця дослідження та методи картографічного аналізу фізико-географічних особливостей

Вивчення фізико-географічних особливостей місцевості є важливим етапом будь-якого екологічного дослідження, оскільки дозволяє краще зрозуміти вплив антропогенних факторів на стан ґрунтів і екосистеми загалом. Для точного аналізу необхідно враховувати такі аспекти, як рельєф, тип ґрунту, кліматичні умови, а також наявність природних і антропогенних джерел забруднення. Використання картографічних методів дозволяє наочно показати розташування місць відбору проб, виявити просторову структуру забруднень та їх поширення на території дослідження. Методи картографічного моделювання, описані у джерелі Букліб, Студентська бібліотека [55], використовувались для візуалізації місць відбору проб і аналізу просторового розподілу забруднень.

Далі в роботі буде проведено аналіз карт з сайту проекту «Природа України» автора Андрія Грачова [56]. На цьому сайті представлено розділ

«Ґрунти та ґрунтові ресурси України», де зібрано різноманітні карти, що ілюструють територіальні відмінності у ґрунтовому покриві країни.

Зокрема, сайт пропонує карти, які висвітлюють інформацію про територіальне поширення основних генетичних типів ґрунтів та їхні характеристики, такі як механічний склад, реакцію ґрунтів (показник кислотності), а також їх фільтраційну здатність (водопроникність).

Окрім цього, окремі карти присвячені ґрунтотворним процесам, що впливають на стан ґрунтів, як-от оглеєння (процеси відновлення окиснених сполук в анаеробних умовах) та засолення (накопичення легкорозчинних солей у верхніх шарах ґрунту). Ці карти допомагають зрозуміти динаміку та специфіку процесів, що відбуваються у ґрунтах на території України.

Важливою є також інформація про цінність ґрунтів, зокрема їхню родючість та запаси гумусу, які відображають здатність ґрунтів задовольняти потреби рослин у поживних речовинах, воді та повітрі. Водночас на сайті представлені тематичні карти, що показують процеси, які можуть негативно впливати на якість ґрунтів, зокрема ерозію та забруднення важкими металами (марганець, мідь, цинк, кобальт тощо).

Спочатку розглянемо карту «Ґрунти в розрізі областей», яка наочно демонструє типи ґрунтів, що зустрічаються у досліджуваній області, забезпечуючи загальний контекст для проведення аналізу. На основі цієї карти, для місцевості, де був відібраний ґрунт, визначено, що населений пункт знаходиться в зоні поширення чорноземів звичайних, зокрема чорноземів звичайних малогумусних на лісових породах. Як показано на рисунку 2.2, це важливо для розуміння основних властивостей ґрунту, адже чорноземи вирізняються високою родючістю та здатністю до акумуляції хімічних елементів.

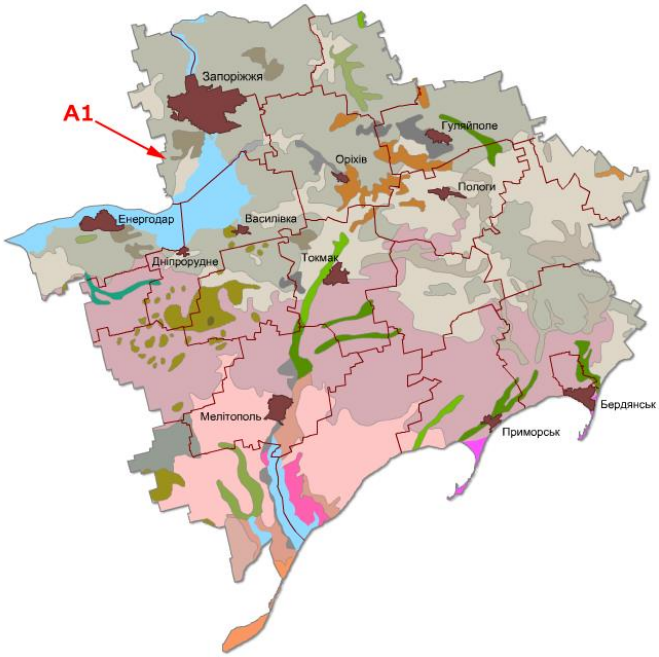


Рисунок 2.2 – Карта ґрунтів досліджуваної області з позначенням місця відбору проб ґрунту (А1) у зоні чорноземів звичайних [56]

На карті «Механічний склад ґрунтів» (рисунок 2.3) визначено, що досліджуваний населений пункт знаходиться в зоні ґрунтів пилувато-середньосуглинкових. Згідно з інформацією з джерела Аналітична лабораторія Агротест у статті про текстуру ґрунту [57], суглинкові ґрунти є проміжними між піщаними та глинистими, містять частинки пилу та багаті на поживні речовини, доступні рослинам.

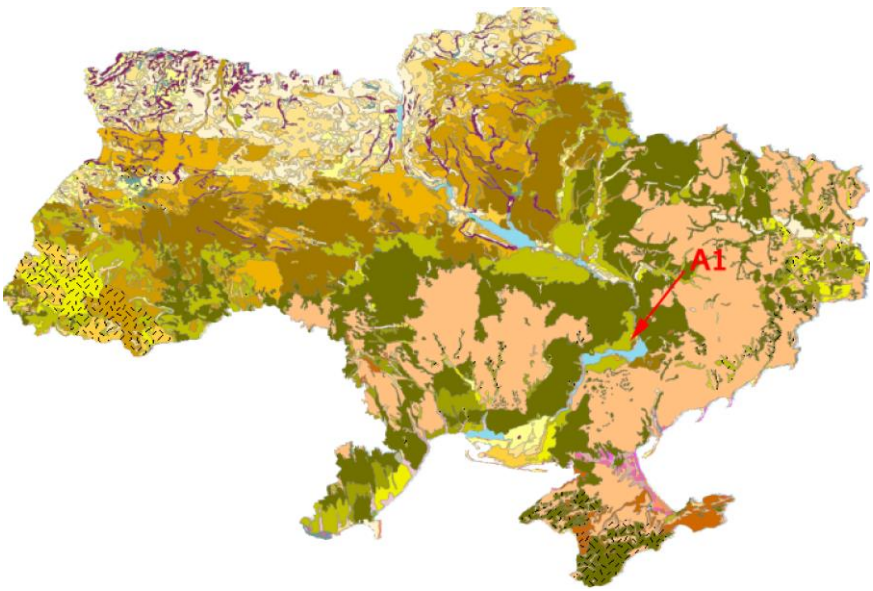


Рисунок 2.3 – Карта механічного складу ґрунтів досліджуваної області з позначенням місця відбору проб ґрунту (А1) [56]

На сайті також зазначено, що пилувато-середньосуглинковий тип ґрунту має такий склад: пісок – менш як 10%, мул – 35-45%, глина – 40-55%. Така структура забезпечує хорошу водопроникність, високу здатність до утримання вологи та поживних елементів, що робить ці ґрунти придатними для сільськогосподарського використання за умови належної кислотності та вмісту гумусу.

На карті «Вміст гумусу в ґрунтах» (рисунок 2.4) визначено, що вміст гумусу в орному шарі ґрунтів глибиною до 30 см у місці відбору проб становить від 3,0 до 3,5%. Гумус є важливою складовою частиною ґрунту, оскільки він забезпечує його родючість, сприяє утриманню вологи та поліпшенню структури ґрунту.

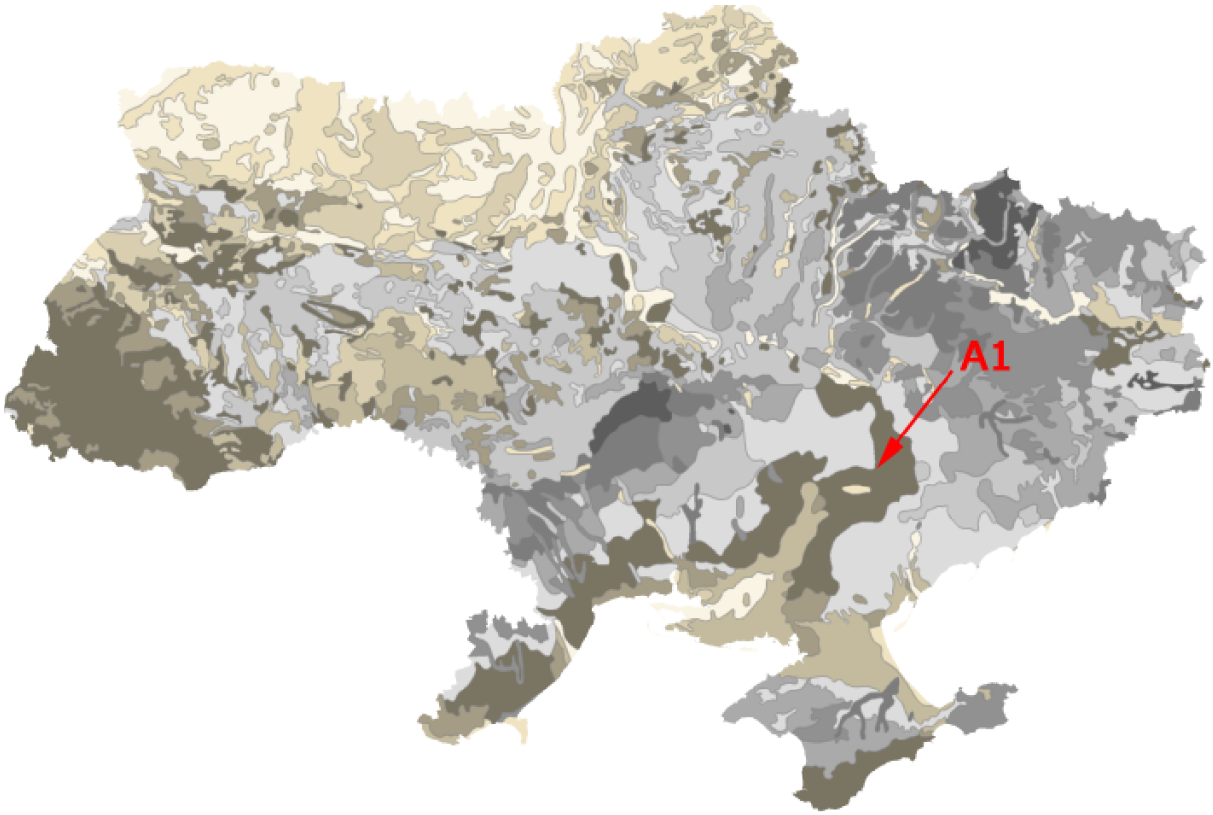


Рисунок 2.4 – Карта вмісту гумусу в ґрунтах досліджуваної області з позначенням місця відбору проб ґрунту (А1) [56]

Такий рівень гумусу вказує на досить високий потенціал ґрунту для сільськогосподарського використання, оскільки він сприяє накопиченню поживних речовин та підтримує оптимальні умови для розвитку рослин.

Далі розглянемо Агрохімічну карту України, яка відображає рівень забезпеченості ґрунтів основними елементами живлення рослин: азотом (N), фосфором (P) та калієм (K). Згідно з цією картою, досліджуване місце знаходиться в зоні підвищеного рівня забезпеченості. Це відповідає території, де поширені чорноземи реградовані, звичайні південні, лучно-чорноземні та лучно-солонцюваті ґрунти.

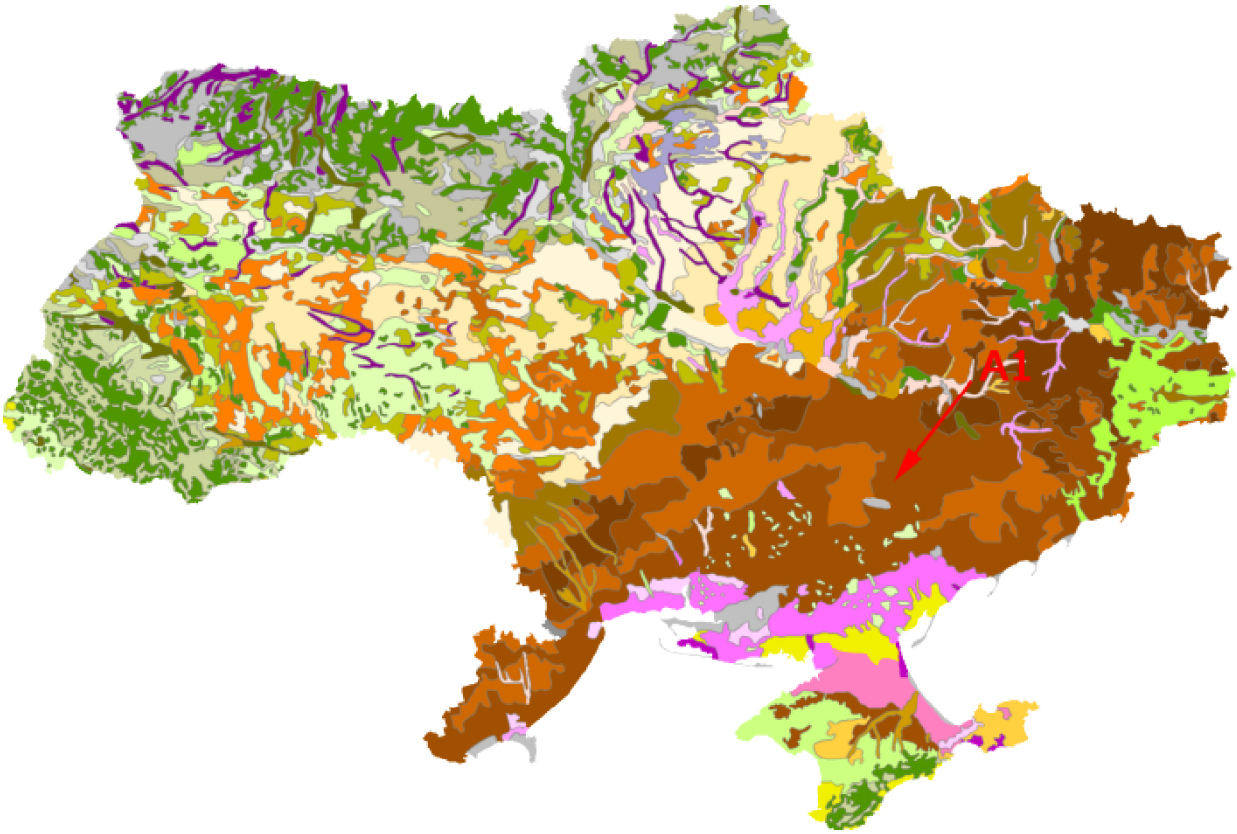


Рисунок 2.5 – Агрохімічна карта України: рівень забезпеченості ґрунтів азотом (N), фосфором (P) і калієм (K) досліджуваної області з позначенням місця відбору проб ґрунту (A1) [56]

Рівень забезпеченості ґрунтів у цьому регіоні оцінено за п'ятибальною шкалою: азот (N4), фосфор (P5), калій (K5). Це свідчаить про високий вміст фосфору та калію, що є важливими для розвитку рослин, а також про достатній рівень азоту, який сприяє росту зеленої маси. Така характеристика забезпечує сприятливі умови для сільськогосподарського використання ґрунтів на цій території.

Карта «Реакція ґрунтового середовища (pH)» (рисунок 2.6) ілюструє кислотність і лужність ґрунтів на території дослідження. Відповідно до цієї карти, місце відбору проб ґрунту розташоване в зоні, де рівень pH коливається від 5,5 до 7,0, що вказує на близьку до нейтральної або нейтральну реакцію ґрунту.

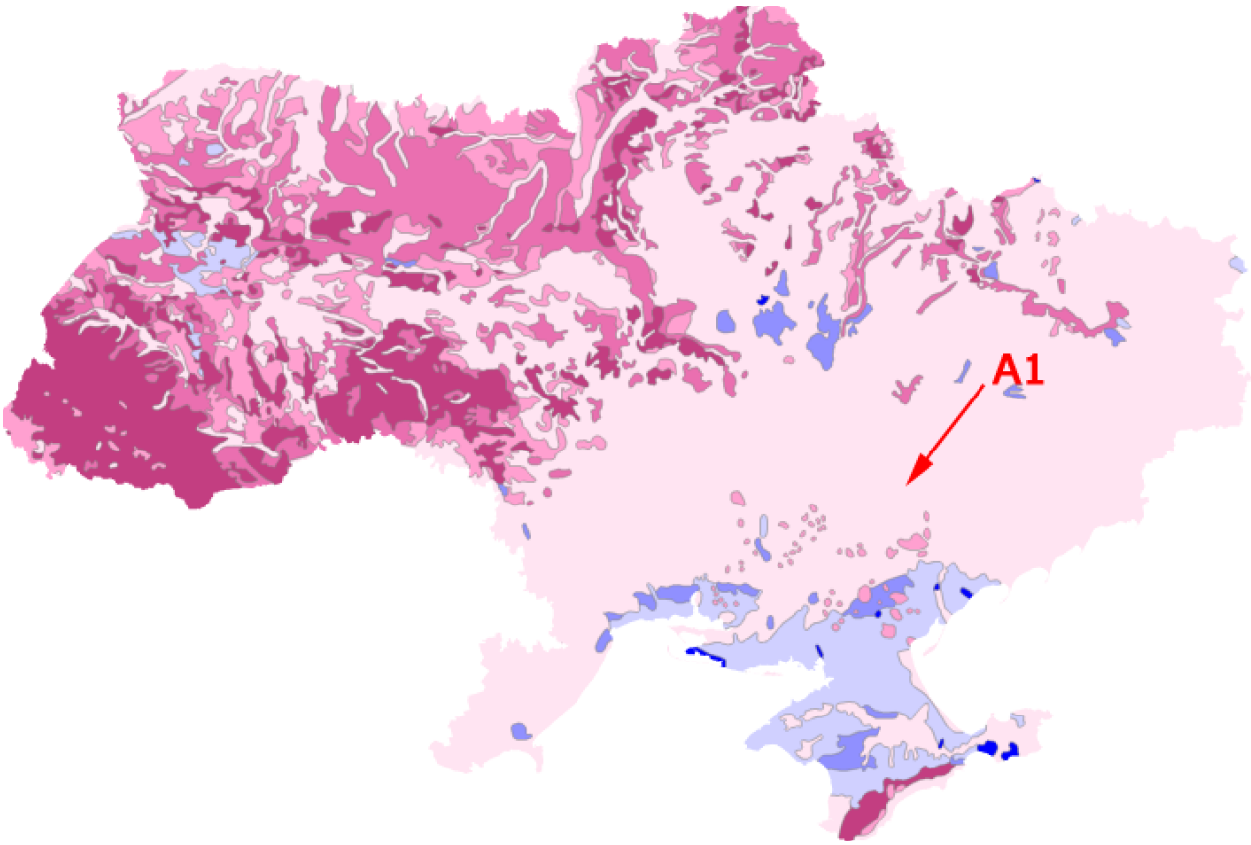


Рисунок 2.6 – Реакція ґрунтового середовища (pH) досліджуваної області з позначенням місця відбору проб ґрунту (A1) [56]

Нейтральна реакція ґрунту є важливою для ефективного засвоєння поживних речовин рослинами та забезпечує оптимальні умови для діяльності ґрунтових мікроорганізмів. Такий показник кислотності сприяє кращому розвитку рослинності, що робить цю територію сприятливою для сільськогосподарських потреб.

Розглядаючи карти вмісту важких металів у ґрунтах (рисунок 2.7), можна визначити, що місце дослідження характеризується наступними показниками: вміст бору становить від 30 до 50 мг/кг, кобальту – від 15 до 20 мг/кг, марганцю

– від 550 до 900 мг/кг, міді – від 20 до 30 мг/кг, цинку – між 60 і 90 мг/кг, а молібдену – від 2,4 до 3,2 мг/кг.

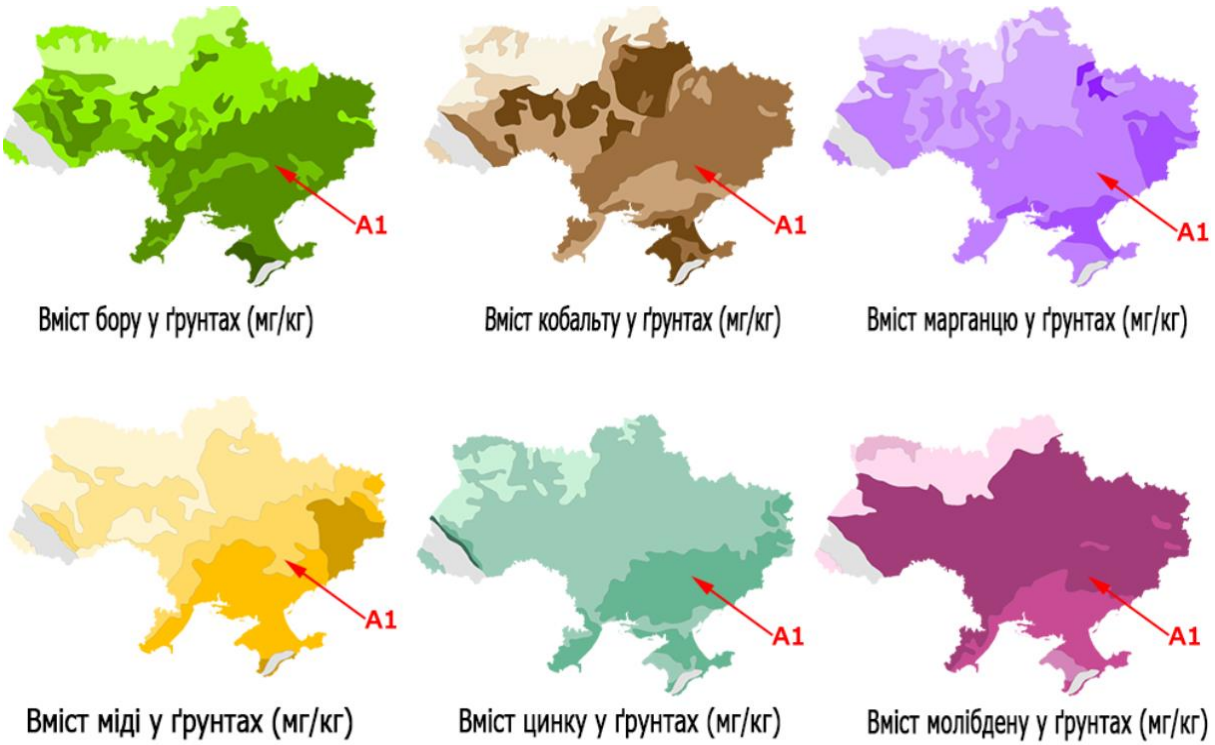


Рисунок 2.7 – Вміст важких металів в орному шарі ґрунтів досліджуваної області з позначенням місця відбору проб ґрунту (А1) [56]

Деякі з цих концентрацій можуть мати негативний вплив на рослини. Наприклад, підвищений рівень бору може спричиняти захворювання рослин, а високий вміст кобальту пригнічує синтез вітаміну В12. Марганець у таких концентраціях не перевищує токсичного порогу, але потребує контролю для запобігання шкоди рослинам. Високий рівень міді при перевищенні 60 мг/кг може порушувати оксидні процеси, а концентрації цинку впливають на фізіологічні процеси рослин. Вміст молібдену в таких межах є безпечним для рослин та тварин.

Підсумовуючи, можна зазначити, що проведений аналіз фізико-географічних особливостей місця дослідження дозволив отримати детальне уявлення про ґрунтові характеристики території, де було відібрано проби. Використання різноманітних картографічних даних, зокрема карт механічного складу ґрунтів, рівня гумусу, забезпеченості макроелементами, кислотності та

вмісту важких металів, дало змогу схарактеризувати стан ґрунтів та їх придатність для сільськогосподарського використання.

Зокрема, дослідження виявило, що територія знаходиться в зоні поширення чорноземів, які характеризуються високою родючістю та здатністю до акумуляції поживних речовин. Аналіз механічного складу показав, що ґрунти є пилувато-середньосуглинковими, що забезпечує оптимальні умови для збереження вологи та розвитку рослин. Рівень гумусу свідчить про високий потенціал ґрунту до підтримання родючості.

Агрохімічний аналіз вказав на підвищений рівень забезпеченості азотом, фосфором та калієм, що створює сприятливі умови для вирощування рослин. Водночас нейтральний рівень pH забезпечує оптимальні умови для розвитку більшості сільськогосподарських культур. Аналіз вмісту важких металів не виявив критичних перевищень, що дозволяє оцінити екологічний стан території як стабільний.

Отримані дані є важливою основою для подальшого дослідження впливу вибуху на фізико-хімічні властивості ґрунту та оцінки екологічних наслідків на досліджуваній території.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Опис дослідної ділянки та відбору проб

Дослідження проводилося на місці влучання ракети у селі Мар'ївка, Запорізький район, де 4 березня 2023 року відбувся обстріл з території тимчасово окупованого Криму [58]. Російські війська випустили ракету, яка влучила в центр села, пошкодивши житлові будинки. Від удару на пустирі, де селяни планували облаштувати парк, утворилася воронка діаметром близько 12 метрів та глибиною до 6 метрів. Зазначається, що обстріл був здійснений ракетами типу «Онікс» із берегового ракетного комплексу «Бастіон». На момент початку дослідження пройшло 1 рік, 7 місяців з часу обстрілу. Ця воронка стала об'єктом мого дослідження для визначення впливу вибуху на фізико-хімічні властивості ґрунту.

Вибір саме цієї ділянки для дослідження був зумовлений кількома причинами. По-перше, доступність місця та можливість безперешкодного доступу до воронки дозволили провести відбір проб ґрунту без зайвих складнощів. По-друге, мені вдалося отримати детальну інформацію про цю воронку від знайомого, який мешкає у Мар'ївці неподалік від місця вибуху. Це дозволило більш точно визначити місце проведення досліджень та отримати додаткові дані щодо стану території саме після вибуху. Вирва після обстрілу у селі Мар'ївка, Запорізький район можна знайти у Додатку А1.

За майже 2 роки після прильоту ракети, локація, де знаходиться вирва, зазнала змін. На місці, де був потужний вибух, поступово почали відновлюватися природні процеси, і територія частково заросла травою та іншими рослинами.

На фотографії, зробленій під час відбору зразків ґрунту, можна побачити, що два місця у цій вирві були засипані: одне – будівельним сміттям та залишками матеріалів, а інше – покрито якимось видом чорного щебеню. Ці зміни у структурі ділянки вказують на втручання людини у процес відновлення території

після обстрілу. Стан вирви в селі Мар'ївка під час відбору зразків ґрунту представлено у Додатку А2

Нами було зроблено опис ракети, якою був завданий удар. Це ракета типу «Онікс» із берегового ракетного комплексу «Бастіон» який базується на матеріалах, наданих авторами С.П. Ярош, А.О. Бережний та О.В. Рогуля [59].

Дослідження проводилося на місці влучання ракети у селі Мар'ївка, Запорізький район, де 4 березня 2023 року відбувся обстріл з території тимчасово окупованого Криму. Основні характеристики крилатої ракети 3М55 П-800 «Онікс» представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики крилатої ракети 3М55 П-800 «Онікс» [59].

Характеристика	Значення
Тип ракети	Крилата ракета 3М55 П-800 «Онікс»
Рік прийняття на озброєння	2002
Тип бойової частини (БЧ)	Осколково-фугасна (ОФ)
Маса бойової частини, кг	300
Вибухова речовина (ВР), кг	120
Енергія бойової частини, МДж (абсолютна)	598,2
Швидкість польоту, м/с	850
Максимальна дальність пуску, км	300
Руйнівна енергія КР (QБЧ), МДж	910,8

Крилата ракета 3М55 П-800 «Онікс» має бойову частину масою 300 кг, з яких 120 кг – вибухова речовина, що забезпечує значну руйнівну силу. Її швидкість польоту 850 м/с і енергія детонації (910,8 МДж) створюють потужний вибуховий ефект при зіткненні з ґрунтом. Саме ці характеристики пояснюють

утворення воронки діаметром близько 12 метрів та глибиною до 6 метрів на місці удару в селі Мар'ївка. Вибух спричинив сильну ударну хвилю, що викинула велику кількість ґрунту, утворивши великий кратер. Це узгоджується з фізичними властивостями ракети та її здатністю до створення значних пошкоджень.

3.2. Результати екологічного та агрохімічного аналізу ґрунту

У цьому розділі представлено результати агрохімічного та екологічного аналізу ґрунту, відібраного з локації вирви в селі Мар'ївка, Запорізький район. Таблиця 3.2. демонструє основні показники родючості ґрунту, включаючи вміст основних елементів живлення та кислотність, тоді як таблиця 3.3. містить результати екологічного аналізу на вміст важких металів та радіаційний фон.

Результати досліджень свідчать про те, що показники забруднення здебільшого знаходяться в межах норми, що може бути зумовлено природними процесами самоочищення ґрунту, які відбулися протягом року і семи місяців після вибуху. Потужний вибух і значні розміри кратера (діаметр 12 метрів, глибина до 6 метрів) могли спричинити розсіювання ґрунтових часток, що знизило концентрацію забруднювачів на місці прильоту. У таблиці 3.2 подано результати агрохімічного аналізу ґрунту з місця вибуху в селі Мар'ївка, які здебільшого знаходяться в межах норми.

Таблиця 3.2 – Результати агрохімічного аналізу ґрунту

Показник	Одиниця виміру	Результат
Азот нітратний	мг/кг	12,0
Азот лужногідролізований	мг/кг	196

Продовження таблиці 3.2

Показник	Одиниця виміру	Результат
Фосфор рухомий (по Чірікову)	мг/кг	59
Калій рухомий (по Чірікову)	мг/кг	613
Органічна речовина	%	8,4
pH водної витяжки		8,0
pH сольової витяжки		7,4
Засоленість загальна	мг/100г	115
Питома електропровідність	мСм/см	0,23
Гідролітична кислотність	ммоль*екв/100г	0,54
Сума увібраних основ	ммоль*екв/100г	48
Сірка рухома	мг/кг	2,4
Кальцій обмінний	ммоль*екв/100	14,5
Магній обмінний	ммоль*екв/100г	1,50

Така сила вибуху могла призвести до значного викиду та розсіювання ґрунтових часток і забруднювачів, що могло знизити концентрації потенційно небезпечних речовин у ґрунті на місці прильоту. Крім того, з моменту обстрілу пройшло вже 1 рік та 7 місяців, що також могло сприяти природним процесам самоочищення ґрунту та розсіюванню забруднювачів. Ці фактори могли вплинути на те, що результати агрохімічного та екологічного аналізу не показали перевищення допустимих норм вмісту важких металів та інших шкідливих речовин.

Аналіз ґрунту (таблиця 3.3.), показав зміни його фізико-хімічних показників у зоні вибуху. Зокрема, реакція ґрунту змінилася в бік лужності (pH 8,0-8,13), тоді як типовий показник для району становить 5,5-7,0.

Таблиця 3.3 – Результати аналізу екологічних показників ґрунту

Показники, одиниці виміру	Результат	ГДК
pH	8.13	не нормується
Радіаційний фон, мкР/год	14	1-20
Кадмій (валовий вміст), мг/кг	0	3.0
Свинець (валовий вміст), мг/кг	7.28	32
Марганець (валовий вміст), мг/кг	348	1500
Цинк (рухома форма), мг/кг	16.2	23
Мідь (рухома форма), мг/кг	0.83	3
Нікель (рухома форма), мг/кг	0.64	4
Кобальт (рухома форма), мг/к	0.06	5
Хром загальний (рухома форма), мг/кг	0.33	6

Це може бути наслідком утворення лужних сполук під час вибуху. Вміст органічної речовини в ґрунті також значно підвищився до 8,4%, що може бути пов’язано з накопиченням залишків палива та органічних сполук від ракети.

Показник pH ґрунту становить 8,13, що свідчить про лужну реакцію ґрунту. Це узгоджується з попередніми даними та свідчить про те, що ґрунт має слабку потенційну кислотність. Лужний pH має значний вплив на рухомість і доступність важких металів у ґрунті. Лужне середовище сприяє тому, що метали осідають у формі нерозчинних сполук, зменшуючи їх розчинність та токсичність. Це знижує їхню біологічну доступність для рослин і мікроорганізмів, що пояснює низькі концентрації металів у досліджуваному ґрунті.

Радіаційний фон на досліджуваній ділянці становить 14 мкР/год, що відповідає природному фону для цього регіону та не перевищує гранично допустимі значення (1-20 мкР/год). Це свідчить про відсутність радіоактивного забруднення на досліджуваній території, що могло б бути спричинене ударом ракети.

Аналіз важких металів показав, що їхні концентрації значно нижчі за гранично допустимі рівні. Наприклад, валовий вміст кадмію становить 0,3 мг/кг, тоді як допустима концентрація – 3 мг/кг. Це означає, що кадмій у ґрунті не перевищує рівня, який може бути шкідливим для рослин та організмів. Кадмій є токсичним металом, проте його низький рівень може бути зумовлений природно низьким вмістом у ґрунтах регіону, а також впливом лужного pH, який зв'язує кадмій у нерозчинні сполуки, знижуючи його рухомість і токсичність.

Подібні результати спостерігаються і для інших металів, таких як свинець, марганець, цинк, мідь, нікель, кобальт та хром. Вміст свинцю становить 7,28 мг/кг, що значно нижче допустимого рівня 32 мг/кг. Вміст марганцю у ґрунті становить 348 мг/кг, що також нижче ГДК у 1500 мг/кг. Ці показники можуть бути результатом типового фонового рівня цих металів для цієї місцевості. Відсутність значного забруднення може свідчити про те, що вибух ракети не спричинив значного викиду цих елементів у ґрунт або ж, що вони були розсіяні на ширшу територію під час вибуху.

Лужний pH ґрунту відіграє важливу роль у зниженні рухомості цих металів. Зокрема, мідь (0,36 мг/кг проти ГДК у 3 мг/кг) та нікель (0,4 мг/кг проти ГДК у 4 мг/кг) мають значно нижчі рівні, що може бути пов'язано з їх осадженням у лужному середовищі, де вони стають менш рухомими та, відповідно, менш доступними для засвоєння рослинами. Кобальт та хром також мають рівні значно нижчі за допустимі норми, що пояснюється аналогічними механізмами.

Час, який минув з моменту вибуху (1 рік і 7 місяців), також вплинув на результати аналізу. Протягом цього часу могли відбутися природні процеси самоочищення ґрунту, що сприяло зниженню концентрацій забруднювачів. Мікроорганізми могли розкладати органічні речовини, зокрема продукти згоряння, а атмосферні опади могли вимивати залишки металів із верхнього шару ґрунту.

Результати аналізу показують, що ґрунт на місці влучання ракети не зазнав значного довготривалого забруднення, а його природні буферні властивості

сприяли зниженню вмісту потенційно токсичних речовин. Це може свідчити про те, що забруднення було мінімальним або зменшилося завдяки природним процесам, таким як розсіювання забруднювачів та їхнє зв'язування у лужному середовищі. Ґрунт зберіг свою природну стійкість до хімічного забруднення, що є позитивним показником для відновлення екосистеми досліджуваної території.

3.3. Тест на проростання насіння

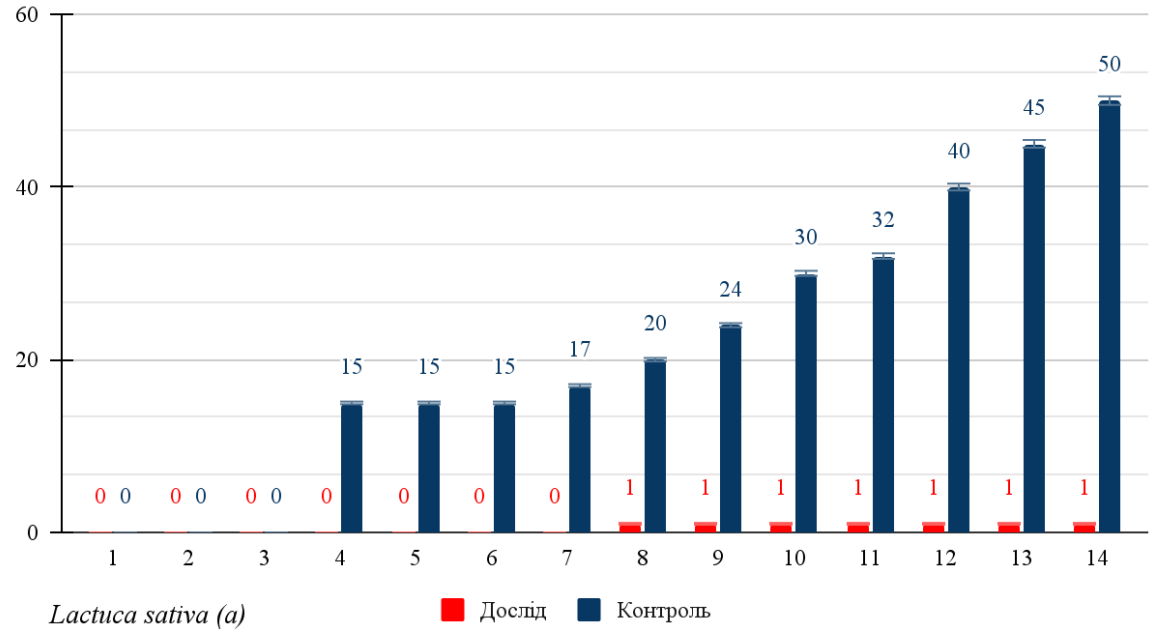
Також проводився ростовий тест на *Lactuca sativa, Brassica juncea* та *Raphanus sativus* в ґрунті з місця вибуху. Метою цього експерименту було визначити вплив ґрунту з місця прильоту ракети на здатність насіння до проростання та подальший розвиток пагонів і кореневої системи. Дослідження проводилося з використанням рослинних тест-систем, які є надійним індикатором фітотоксичності ґрунтів, що піддавалися антропогенному впливу.

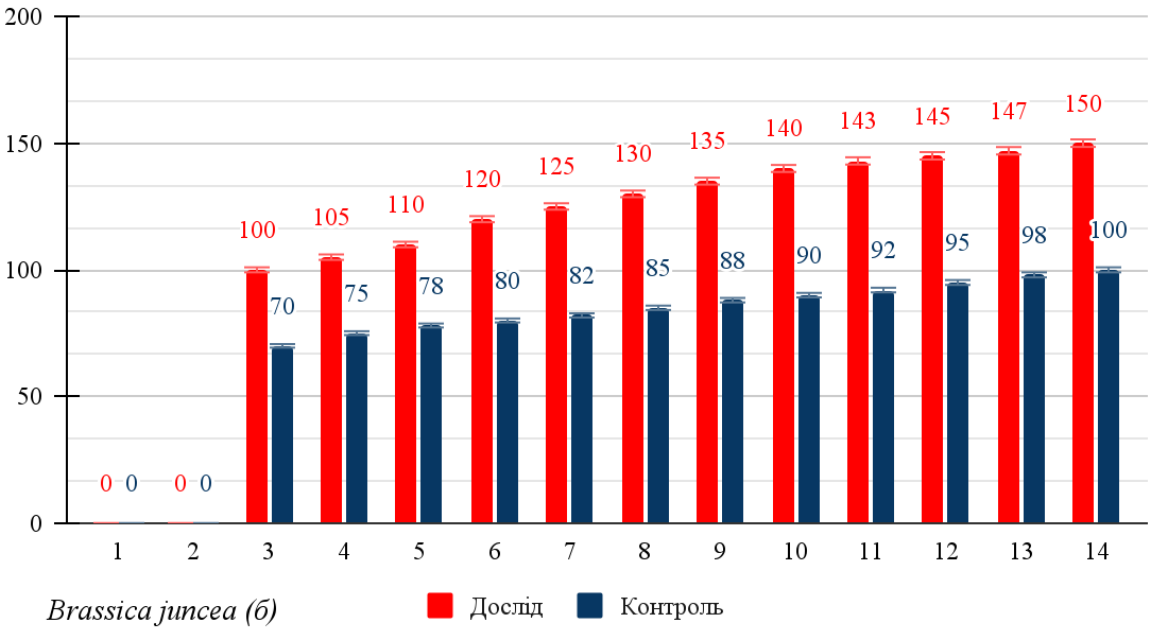
Вибір цього методу зумовлений його здатністю оцінити загальний вплив потенційних забруднювачів на ріст і розвиток рослин, що важливо для оцінки екологічного стану ґрунтових екосистем. Фотографії рослин на 8-й день пророщування, що ілюструють процес проростання насіння у ґрунті з місця прильоту та в контрольному ґрунті, представлені у додатках: Додаток Б1-Б3.

Експеримент включав вирощування насіння трьох культур – *Lactuca sativa*, *Brassica juncea* та *Raphanus sativus* – у двох типах ґрунтів: ґрунті з місця прильоту ракети та контрольному ґрунті. Протягом 14 днів відстежувалися показники проростання насіння, висота пагонів і довжина коренів. На основі отриманих результатів оцінювався вплив умов ґрунту на швидкість та ефективність проростання, а також розвиток рослин у різних умовах.

На нижче представлених діаграмах (рисунок 3.1) зображено кількість пророслого насіння по днях у двох типах ґрунтів: ґрунті з місця прильоту (червоний колір) та контрольному ґрунті (синій колір). Діаграми які представлені

на рисунок 3.1. наочно ілюструють значні відмінності у швидкості та кількості проростання насіння в різних умовах.





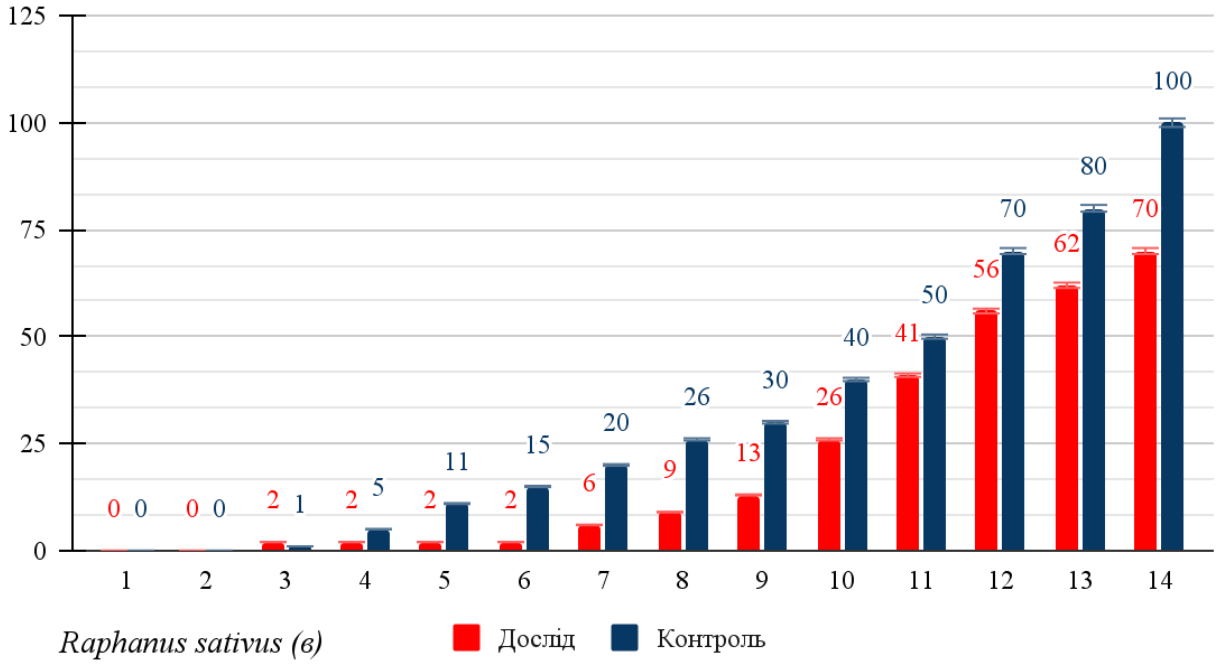


Рисунок 3.1 – Кількість пророслого насіння для культур *Lactuca sativa* (а), *Brassica juncea* (б) і *Raphanus sativus* (в) у дослідному та контрольному ґрунті протягом 14 днів

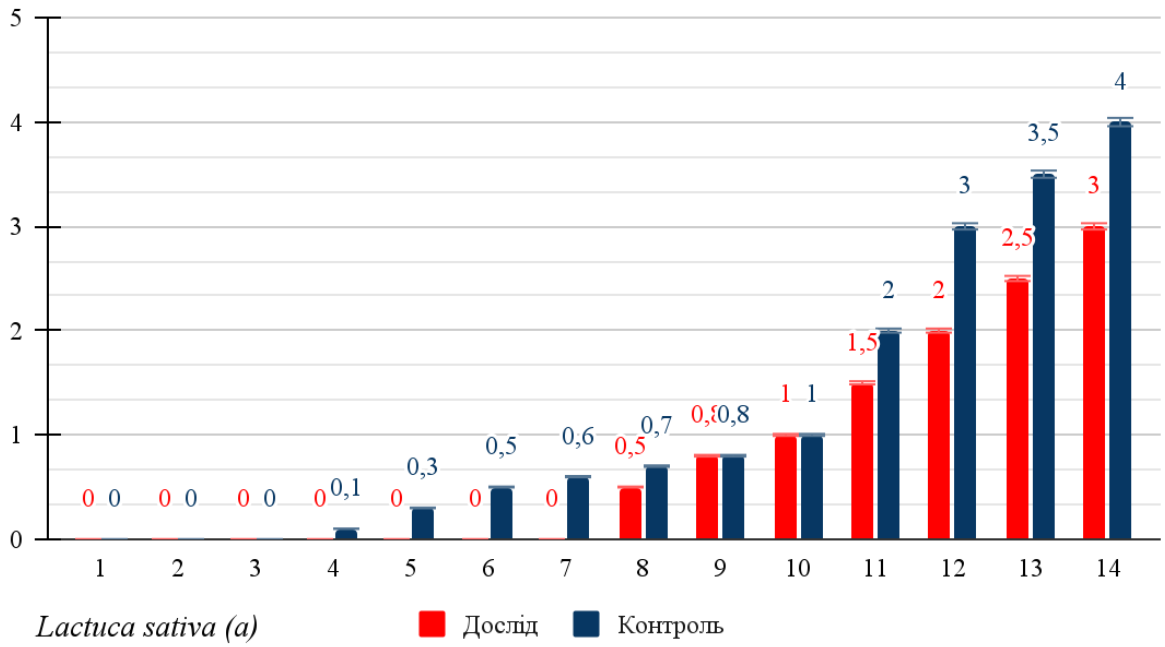
Lactuca sativa: У ґрунті з місця прильоту проросла лише 1 насінина з 70 (1,43%), тоді як у контрольному ґрунті проросло 50 насінин (71,43%). Це свідчить про значний пригнічувальний вплив підвищеного pH та можливих токсичних речовин на розвиток цієї культури. У контрольному ґрунті насіння почало проростати на 4-й день, досягаючи максимуму у 50 проростків до 14-го дня, тоді як у ґрунті з місця прильоту проростання відбулося лише на 8-й день і залишалося на рівні однієї насінини.

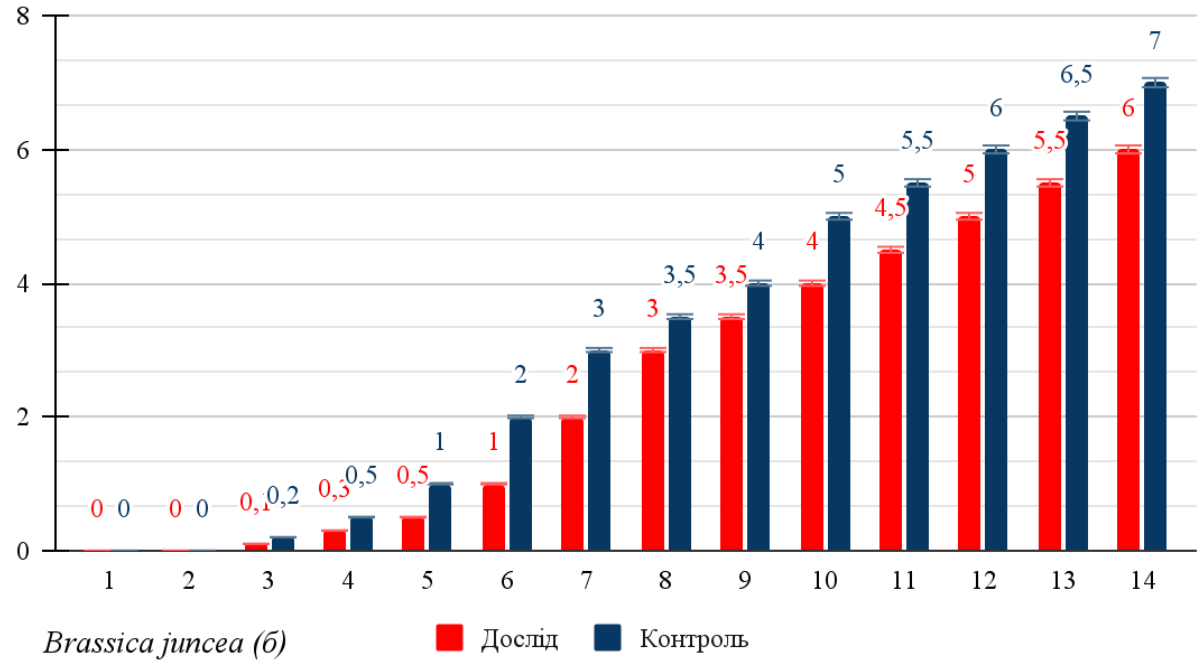
Brassica juncea: У ґрунті з місця прильоту проросло 150 із 200 посіяних насінин (75%), що навіть перевищує результат контрольного ґрунту, де проросло 100 насінин (50%). Проростання почалося на 3-й день і з кожним днем поступово збільшувалося, що вказує на сприятливі умови для цієї культури в ґрунті з місця прильоту. Результат свідчить про адаптивність гірчиці до умов ґрунту, змінених вибухом.

Raphanus sativus: Проростання насіння у ґрунті з місця прильоту становило 70 зі 150 насінин (46,67%) порівняно зі 100 насінинами (66,67%) у контрольному ґрунті. Хоча насіння проростало одночасно в обох ґрунтах на 3-й день, вже з 9-го дня контрольний ґрунт почав показувати кращі результати. До кінця експерименту різниця у кількості пророслого насіння сягнула 30%, що свідчить про менш сприятливі умови у ґрунті з місця вибуху.

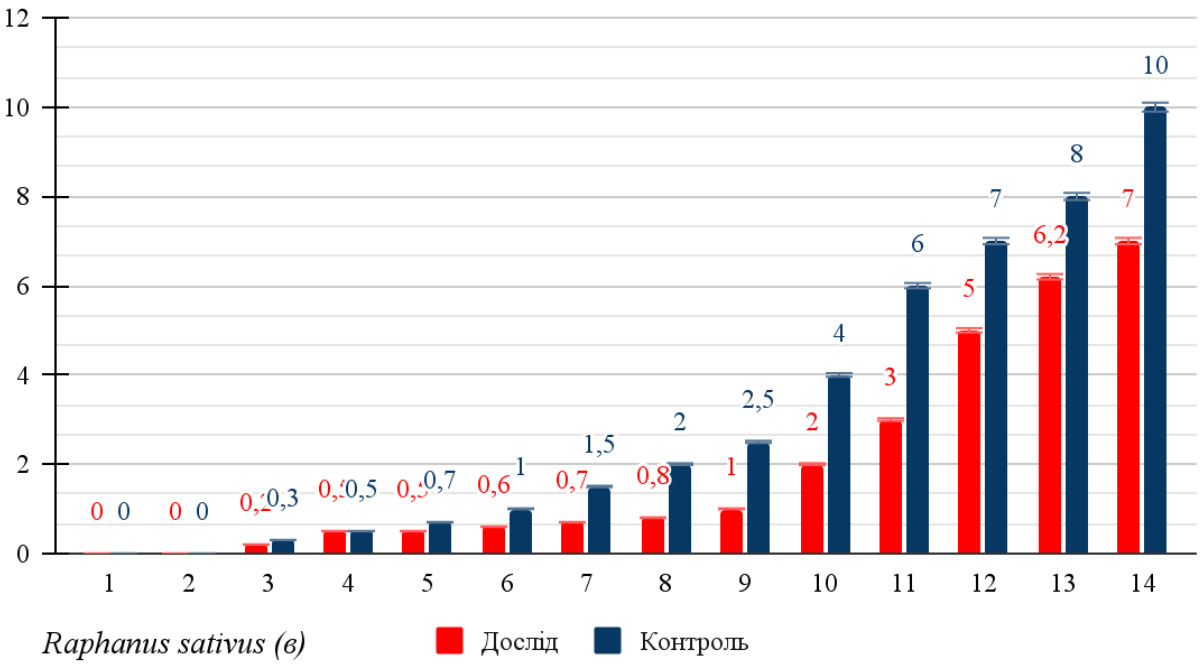
На нижче представлених діаграмах (рисунок 3.2.) зображено динаміку зростання висоти проростків для трьох культур: *Lactuca sativa* (а), *Brassica juncea* (б) і *Raphanus sativus* (в) у двох типах ґрунтів – дослідному (червоний колір) та контрольному (синій колір).

Lactuca sativa у контрольному ґрунті починає рости вже з 4-го дня, досягаючи максимальної висоти 4 см на 14-й день, тоді як у ґрунті з місця прильоту спостерігається затримка росту – висота пагонів досягає лише 3 см на 14-й день, що свідчить про пригнічувальний вплив дослідного ґрунту. Протягом усього періоду експерименту ріст пагонів у контрольному ґрунті перевищує показники у ґрунті з місця прильоту.





Brassica juncea (б)



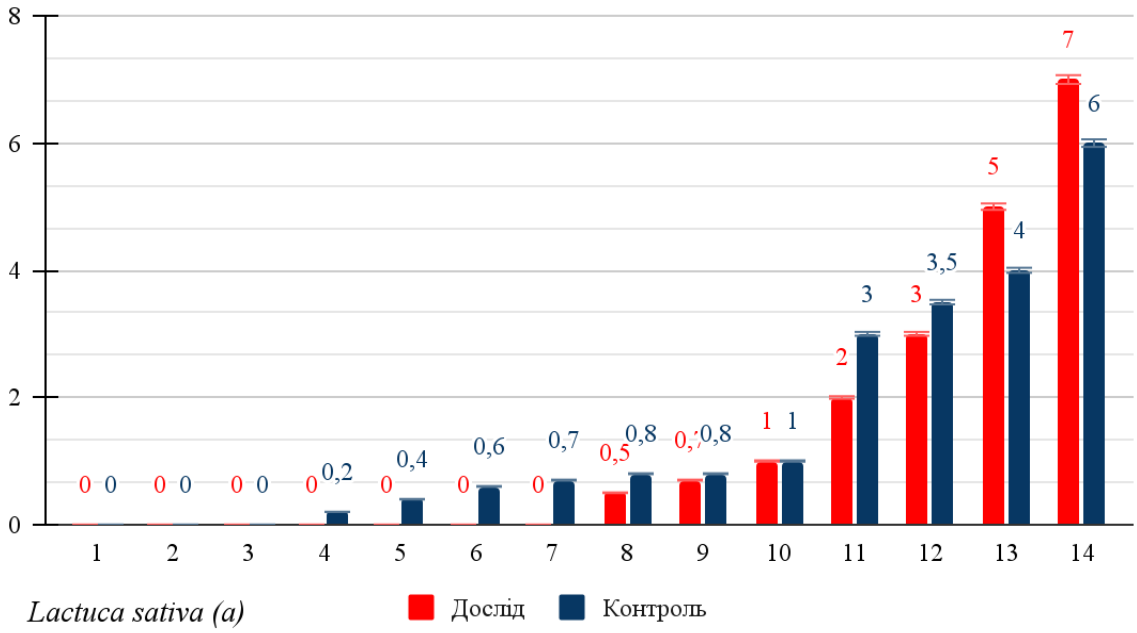
Raphanus sativus (в)

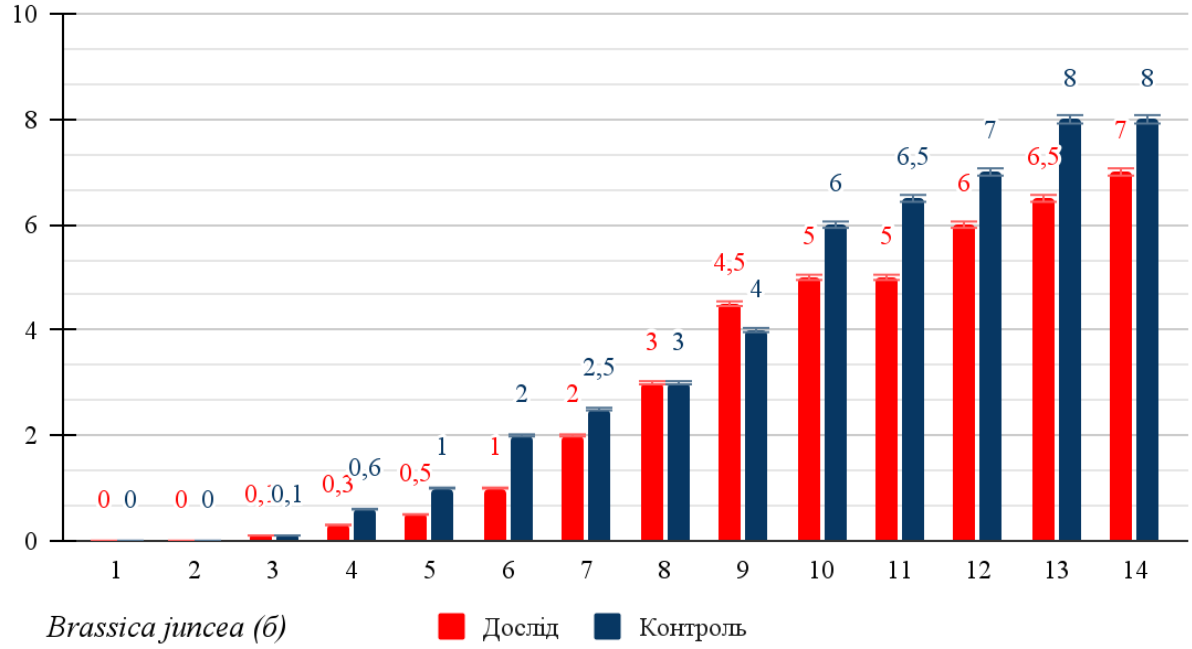
Рисунок 3.2 – Висота проростків для культур *Lactuca sativa* (а), *Brassica juncea* (б) і *Raphanus sativus* (в) у дослідному та контрольному ґрунті упродовж 14 днів

Raphanus sativus у контрольному ґрунті також демонструє перевагу у рості, досягаючи максимальної висоти 10 см на 14-й день, тоді як у ґрунті з місця

прильоту – лише 7 см. Різниця у рості між обома ґрунтами стає помітною вже з 7-го дня і зберігається до кінця експерименту, що підкреслює кращі умови у контрольному ґрунті. Протягом усього періоду спостерігається стабільне відставання в рості пагонів у ґрунті з місця прильоту порівняно з контрольним ґрунтом, що свідчить про більш сприятливі умови для росту *Raphanus sativus* у контрольному ґрунті.

На рисунку 3.3 показано динаміку зміни довжини коренів для культур *Lactuca sativa* (а), *Brassica juncea* (б) і *Raphanus sativus* (в) у двох типах ґрунтів: ґрунті з місця прильоту (червоний колір) та контрольному ґрунті (синій колір). Діаграми демонструють відмінності у розвитку кореневої системи залежно від умов ґрунту упродовж 14-денного експерименту.





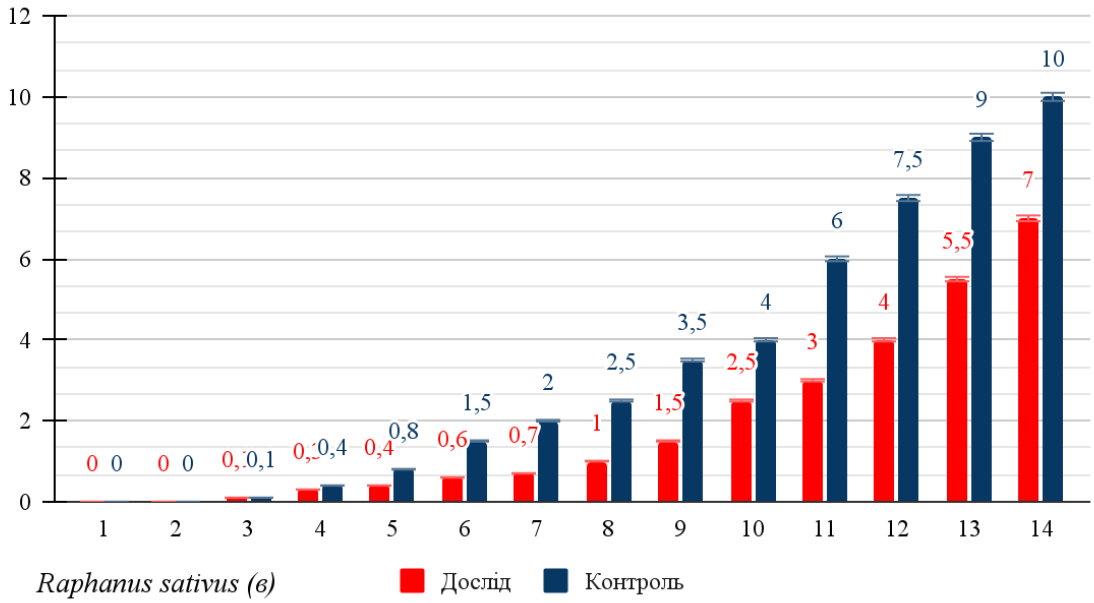


Рисунок 3.3 – Довжина коренів для культур *Lactuca sativa* (а), *Brassica juncea* (б) і *Raphanus sativus* (в) у дослідному та контрольному ґрунті протягом 14 днів

У контрольному ґрунті ріст коренів *Lactuca sativa* починається швидше і стабільно зростає до 12-го дня, досягаючи 3,5 см, після чого поступається ґрунту з місця прильоту, де корені досягають 5 см на 13-й день. Це свідчить про те, що

на початкових етапах контрольний ґрунт сприятливіший, але на пізніх етапах ріст у ґрунті з місця прильоту посилюється, можливо, завдяки адаптаційним змінам.

Brassica juncea: У контрольному ґрунті корені на початкових стадіях ростуть швидше, досягаючи 8 см на 14-й день, тоді як у ґрунті з місця прильоту – 7 см. Початковий розвиток був кращим у контрольному ґрунті, але з часом результати у двох типах ґрунту стають дуже близькими, що може свідчити про адаптацію рослин до умов ґрунту з місця прильоту.

Raphanus sativus: Ріст коренів у контрольному ґрунті на всіх етапах експерименту був вищим, досягаючи 10 см на 14-й день, тоді як у ґрунті з місця прильоту – лише 7 см. Це свідчить про те, що контрольний ґрунт забезпечує стабільно сприятливіші умови для росту кореневої системи *Raphanus sativus*, а ґрунт з місця прильоту має менш сприятливі властивості для росту.

Дослідження показують, що ґрунт з місця прильоту ракети має негативний вплив на проростання та ріст деяких культур (*Lactuca sativa, Raphanus sativus)*, тоді як інші (*Brassica juncea*) демонструють більш стійкі показники. Це може бути зумовлено високим pH, дисбалансом поживних речовин та можливими залишками токсичних сполук.

Таким чином, аналіз показав, що більшість показників ґрунту залишаються в межах норми, що свідчить про можливе мінімальне забруднення після вибуху або ефективне зниження рівня забруднення завдяки природним процесам та властивостям ґрунту.

3.4. Аналіз результатів опитування щодо обізнаності про стан ґрунтів після вибухового впливу

Ми провели гугл опитування на тему: «Наслідки вибухів на стан ґрунтів України», в ньому були висвітлені такі питання, як оцінка забруднення ґрунту

внаслідок вибухів, оцінка змін у фізико-хімічних властивостях ґрунту, час, необхідний для відновлення якості ґрунту, та інші аспекти впливу вибухів на ґрунти. Проведення таких опитувань є важливим для оцінки обізнаності населення, оскільки вони дозволяють краще зрозуміти ставлення громадськості до екологічних проблем та необхідність впровадження заходів з їх вирішення.

В опитуванні взяли участь 55 людей, серед яких: 19 осіб віком 18-24 роки (34,5%); 10 осіб віком 25-34 роки (18,2%); 8 осіб віком 35-44 роки (14,5%); 15 осіб віком 45-54 роки (27,3%); 3 особи віком 55 років і старше (5,5%). З них 19 осіб мають фахову освіту (34,5%), тоді як 36 осіб не мають такої освіти (65,5%).

Більшість респондентів у вікових групах 18-24 та 45-54 роки вважають, що процес відновлення триватиме понад 5 років (рисунок 3.4)

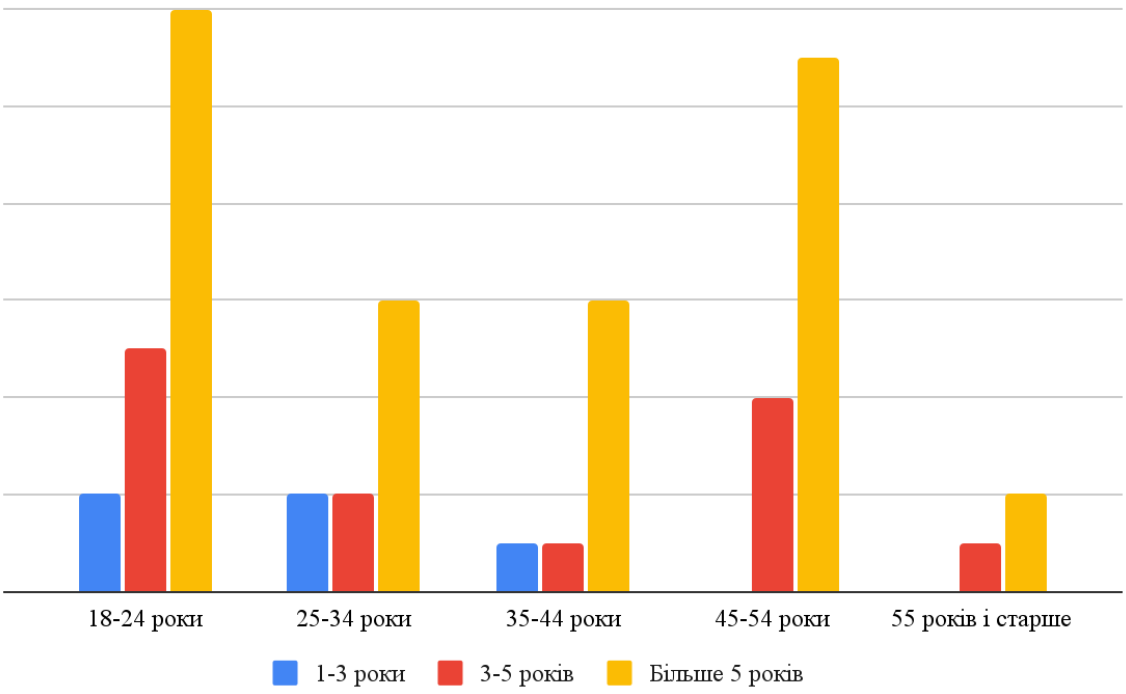


Рисунок 3.4 – Розподіл відповідей респондентів різного віку щодо тривалості відновлення якості ґрунту після вибухів

Серед респондентів віком 25-34 та 35-44 роки також є частина, яка оцінює тривалість відновлення у понад 5 років, але у них є і відповіді з більш оптимістичними оцінками (1-3 роки та 3-5 років). Загалом, можна спостерігати тенденцію, що респонденти старшого віку мають більш консервативні оцінки

щодо тривалості процесу відновлення ґрунтів, тоді як молодші респонденти допускають можливість швидшого відновлення.

Більшість жінок оцінили забруднення кратером найвищим балом – 5, тоді як серед чоловіків переважають оцінки 3 та 4 (рисунок 3.5).

Висока частка жінок, які дали максимальну оцінку (20 респонденток), свідчить про те, що вони сприймають забруднення як більш серйозне порівняно з чоловіками. Натомість чоловіки частіше обирали середні значення, що вказує на дещо менш критичне ставлення до рівня забруднення. Загалом, жінки в цьому опитуванні схильні вважати забруднення ґрунту серйознішим, ніж чоловіки, що може свідчити про різницю у сприйнятті екологічних проблем між статями.

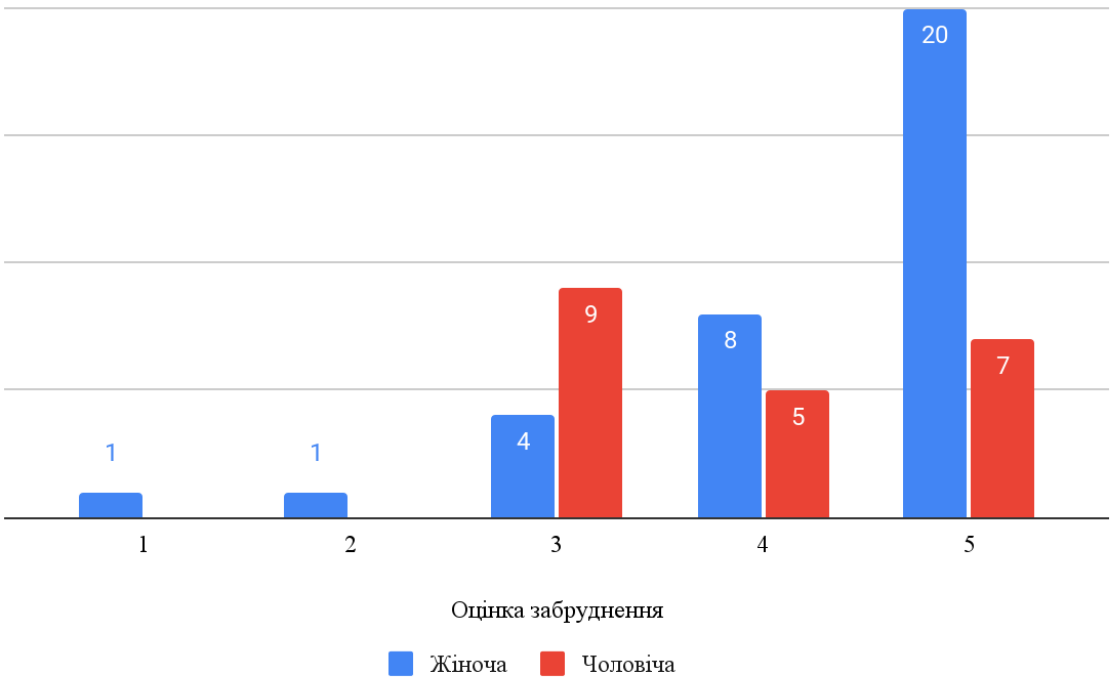


Рисунок 3.5 – Розподіл оцінок забруднення кратером за шкалою від 1 до 5 серед чоловіків та жінок

Більшість респондентів без фахової освіти (29 осіб) вважають зміни у фізико-хімічних властивостях ґрунту після вибухів суттєвими, тоді як серед тих, хто має фахову освіту, також переважає думка про суттєві зміни, але частка таких відповідей дещо менша (16 осіб) (рисунок 3.6).

Респонденти з фаховою освітою мають дещо менше тих, хто оцінює зміни як помірні (3 особи проти 7 осіб без фахової освіти). Це може вказувати на те, що люди з відповідною освітою здатні більш диференційовано оцінювати масштаб змін у ґрунтах, враховуючи деталі та наукові аспекти.

Проведений аналіз результатів опитування дозволив виявити основні тенденції у сприйнятті змін у фізико-хімічних властивостях ґрунту після вибухів серед різних груп респондентів. Отримані результати свідчать про важливість врахування думки населення різного віку та з різним рівнем освіти для розробки ефективних заходів з відновлення ґрунтів після вибухів.

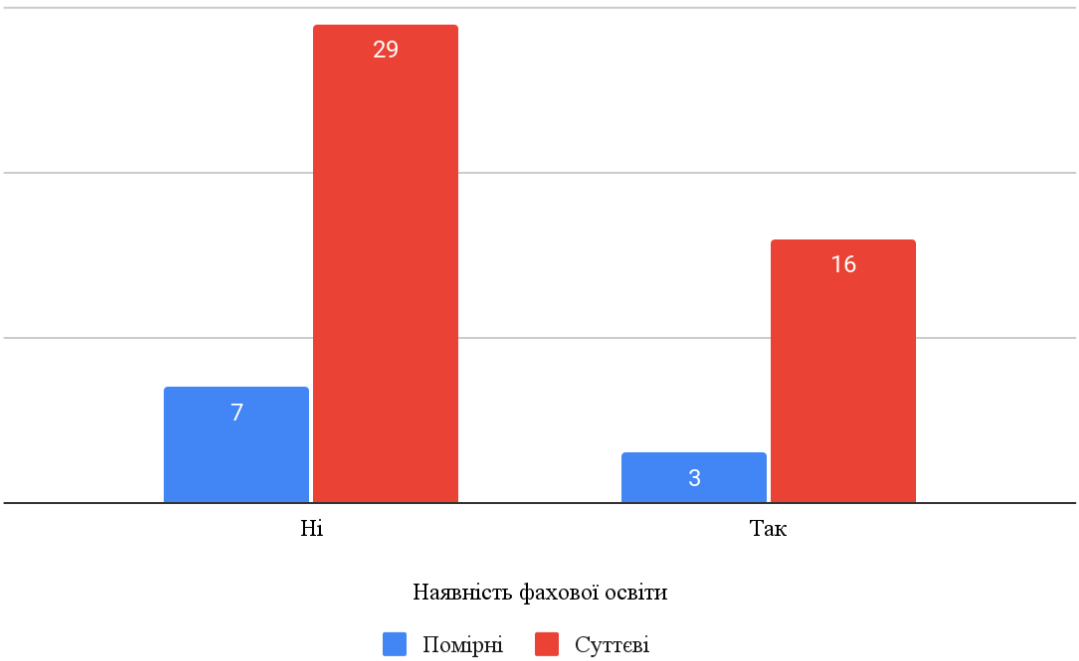


Рисунок 3.6 – Оцінки респондентів з фаховою освітою та без неї масштабу змін у фізико-хімічних властивостях ґрунту після вибухів

Вони підкреслюють необхідність інформування громадськості та залучення фахівців до процесів оцінки та відновлення екологічних умов.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи з охорони праці

Під час роботи в екологічній сфері фахівці можуть стикатися з потенційно небезпечними та шкідливими умовами праці [60]. Такі умови часто пов’язані з експлуатацією різноманітного обладнання. Такі умови можуть включати ризики, як, наприклад небезпека електричного ураження, несприятливі мікрокліматичні параметри, вплив шуму та вібрації, недостатнє освітлення, а також загрозу виникнення пожеж. Вплив цих факторів може погіршувати самопочуття, знижувати працездатність, призводити до професійних захворювань, травм, а в окремих випадках і до нещасних випадків. Тому створення безпечних та комфортних умов праці є важливим аспектом забезпечення продуктивності та здоров'я під час роботи з комп’ютерами.

Під час роботи з технікою безпеки, мені було проведено інструктаж згідно з «Інструкцією з безпеки життєдіяльності для студентів ЗНУ» [61]. Цей документ містить важливу інформацію щодо безпечної поведінки в університеті, лабораторіях, та на відкритому повітрі. Основна увага приділяється правилам поведінки у випадку надзвичайних ситуацій, таких як пожежі, землетруси, та забезпеченню безпечних умов під час занять і наукових досліджень. Інструкція містить рекомендації щодо підтримки комфортного мікроклімату у приміщеннях, вимоги до поведінки під час перерви між заняттями, правила використання лабораторного обладнання та заходи з пожежної безпеки.

Інструктаж також охоплює правила поводження під час відпочинку та пересування на вулиці, включаючи дотримання правил дорожнього руху. Всі ці заходи спрямовані на зменшення ризиків для здоров'я та безпеки студентів під час навчального процесу та наукової діяльності.

У згаданому інструктажі також містяться рекомендації щодо дій при загрозі вибуху. Зокрема, у разі небезпеки вибуху, слід лягти на живіт, захищаючи

голову руками. Ці рекомендації є особливо доречними в контексті проведення досліджень і забору ґрунту, адже зразки були відібрані безпосередньо з кратера, утвореного після вибуху ракети. Така ситуація підвищує ризик для дослідника, роблячи необхідними знання про базові заходи безпеки в умовах можливих повторних загроз.

Під час проведення польових досліджень важливо дотримуватися правил техніки безпеки, особливо при інженерно-геологічних вишукуваннях [62]. Основні принципи включають:

– забезпечення належного спорядження та розміщення польової бази;

– дотримання вимог безпеки під час маршруту, врахування особливостей місцевості, рельєфу та кліматичних умов, наявність карт, медикаментів та щеплень;

– проведення розслідувань і облік нещасних випадків та професійних захворювань;

– нагляд за дотриманням вимог охорони праці під час роботи з устаткуванням та відбору проб;

– використання засобів захисту від укусів комах, які можуть переносити інфекції, такі як малярія та енцефаліт;

– дотримання заходів для запобігання нападам диких тварин;

– дотримання правил санітарії та гігієни для уникнення інфекцій та захворювань;

– контроль за режимом відпочинку, уникнення перевантаження та переохолодження.

Дотримання цих принципів забезпечує безпечні умови праці та здоров'я дослідників під час проведення польових робіт.

У підручниках, присвячених охороні праці, які я розглянув, підкреслюється важливість впровадження заходів із забезпечення безпеки працівників під час виконання їхніх обов'язків [63, 64]. Особливу увагу приділено дотриманню правил охорони праці та проведенню інструктажів, а також необхідності правильної організації робочих місць. Це включає контроль

за станом обладнання, умовами праці та регулярне навчання працівників з метою зниження ризику нещасних випадків і професійних захворювань. У підручниках з охорони праці особливо виділяються наступні основні заходи, спрямовані на забезпечення безпеки працівників під час виконання їхніх обов'язків та збереження здоров'я на робочому місці:

– організація інструктажів та навчання з охорони праці: регулярні інструктажі для працівників щодо правил безпеки, надання знань про потенційні небезпеки на робочому місці та методи їх уникнення;

– забезпечення засобами індивідуального захисту: надання працівникам спеціальних засобів захисту, таких як каски, захисні окуляри, рукавиці, респіратори тощо, залежно від характеру роботи;

– дотримання санітарно-гігієнічних норм: створення та підтримання чистоти на робочому місці, забезпечення доступу до питної води, організація санітарних приміщень та місць для відпочинку;

– впровадження безпечних технологій та устаткування: використання сучасних технологій, які мінімізують ризик отримання травм, а також регулярне технічне обслуговування та перевірка обладнання;

– організація медичних оглядів: проведення регулярних профілактичних оглядів працівників для своєчасного виявлення професійних захворювань та запобігання їх розвитку;

– розробка та впровадження планів дій на випадок надзвичайних ситуацій: наявність чітко розроблених інструкцій для дій у разі аварій, пожеж, хімічних джерел чи інших надзвичайних ситуацій;

– контроль за дотриманням правил охорони праці: проведення регулярних аудитів, інспекцій та перевірок для виявлення порушень та недоліків у сфері безпеки на робочому місці.

При організації роботи в наукових лабораторіях необхідно розробляти чіткі інструкції з безпечного використання обладнання та дотримання правил роботи. Приміщення, де здійснюється обробка даних, повинні відповідати

вимогам безпеки, забезпечуючи оптимальні умови для роботи з комп'ютерними системами, що сприяє збереженню здоров’я та ефективності фахівців.

Під час проходження практики у лабораторії Державної екологічної інспекції Південного округу мені було проведено інструктаж з охорони праці та безпеки у лабораторії. Це було необхідно для забезпечення моєї безпеки під час спостереження за роботою персоналу з пробами ґрунту та спеціалізованим обладнанням. Проведений інструктаж передбачав ознайомлення з основними заходами безпеки при роботі у лабораторії та під час роботи з пробами ґрунту. Основні аспекти інструктажу включали правила використання хімічних речовин, де учасників ознайомлювали з небезпечними речовинами та заходами безпечного використання для запобігання забрудненню та травмам. Особлива увага приділяється засобам індивідуального захисту, таким як рукавички, захисні окуляри, лабораторний халат і респіратор, що зменшують вплив шкідливих речовин на організм. Інструктаж також охоплював правила роботи з лабораторним обладнанням, включаючи рекомендації щодо правильного використання приладів для аналізу проб ґрунту та заходи безпеки під час їх експлуатації. Під час відбору проб ґрунту у полі акцент робився на методи безпечного відбору зразків, уникнення їх забруднення, використання захисного спорядження та врахування умов місцевості для зменшення ризиків. Також розглядалися вимоги до зберігання та транспортування проб для запобігання контамінації під час транспортування до лабораторії. Окремо розглядалися дії у разі надзвичайних ситуацій, зокрема надання першої допомоги при контакті з хімічними речовинами, заходи пожежної безпеки та процедури евакуації у разі аварійних ситуацій.

Також існує Наказ №1192 від 11 вересня 2012 року про затвердження Правил охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях [65], який регламентує вимоги безпеки при роботі з хімічними речовинами та використанні лабораторного обладнання. Цей документ встановлює порядок дій та заходи для забезпечення безпеки персоналу під час роботи в лабораторії. Основні заходи з безпечної роботи з лабораторним обладнанням включають

перевірку справності лабораторних приладів та систем вентиляції перед початком роботи, а також дотримання правил роботи з електроприладами, зокрема використання тільки при справній ізоляції та забезпечення заземлення. Категорично забороняється залишати увімкнене обладнання або нагрівальні прилади без нагляду. Всі роботи з леткими або токсичними речовинами необхідно проводити у витяжних шафах, щоб зменшити ризик вдихання шкідливих речовин. У разі несправностей або аварійних ситуацій слід негайно повідомляти відповідальних осіб та вживати заходів для безпечної зупинки роботи. Після завершення роботи необхідно вимкнути прилади, очистити робоче місце та забезпечити належне зберігання обладнання.

Ці правила спрямовані на створення безпечного середовища для працівників лабораторій та мінімізацію ризиків, пов'язаних з хімічними дослідженнями.

Запорожець О. І. у підручнику «Безпека життєдіяльності» детально описує питання пожежної безпеки [66]. У ньому зазначається, що пожежі можуть виникати з різних причин, таких як порушення правил пожежної безпеки, розряди блискавки, самозайманння та навіть використання спеціальних засобів ураження. Основними уражаючими факторами пожеж є висока температура, задимлення, обмеження видимості та негативний вплив на психічний стан людей.

Щороку в Україні реєструється від 2,5 до 7,5 тисяч лісових пожеж, які спричиняють значну шкоду навколишньому середовищу та економіці. Швидкість поширення пожеж залежить від типу горючої речовини, умов місцевості та швидкості вітру, а їхній вплив на середовище та здоров'я людей є значним через токсичні гази, що виділяються під час горіння. У підручнику також висвітлено методи запобігання пожежам, зокрема створення протипожежних бар’єрів та прокладання захисних канав у небезпечних місцевостях.

У наказі Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417, який затверджує Правила пожежної безпеки в Україні, детально описано

порядок дій громадян у разі виникнення пожежі [67]. Згідно з цими правилами, під час пожежі слід дотримуватися наступного:

– Негайно повідомити про пожежу за телефоном 101, вказавши місцеперебування об’єкта, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, та своє прізвище.

– Вжити заходів щодо евакуації людей та спробувати локалізувати пожежу первинними засобами пожежогасіння, якщо це можливо.

– Повідомити керівника підприємства або відповідну особу про пожежу.

– За необхідності викликати інші аварійно-рятувальні служби.

Ці дії є ключовими для забезпечення оперативної реакції та мінімізації наслідків у разі виникнення пожежі на об'єктах та підприємствах.

4.2 Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях

Дослідження проводяться у місті Запоріжжі та його області, що перебувають у зоні конфлікту та часто піддається атакам, цивільна безпека набуває надзвичайної вагомості для забезпечення безпеки та здоров'я здобувачів ступеня вищої освіти другого рівня при відборі проб та роботі у лабораторії надзвичайно актуалізується. Серед заходів з безпеки, які можуть бути вжиті в цьому контексті, можна вказати наступні:

– забезпечення відповідного захисного спорядження для роботи в небезпечних умовах, таких як каски, рукавиці, окуляри та інші засоби індивідуального захисту;

– проведення регулярних інструктажів та навчань з безпеки для співробітників, що працюють на об’єктах з підвищеним ризиком;

– встановлення системи моніторингу та сигналізації для вчасного виявлення небезпек, зокрема у разі виникнення пожежі чи викиду токсичних речовин;

– розробка плану евакуації на випадок надзвичайних ситуацій та забезпечення доступу до аварійних виходів;

– проведення медичного огляду та підтримка готовності медичних засобів, таких як аптечки першої допомоги, на робочих місцях.

Важливо провести ретельну оцінку ризиків, з якими можно зіткнутись під час роботи по відбору проб на місцях прильоту. Вони включають:

– фізичні небезпеки: вибухи, обстріли, пожежі, хімічні та біологічні забруднення, радіоактивне зараження, уламки будівель, тощо;

– інформаційні небезпеки: дезінформація, пропаганда, психологічний тиск, кібератаки тощо.

Згідно з інформацією, наданою Міністерством охорони здоров'я України та опублікованою на сайті «Дебет-Кредит» [68], описані дії у разі надзвичайної ситуації, зокрема, коли лунає сигнал «Слідувати в укриття». Найпростіші укриття включають підвали, цокольні приміщення, підземні паркінги та переходи, які можна використовувати під час короткотривалих обстрілів. Рекомендується завчасно знати розташування таких укриттів, домовитися з власниками приміщень про можливість використання їх під час небезпеки та записати їхні контактні дані. Для міст з метрополітеном укриттями можуть слугувати станції метро та переходи.

У разі надзвичайної ситуації важливо перекрити вдома газ, електрику та воду перед виходом до укриття. Важливо заздалегідь ознайомитися з адресами найближчих укриттів і спланувати маршрут до них. Перебуваючи в укритті, слідкуйте за офіційними повідомленнями по радіо чи телевізору та не залишайте приміщення до оголошення про безпеку виходу.

Крім того, під час артилерійських обстрілів слід уникати перебування біля слабких конструкцій, автомобілів та автозаправних станцій. Якщо обстріл застав зненацька, потрібно лягти на землю у захищене місце, наприклад, біля бетонної

конструкції, траншеї чи в невеликому заглибленні. Закривати долонями вуха та відкривати рот під час вибухів рекомендується, щоб уникнути контузії.

Для артилерійських обстрілів системами залпового вогню, важливо швидко реагувати, спостерігати за запуском ракет та обирати укриття у підвалах або інших заглиблених приміщеннях. Після завершення обстрілу варто залишатися в укритті ще щонайменше 10 хвилин, щоб уникнути можливих повторних ударів.

У разі хімічного ураження важливо знати основні ознаки отруєння і вживати заходів для захисту. Симптоми можуть включати подразнення очей і слизових оболонок, утруднене дихання, кашель, носову кровотечу, біль у грудях, а також загальну слабкість і головний біль. Хімічне забруднення може погіршити хронічні захворювання легенів, такі як астма.

На відкритій місцевості для захисту від хімічного забруднення рекомендується прикривати органи дихання при появі запаху, уникати понижених місць та довгого перебування в підвалах. Варто переміщуватися на підвищення і стежити за напрямком вітру. Якщо напрямок вітру змінюється, слід виходити із зони небезпеки перпендикулярно до його напрямку.

Після виходу із зони забруднення або отримання сигналу про безпеку необхідно провітрити приміщення, змінити одяг, прийняти душ, уникати фізичних навантажень та промити харчові продукти слабким мильно-содовим розчином.

При проведенні польових робіт необхідно мати з собою аптечку першої допомоги, особливо в умовах воєнного стану, коли важливо забезпечити надання першої допомоги у разі травм або погіршення самопочуття. Аптечка має включати базові перев'язувальні матеріали, такі як стерильні та еластичні бинти, пластирі та марлеві серветки. Для обробки ран слід мати антисептичний розчин, антибактеріальну мазь, а також невеликі упаковки йоду або зеленки. У аптечці також мають бути знеболювальні та жарознижувальні засоби, як-от парацетамол або ібупрофен, а також антигістамінні препарати для запобігання алергічним реакціям. Додатково варто мати термометр, санітарні серветки, дезінфекційний

гель, краплі для очей та резервні медичні маски. Особисті ліки, що приймаються регулярно, повинні зберігатися разом з інструкціями щодо їх застосування та дозування.

ВИСНОВКИ

– Проведений фізико-хімічний аналіз ґрунтів у місці влучення ракети 3М55 П-800 «Онікс» у селі Мар'ївка, Запорізького району за 23 показниками, не виявив значних відхилень від гранично допустимих концентрацій (ГДК). Це свідчить про те, що основні забруднювачі залишаються в межах безпечних показників, що є важливим фактором для оцінки безпеки території.

– Зафіксоване зміщення показника pH ґрунту до лужного середовища (8,0-8,13) є наслідком утворення лужних сполук під час вибуху. Також спостерігалося збільшення вмісту органічної речовини до 8,4%, що пов'язано із залишками палива та продуктів горіння. Водночас рівень важких металів і радіаційний фон залишилися в межах норми, що свідчить про відсутність значного хімічного чи радіаційного забруднення на досліджуваній території.

– Грунт із місця вибуху негативно впливає на схожість насіння Lactuca sativa та Raphanus sativus, знижуючи їх проростання та розвиток, а Brassica juncea виявилася більш стійкою до умов цього ґрунту, що може свідчити про її потенціал для використання в подібних умовах.

Отримані результати можуть бути корисними для подальшої оцінки екологічного стану територій, що зазнали вибухового впливу, а також для розробки ефективних заходів з відновлення ґрунтів. Зокрема, дані щодо стійкості окремих рослинних культур можуть стати основою для вибору рослин, що сприятимуть відновленню та покращенню екологічного стану уражених територій.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі проведеного дослідження та отриманих результатів розроблено комплекс практичних рекомендацій щодо відновлення та покращення фізико-хімічних властивостей ґрунту, ураженого вибуховим впливом. Особливу увагу слід приділити території, де мешканці села планували створити парк на місці прильоту ракети, де все ще зберігається кратер, частково заповнений будівельними матеріалами та щебенем.

Першочерговим завданням є комплексна рекультивація території, яка передбачає очищення кратера від будівельних матеріалів та щебеню, що можуть містити токсичні речовини. Необхідно провести хімічний аналіз цих матеріалів та, у разі виявлення забруднень, організувати їх безпечне вилучення та утилізацію відповідно до екологічних норм. Важливо також залучити фахівців з розмінування та екологічної безпеки для видалення можливих залишків вибухових речовин та фрагментів ракети, забезпечуючи безпеку майбутніх відвідувачів парку.

Після очищення кратера слід відновити рельєф та ґрунтовий покрив території шляхом завезення чистого родючого ґрунту, який відповідає агрохімічним та екологічним нормам. Водночас необхідно провести корекцію pH ґрунту, знизивши його лужність до оптимального рівня (pH 6,0-7,0) шляхом внесення підкислювачів, таких як елементарна сірка чи сульфат амонію. Додаткове внесення органічних (компост, перегній) та мінеральних добрив сприятиме збалансуванню поживних речовин і покращенню структури ґрунту.

Для біологічного відновлення ґрунту рекомендується висіяти сидеральні культури, такі як гірчиця або люпин, які збагачують ґрунт азотом та покращують його фізичні властивості. Після їх вегетації сидерати можна закласти в ґрунт як зелене добриво. При озелененні території парку варто обирати рослини, стійкі до можливих залишкових забруднень та адаптовані до місцевих умов, зокрема дерева та кущі з глибокою кореневою системою (клен, липа, сосна).

Важливо також провести додаткові дослідження ґрунту на наявність токсичних сполук та встановити систему регулярного моніторингу стану ґрунту та рослинності. Співпраця з фахівцями у галузі агрономії, екології та ландшафтного дизайну, а також із місцевими органами влади та громадою, забезпечить професійну підтримку та сприятиме успішній реалізації проєкту парку. Це не лише допоможе відновити екологічний баланс території після вибухового впливу, але й створить важливий рекреаційний простір для громади, підвищуючи якість життя мешканців та сприяючи сталому розвитку місцевості.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сталінська І. В. Конспект Лекцій з дисципліни «Забезпечення Екологічної Безпеки». Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекет., 2017. 88 с.

2. Балюк С. А., Кучер А. В., Солоха М. О., Соловей В. Б. Оцінювання впливу збройної агресії рф на ґрунтовий покрив України. Укр. геогр. журнал, №1, 2024. С. 7-18. DOI: https://doi.org/10.15407/ugz2024.01.007

3. Вирва викиду. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Вирва_викиду (дата звернення: 30.08.2024).

4. Забруднення земель внаслідок агресії Росії проти України / А. Сплодитель та ін. Київ: ГО Центр екологічних ініціатив Екодія. 2023. 154 с.

5. Варіабельність геохімічного та гранулометричного складу ґрунтів лісостепу україни під впливом бойових дій / М. О. Солоха та ін. Аграрні інновації. 2022. № 14. С. 109-116.

6. Ambrosini R. D., Luccioni B. M. Craters produced by explosions on the soil surface. Journal of applied mechanics. 2005. Vol. 73, no. 6. P. 890-900. URL: https://doi.org/10.1115/1.2173283 (date of access: 01.11.2024).

7. І. Пліско, К. Романчук, С. Крилач. Механічна та фізична деградація орних ґрунтів внаслідок ведення воєнних дій в Україні. Вісник аграрної науки. 2023. Т. 101. С. 5-12.

8. Василюк Олексій, Валерія Колодежна. Якою має бути доля пошкоджених вибухами українських територій? *Українська природоохоронна група.* Київ : Українська природоохоронна група. URL: http://surl.li/mbneeb (дата звернення: 01.11.2024).

9. Забруднення Угідь Унаслідок бойових дій: огляд рішень для подолання кризи / Н. Майданович та ін. Technical and technological aspects of development and testing of new machinery and technologies for agriculture of Ukraine. 2024. Т. 2, № 33. С. 112-122.

10. Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення / ред.: С. А. Балюка, А. В. Кучера, М. І. Ромащенка. Київ : Аграрна наука, 2024. 342 с.

11. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин : Постанова Каб. Міністрів України від 15.12.2021 р. № 1325. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-п#Text (дата звернення: 30.08.2024).

12. Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу; за ред. Н. Гозак, М. Дячук, Л. Федорова. К.: ГО Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. 32 с.

13. Pichtel J. Distribution and fate of military explosives and propellants in soil: a review. Applied and environmental soil science. 2012. Vol. 2012. P. 1-33. URL: https://doi.org/10.1155/2012/617236 (date of access: 01.11.2024).

14. Kadali S. Investigations to establish the influence of the thermal energy field on soil properties. Acta geotechnica slovenica. 2013. Vol. 10, no. 2. P. 59-76.

15. Lead exposure at firing ranges-a review / M. A. S. Laidlaw et al. Environmental health. 2017. Vol. 16, no. 1. URL: https://doi.org/10.1186/s12940-017-0246-0 (date of access: 06.11.2024).

16. Як важкі метали впливають на рослини?. УкрХімАналіз. URL: https://himanaliz.ua/uk/yak-vazhki-metali-vplivayut-na-roslini/ (дата звернення: 03.09.2024).

17. Хімічний склад та фізико-хімічні властивості ґрунтів – індикатори їхньої родючості та забруднення / В. І. Шейко та ін. Біорізноманіття, екологія та експериментальна біологія. 2023. Т. 25, № 1. С. 60-64. URL: https://doi.org/10.34142/2708-5848.2023.25.1.06 (дата звернення: 06.11.2024).

18. Хилько М. І. Екологічна безпека України: навчальний посібник. Київ : Знання України, 2017. 267 с.

19. Василюк О., Норенко К. Вплив військової діяльності на природу України / ред. О. Кравченко. Львів : Компанія «Манускрипт»», 2019. 68 с.

20. Fedenko V. S. Transformation of vegetation under the conditions of the impact of military actions on the natural environment in Ukraine: a review. Ecology and noospherology. 2023. Vol. 34, no. 2. P. 101-107. URL: https://doi.org/10.15421/032315 (date of access: 01.11.2024).

21. На межі виживання: Знищення довкілля під час збройного конфлікту на сході України / А. Б. Блага та ін. Київ : КИТ, 2017. 88 с.

22. У чому небезпека важких металів для людини?. УкрХімАналіз. URL: https://himanaliz.ua/uk/u-chomu-nebezpeka-vazhkikh-metaliv-dlya-lyu/ (дата звернення: 03.09.2024).

23. Як виявити отруєння важкими металами?. УкрХімАналіз. URL: https://himanaliz.ua/uk/yak-viyaviti-otruiennya-vazhkimi-metalami/ (дата звернення: 03.09.2024).

24. Як захиститися від важких металів?. УкрХімАналіз. URL: https://himanaliz.ua/uk/yak-zakhistitisya-vid-vazhkikh-metaliv/ (дата звернення: 03.09.2024).

25. Захист і відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем / ред. Т. О. Чайка. Полтава : ПП «Астрая» колект. монографія, 2022. 308 с.

26. Contributors to Wikimedia projects. Biomagnification – wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Biomagnification (date of access: 01.11.2024).

27. Про охорону земель : Закон України від 19.06.2003 р. № 962-IV : станом на 18 трав. 2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text (дата звернення: 30.08.2024).

28. Про затвердження Порядку утилізації ракет, боєприпасів і вибухових речовин : Постанова Каб. Міністрів України від 07.06.2006 р. № 812 : станом на 21 лип. 2020 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/812-2006-п#Text (дата звернення: 30.08.2024).

29. Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text (дата звернення: 30.08.2024).

30. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 19.01.2022 р. № 70-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/70-2022-р#Text (дата звернення: 30.08.2024).

31. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Запорізької області у 2021 році. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України: веб-сайт. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-Zaporizka-ODA-2021.pdf (дата звернення: 22.10.2024).

32. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Запорізької області у 2020 році. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України: веб-сайт. URL: https://www.zoda.gov.ua/files/WP_Article_File/original/000170/170762.pdf

33. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Запорізької області у 2019 році. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України: веб-сайт. URL: https://www.zoda.gov.ua/files/WP_Article_File/original/000158/158421.pdf

34. Ситник К., Багнюк В. Стан ґрунтів і майбутнє людства. Київ : Вісник НАН України. 2008. Т. 8. С. 3-27.

35. Soils contaminated with explosives: Environmental fate and evaluation of state-of-the-art remediation processes (IUPAC Technical Report) / D. Kalderis et al. Pure and applied chemistry. 2011. Vol. 83, no. 7. P. 1407-1484. URL: https://doi.org/10.1351/pac-rep-10-01-05 (date of access: 06.11.2024).

36. Report of the defense science board task force on unexploded ordnance. Washington, D.C. : Office of the Under Secretary of Defense, 2003. 152 p.

37. Albert T. Yeung. Remediation technologies for contaminated sites. Advances in environmental geotechnics. 2010. P. 328-269.

38. ДСТУ ISO 10381-5:2009. Якість ґрунту. відбирання проб. частина 5. настанови з процедури дослідження міських і промислових ділянок щодо забрудненості ґрунту. Чинний від 2009-07-29. Вид. офіц. Київ : Вид. офіц., 2009. 33 с.

39. ДСТУ ISO 10381-2:2004. ДСТУ ISO 10381-2:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб. Чинний від 2004-11-30. Вид. офіц. Київ : Вид. офіц., 2006. 36 с.

40. Якість довкілля. відбір проб ґрунтів та відходів при здійсненні хіміко-аналітичного контролю просторового (загального і локального) забруднення об'єктів навколишнього природного середовища в районах впливу промислових, сільськогосподарських, господарсько-побутових і транспортних джерел забруднення. інструкція : НОРМ. ДОК. від 01.03.2005.

41. Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review / P. Broomandi et al. Sustainability. 2020. Vol. 12, no. 21. P. 9002. URL: https://doi.org/10.3390/su12219002 (date of access: 06.11.2024).

42. Агроновини. Правила відбору проб ґрунту для хімічного аналізу – agroportal.ua. AgroPortal.ua. URL: http://surl.li/nrqcgi (дата звернення: 23.10.2024).

43. Лисиця А.В. Методичні Рекомендації Біоіндикація і біотестування забруднених територій. Рівне : Дока-центр, 2018. 94 с.

44. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. Чинний від 2006-01-01. Вид. офіц. Київ : Вид. офіц., 2005. 33 с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_4362_2004.pdf (дата вирвазвернення: 22.10.2024).

45. ДСТУ ISO 10390:2001. Якість Ґрунту Визначення pH. Чинний від 2002-04-01. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1994. 14 с.

46. Жук В.А. Атомно-абсорбційний спектральний аналіз. Фармацевтична енциклопедія. URL: http://surl.li/eeihvj (дата звернення: 22.10.2024).

47. ДСТУ 4770.6:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Чинний від 2009-01-01. Вид. офіц. Київ : Вид. офіц., 2007.

48. ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Чинний від 2009-01-01. Вид. офіц. Київ : Вид. офіц., 2007.

49. ДСТУ 4770.5:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кобальту в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Чинний від 2009-01-01. Вид. офіц. Київ : Вид. офіц., 2007.

50. ДСТУ 4770.8:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук хрому в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Чинний від 2009-01-01. Вид. офіц. Київ : Вид. офіц., 2007.

51. ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Чинний від 2009-01-01. Вид. офіц. Київ : Вид. офіц., 2007.

52. ДСТУ 7853:2015. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в однонормальній солянокислій витяжці методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ : Вид. офіц., 2015.

53. ДСТУ 4770.7:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук нікелю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Чинний від 2009-01-01. Вид. офіц. Київ : Вид. офіц., 2007.

54. ДСТУ 4770.1:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Чинний від 2009-01-01. Вид. офіц. Київ, 2007.

55. Суть еколого-географічного аналізу і оцінювання території на основі картографічного моделювання – бібліотека buklib.net. Головна – Бібліотека BukLib.net. URL: http://surl.li/tosrds (дата звернення: 22.10.2024).

56. Грачов А. Агрохімічна карта України. «Природа України». URL: https://geomap.land.kiev.ua/agrochemical.html (дата звернення: 22.10.2024).

57. Склад грунту – класифікація грунтів за механічним складом | АГРОТЕСТ. АГРОТЕСТ. URL: http://surl.li/snpxlg (дата звернення: 23.10.2024).

58. Забожко Т. Пошкоджено будинки: росіяни з території Криму атакували село під Запоріжжям. Факти. URL: http://surl.li/ivhfph (дата звернення: 24.10.2024).

59. Ярош С. П., Бережний А. О., Рогуля О. В. Показники для оцінювання небезпечності крилатих ракет. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2023. № 2 (76). С. 6-17. URL: https://doi.org/10.30748/zhups.2023.76.01 (дата звернення: 01.11.2024).

60. Дембіцька С. В., Гребенюк Н. О. Значення охорони праці в професійній діяльності еколога. Інститут докторантури та аспірантури – Вінницький Національний Технічний Університет. URL: http://surl.li/prmozm (дата звернення: 06.11.2024).

61. Інструкція з безпеки життєдіяльності для студентів ЗНУ: затв. наказом ректора ЗНУ від 29.01.2019 № 09 АГП / Міністерство освіти і науки України, Запорізький національний університет. Запоріжжя, 2019. 7 с.

62. ДСТУ ISO 10381-3:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 3. Настанови з безпеки. Чинний від 2006-04-01. Вид. офіц. Київ : Вид. офіц., 2004. 24 с.

63. Ткачук К. Н., Халімовський М. О. Основи охорони праці : Підручник. 2-ге вид. Київ : Основа, 2006. 448 с.

64. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник, 5-те вид., доп.. Київ: Знання, 2014. 373 с.

65. Про затвердження Правил охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях : Наказ М-ва надзвича. ситуацій України від 11.09.2012 №1192. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1648-12#Text (дата звернення: 22.10.2024).

66. Запорожець О. І. Безпека життєдіяльності: підручник / О. І. Запорожець, Б. Д. Халмурадов, В. І. Применко. Київ: Центр учбової літератури, 2016. 448 с.

67. Правила пожежної безпеки в Україні: НАПБ А.01.001-14. Київ: МВС України, 2014. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text (дата звернення: 22.10.2024).

68. Як захистити себе під час артилерійського та ракетного обстрілу?. «Дебет-Кредит» – Бухгалтерські новини. URL: http://surl.li/wghomx (дата звернення: 23.10.2024).

ДОДАТОК А



Рисунок А.1 – Вигляд вирви після обстрілу у селі Мар'ївка, Запорізький район [68]

ДОДАТОК Б



Рисунок Б.1 – Вирва в селі Мар'ївка під час відбору зразків ґрунту

ДОДАТОК В

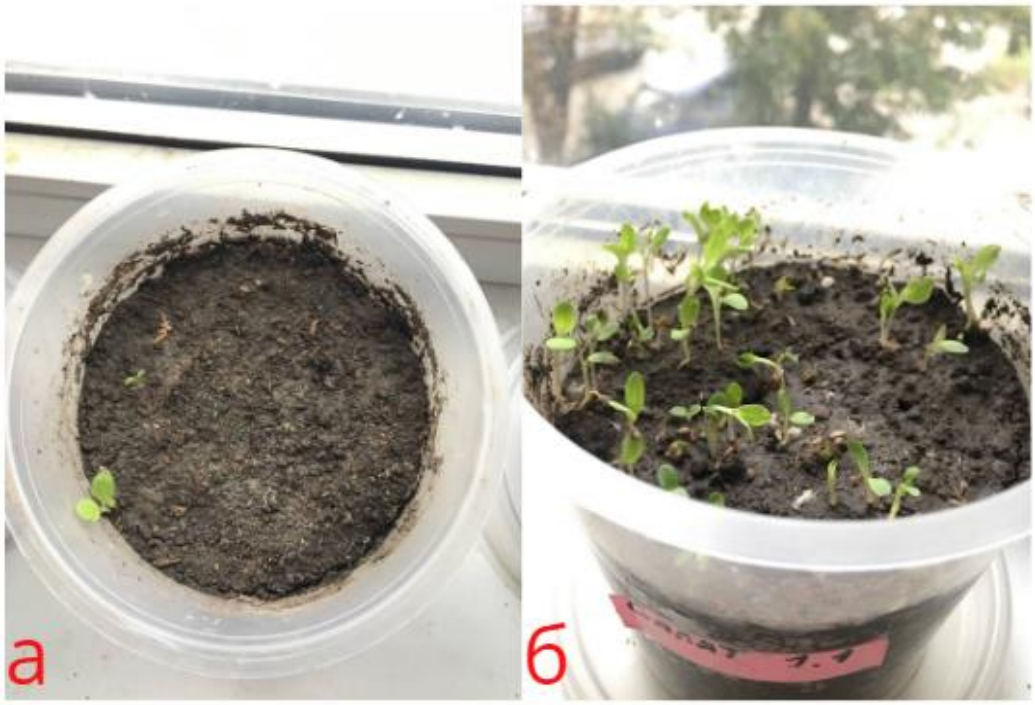


Рисунок В.1 – Проростання насіння *Lactuca sativa* у ґрунті з місця прильоту (а) та на контрольному ґрунті (б), 8 день

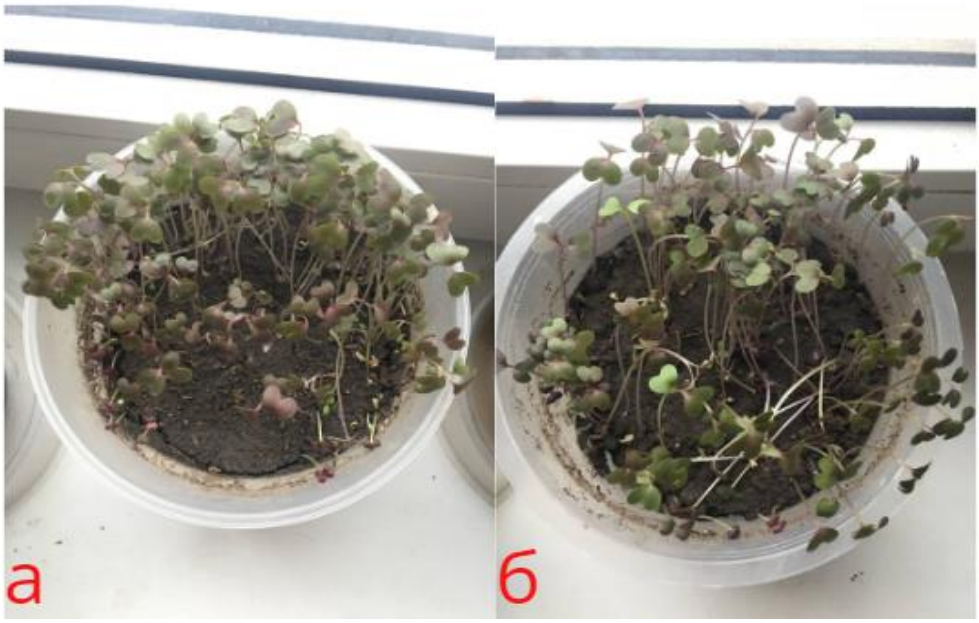


Рисунок В.2 – Проростання насіння *Brassica juncea* у ґрунті з місця прильоту (а) та на контрольному ґрунті (б), 8 день



Рисунок В.3 – Проростання насіння *Raphanus sativus* у ґрунті з місця прильоту (а) та на контрольному ґрунті (б), 8 день



Рисунок В.4 – Насіння, використані для ростового тесту