

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Навчально-науковий інститут цивільного захисту
Кафедра екологічної безпеки

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
екологічної безпеки
доктор с.-г. н., професор
Андрій КУЗИК
“ ____ ” _____ 2024 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: «Вплив російських авіаударів на екологічний стан ґрунтів України»

Виконала:

здобувач 6 курсу, групи ЕК-61м

Спеціальності 101 «Екологія»

Жукова С.Я.

Керівник:

доктор с.-г. н., професор Кузик А.Д.

Рецензент:

к.с.- г.н., доцент, доцент кафедри

ландшафтної архітектури, садово-

паркового господарства та урбоекології

Кучерявий В.С.

Львів – 2024 року

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Навчально-науковий інститут цивільного захисту
Кафедра екологічної безпеки

Освітній ступінь Магістр
Спеціальність 101 Екологія
Освітня програма «Екологічна безпека»

Завідувач кафедри
екологічної безпеки
доктор с.-г. н., професор
Андрій КУЗИК
“ ____ ” _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

Здобувачу Жуковій Софії Ярославівні

1. Тема «Вплив російських авіаударів на екологічний стан ґрунтів України»
керівник роботи Кузик Андрій Данилович, доктор сільськогосподарських наук,
професор

затверджені наказом ЛДУ БЖД від “20” листопада 2023 року № НС-144/90

2. Термін подання здобувачем роботи 02.02.2024 року

3. Початкові дані до роботи:

1. МВВ № 081/12-0723-10 Ґрунти. Методика виконання вимірювань масової частки нітратів фотоколориметричним методом;
2. МВВ 081/12-0725-10 Ґрунти. Методика виконання вимірювань масової частки нафтопродуктів (неполярних вуглеводнів) гравіметричним методом;
3. ДСТУ 4115-2002 «Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова»;
4. Постанова Кабінету Міністрів від 15 грудня 2021 р. № 1325 «Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин».

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Загальні відомості про екологічний стан ґрунтів в Україні.
2. Вплив російських авіа ударів на стан ґрунтів України.
3. Відновлення екологічного стану ґрунтів.
4. Дослідження екологічного стану ґрунту внаслідок російського авіаудару на території Львівської о бласті

5.Перелік графічного матеріалу _____ Презентація Microsoft Power Point _____

6.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ім'я та посада консультаната	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7.Дата видачі завдання 20.11.2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Проходження переддипломної практики та збір матеріалів для проведення досліджень. Проведення досліджень	13.11.2023 01.12.2023	виконано
2	Написання першого розділу	04.12.2023 11.12.2023	виконано
3	Написання другого розділу	12.12.2023 22.12.2023	виконано
4	Написання третього розділу	25.12.2023 05.01.2024	виконано
5	Аналіз матеріалу до четвертого розділу та оформлення дипломної роботи	08.01.2024 19.01.2024	виконано
6	Підготовка доповіді та презентації	22.01.2024 31.01.2024	виконано

Здобувач _____

(підпис)

Жукова С.Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Кузик А.Д

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Жукова С.Я. Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 101 «Екологія» на тему: Вплив російських авіаударів на екологічний стан ґрунтів України.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи: 86 сторінок, 15 рисунків, 2 таблиці, 65 джерел інформації, 1 додаток.

Представлено аналіз дослідження проби ґрунту відібраної із місця, куди влучила ракета Х-101.

Мета – дослідити, які зміни відбулися в ґрунті, в який влучила ракета, способом проведення лабораторних досліджень у Державній екологічній інспекції у Львівській області.

Об'єктом дослідження є ділянка, яка зазнала ушкоджень ракетою Х 101, розташована на подвір'ї цивільної особи у домогосподарстві, яке розташоване за адресою вул. Незалежності, 156 с. Велика Вільшаниця Золочівського району Львівської області.

Предмет дослідження – аналіз проб ґрунту, відібраних у Львівській області на наявність таких речовин-забруднювачів як – нафтопродукти, фосфати, нітрати.

Основні результати дослідження. Дослідження, яке було проведене на наявність нітратів, фосфатів та нафтопродуктів у відібраній пробі ґрунту показало такі результати:

Нафтопродукти – 190мг/кг;

Нітрати – 55,751 мг/кг;

Фосфати – 56,180 мг/кг.

Згідно Постанови Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 року №1325 всі ці показники знаходяться в межі норми.

Ключові слова: нітрати, фосфати, нафтопродукти, ушкоджений ґрунт, ракета Х-101, бойові дії.

ABSTRACT

Zhukova, S.Y. Qualifying work of the master's degree in the specialty 101 "Ecology" on the topic: The impact of Russian airstrikes on the ecological condition of soils in Ukraine.

The total scope of the qualification work: 86 pages, 15 pictures, 2 tables, 65 sources of information, 1 appendix.

Here is presented an analysis of the sample taken from the site where the X-101 rocket hit.

The goal is to find out what changes have occurred in the soil hit by the rocket, by conducting laboratory tests at the Kyiv Environmental Inspection in the Lviv Region.

The object of the investigation is the site that was damaged by the X 101 rocket, located on the yard of the civilian's building in the household, which is located on the 156 Independence st, Velika Vilshanytsia, Zolochiv district, Lviv region.

The subject of the research is the analysis of a sample of soil sampled in the Lviv region for the presence of such heavy pollutants as petroleum products, phosphates, and nitrates.

Main results of the study. The study, which was carried out on the presence of nitrates, phosphates and petroleum products in the specific sample of soil, showed the following results:

Petroleum products - 190mg/kg;

Nitrates – 55.751 mg/kg;

Phosphates - 56,180 mg/kg.

According to Resolution №1325 of the Cabinet of Ministers of Ukraine from December 15, 2021, all these indicators are within normal limits.

Key words: nitrates, phosphates, petroleum products, damaged ground, X-101 rocket, combat operations.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ УКРАЇНИ.....	9
1.1. Основні типи ґрунтів в Україні та їх характеристика.....	9
1.2. Екологічний стан ґрунтів України у довоєнний період.....	17
1.3. Екологічний стан ґрунтів України у воєнний період.....	20
Висновок до розділу 1.....	24
РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ РОСІЙСЬКИХ АВІАУДАРІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ УКРАЇНИ.....	26
2.1. Загальні відомості про агресію рф в Україні.....	26
2.2. Аналіз типів бойових дій та боєприпасів, що застосовують в Україні під час війни, та їх вплив на екологічний стан ґрунтів.....	30
2.3. Типи порушення екологічного стану ґрунтів у зв'язку з бойовими діями..	39
2.3.1. Механічний вплив та наслідки для ґрунту.....	40
2.3.2. Хімічний вплив та наслідки для ґрунту.....	46
2.3.3. Фізичний вплив та наслідки для ґрунту.....	50
Висновок до розділу 2.....	52
РОЗДІЛ 3. ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ.....	54
3.1. Види відновлення екологічного стану ґрунтів.....	54
3.2. Аналіз досвіду відновлення екологічного стану ґрунтів країн, що постраждали внаслідок воєнних дій.....	64
Висновок до розділу 3.....	68
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТУ ВНАСЛІДОК РОСІЙСЬКОГО АВІАУДАРУ НА ТЕРИТОРІЇ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	70
4.1 Характеристика об'єкту дослідження.....	70
4.2 Методика проведення дослідження.....	72
4.3 Результат та аналіз дослідження.....	74
Висновок до розділу 4.....	76
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79
ДОДАТКИ.....	86

ВСТУП

Тема «Вплив російських авіаударів на екологічний стан ґрунтів України» на сьогоднішній день є дуже актуальною, оскільки військові дії, які почалися в лютому 2024 року, вже нанесли і продовжують приносити шкоди ґрунтам. Ракета – це один із засобів ведення війни, який несе за собою серйозні наслідки – руйнування структури та ущільнення ґрунту, вібрація, тепловий вплив і хімічне забруднення. Дане дослідження дасть змогу проаналізувати, які наслідки несуть за собою авіаудари для ґрунтів. І якщо при потребі знайти способи вирішення виявлених проблем.

Метою кваліфікаційної роботи є визначення впливу авіаударів на екологічний стан ґрунтів України. Основними завданнями є:

- Вивчення теоретичного матеріалу, пов'язаного із забрудненням екології, зокрема ґрунтів, внаслідок російської агресії. Детально розглянути вплив авіаударів на ґрунти України;
- визначення наявності в ґрунті нітратів, фосфатів та нафтопродуктів та як впливають ці речовини на стан ґрунту у селі Велика Вільшаниця Золочівського району Львівської області;
- у разі виявлення проблем – знайти та запропонувати їх вирішення, що забезпечить родючість ґрунту та сприятливі умови для його використання.

Об'єктом дослідження є ґрунт на території домогосподарства громадян с. Велика Вільшаниця Львівського району Львівської області за адресою вул. Незалежності, 156.

Предметом дослідження є забруднення ґрунту, яке ймовірно спричинила ракета Х-101, шляхом витоку палива, яке може збруднити ґрунт нітратами, фосфатами та нафтопродуктами, а також руйнування структури ґрунту внаслідок удару, який утворив вирву.

Основними методами дослідження є лабораторні дослідження за вказаними нижче методиками та аналіз їх. Методики які використовувалися:

1. ДСТУ 4115-2002 «Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова»;
2. МВВ № 081/12-0723-10 Ґрунти. Методика виконання вимірювань масової частки нітратів фотоколориметричним методом;
3. МВВ № 081/12-0725-10 Ґрунти. Методика виконання вимірювань масової частки нафтопродуктів (неполярних вуглеводнів) гравіметричним методом.

Апсорбація результатів дослідження: Публікації: Жукова С.Я. Ушкодження ґрунтів внаслідок російських авіаударів. Матеріали ХІХ Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності». м. Львів, 2024.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ УКРАЇНИ

1.1 Основні типи ґрунтів в Україні та їх характеристика

Що стосується класифікації основних видів ґрунтів, то немає єдиної думки. Існує кілька підходів залежно від основної відмітної риси. Однак найчастіше парадигма базується на композиції. Слід також зазначити, що різні галузі мають власні класифікації [1].

Визначення типу ґрунту часто пояснюють складовими елементами матеріалу, такими як пісок, глина і мул. Таким чином, існують три основні компоненти для формування різних типів ґрунтів з їх сильними і слабкими сторонами. При намаганні розібратися в різниці слід звертати увагу на розмір частинок. Глина характеризується найдрібнішими частинками, і чим менший розмір частинок, тим менше залишається проміжків повітря між ними, що призводить до їх тіснішого з'єднання [1].

Піщані Ґрунти

У ґрунтах, що мають піщану структуру (легкі ґрунти), велику частку складає пісок, а глинистих мінералів мало, а також містять низький вміст гумусу. Такі ґрунти відповідають терміну "легкі", оскільки їх характеризує розсипчата зерниста структура, що полегшує обробку, швидку ерозію, високу проникність для повітря та води, але погано утримують вологу, швидко нагріваються та швидко охолоджуються. Значущим недоліком піщаних ґрунтів є обмежене наявність біологічного життя через низький рівень вологості та поживних речовин для ґрунтових мікроорганізмів. Це призводить до нестачі активних та поживних речовин для рослин. Для компенсації цього необхідно частіше вносити органічні добрива, які часто стають основним джерелом живлення рослин. Проте цей підхід не завжди ефективний, оскільки добрива швидко розкладаються під впливом води, легко проникають в піщані ґрунти і,

розчинившись у воді, легко вимиваються, потрапляючи безпосередньо у глибші шари ґрунту [1].

Глинисті Ґрунти

Важкі ґрунти характеризуються високою щільністю, в'язкістю та легкістю злипання, роблячи їх важкими і малопіддатливими для обробки. При розкопуванні такі ґрунти не розсипаються, а утворюють великі грудки, які важко розбити та розмелювати. Покинутий без переробки, ґрунт знову злипається, і процес розкопування фактично потрібно проводити спочатку. Здатність до злипання, надмірної щільності та утворення грудок у глинистих ґрунтах пов'язана з дуже дрібною структурою твердих ґрунтових частинок, які залишають лише мінімальні проміжки між собою. В результаті ущільнення глинистих ґрунтів виникає погана повітропроникність, що обмежує доступ кисню до коренів рослин і мікроорганізмів в ґрунті. Недостатній доступ кисню уповільнює процес розкладання органічних речовин на остаточні продукти, що призводить до вироблення бідної на поживні речовини ґрунтової середовища і позбавляє рослини цінних поживних речовин. Це в значній мірі пояснює відсутність біологічного життя в глинистих ґрунтах, окремі частини яких можна характеризувати як "мертві" з точки зору відсутності розвиненого мікробіологічного середовища [26].

Ці ґрунти вирізняються також можливістю утворення товстої кірки. Часто вона буває настільки тверда, що її доводиться розбивати. Через низький вміст глини й органічного матеріалу погано утворюються агрегати [12].

Глинисті ґрунти вирізняються низькою повітропроникністю через їхнє ущільнення, що обмежує доступ кисню до коренів рослин і мікроорганізмів, що проживають у ґрунті. Недостатній доступ кисню сповільнює процес розкладання органічних речовин на остаточні продукти, призводить до вироблення бідного на поживні речовини ґрунтового середовища і лишає рослини позбавленими цінних поживних речовин. Це, в багатьох випадках, може пояснювати відсутність біологічного життя в глинистих ґрунтах, де

окремі області можна охарактеризувати як "мертві" через відсутність розвиненого мікробіологічного середовища [1].

Кам'янисті Ґрунти

Кам'янисті ґрунти переважно знаходяться на схилах пагорбів і гір, і визначаються наявністю каменів або щільних гірських порід, які не є родючими і становлять значну частину їх структури. Ці типи ґрунтів добре нагріваються і зберігають тепло тривалий час, проте в них відсутнє активне мікробіологічне життя, і мікроелементи швидко виводяться або розкладаються разом із гірськими породами. Крім того, вода не залишається у структурі цих ґрунтів[1].

Торф'яно-Болотні Ґрунти

Ґрунти із торф'яно-болотних областей складаються з органічних речовин, насичених азотом, які часто недоступні для рослин. Ці ґрунти мають критично низький рівень фосфору та калію. У той час, торфові віанітові землі, хоча містять багато фосфору, включають сполуки, які рослини не можуть використовувати. Характеризуються торф'яно-болотні землі також високою вентиляцією та водопроникністю, але часто мають надлишок вологості. Торф'яні ґрунти погано проводять тепло, тому їхній нагрів відбувається повільно. Оскільки структура торф'яних ґрунтів подібна до губки, яка легко поглинає та водночас легко виділяє воду, для поліпшення їхньої структури рекомендується збільшити вміст твердих речовин [1].

Супіщані Ґрунти

Ґрунт складається з різної величини частинок. В його структурі містяться великі елементи, такі як камені, залишки гірських порід і мінералів, діаметр яких може коливатися від 2-3 см до 10-12 см. Значну частину об'єму займають дрібні частинки, які не розглядаються без допомоги мікроскопа. До них відносяться частинки, що стають видимими тільки під мікроскопом з збільшенням у сотні разів. Крім того, існують ще менші частинки, які можна розрізнити лише за допомогою електронного мікроскопу [14].

Супіщані ґрунти мають багато ознак піщаної землі, але в більш збалансованому співвідношенні, сприятливому в усіх відношеннях для

вирощування рослин, будучи проміжним видом ґрунту. Супіщані землі повітропроникні, мають високий запас води, добре вбирають і утримують вологу, зв'язують мінерали та поживні речовини, запобігаючи їх вимиванню з землі. Супіщана земля характеризується розвиненим біологічним життям. Такі види ґрунтів створюють сприятливе середовище для вкорінення та розвитку кореневої системи рослин: хороша аерація забезпечує вільний доступ кисню до землі, а потужна капілярна система забезпечує коріння вологою та поживними речовинами. Поверхня піщаної землі швидко віддає воду після зволоження, не утворює кірки і не сохне глибоко до рівня вкорінення рослин. Крім того, через досить пухку структуру піщані землі швидко нагріваються і гнучко реагують на різницю між денними та нічними температурами [32].

Суглинні Ґрунти

Суглинні або середні ґрунти є корисними для сільського господарства та садівництва, і їх назва вказує на проміжне положення між глинистою та піщаною землею. Вони об'єднують переваги обох типів ґрунтів, при цьому уникаючи їхніх екстремальних недоліків. Цей вид ґрунту володіє оптимальним балансом, необхідним для успішного вирощування різних видів рослин. Структура суглинкової землі характеризується зернистою грудковатістю та наявністю великих твердих та пилоподібних частинок. Ці ґрунти легко обробляються, не утворюють щільних грудок та не змінюють свою структуру після обробки. Вони також багаті на поживні речовини, включаючи мінерали та елементи, які постійно поповнюються завдяки активності ґрунтових мікроорганізмів та розмаїтому біологічному життю. Суглинкові ґрунти мають високу повітропроникність та водопроникність, здатні утримувати вологу, швидко і рівномірно нагріваються від тепла, і забезпечують сталий температурний режим [32].

Типи Ґрунтів Поширені в Україні

На території України утворились різні типи ґрунтів. Їх розподіл на рівнинах підпорядковується закону широтної зональності (змінюються з півночі на південь) [32].

Дерново-Підзолисті Ґрунти

Склад і властивості дерново-підзолистих ґрунтів пов'язані зі ступенем розвитку підзолистого процесу ґрунтоутворення. Гранулометричний та хімічний склад змінюються по профілю аналогічно до підзолистих ґрунтів. Дерново-підзолисті ґрунти дуже бідні на гумус (гумусовий профіль регресивно-аккумулятивний, тип гумусу гуматно-фульватний) та елементи живлення, мають кислу реакцію, несприятливі фізичні властивості, короткий верхній горизонт, за яким залягає підзолистий (E) горизонт з дуже несприятливими властивостями [32].

Дерново-підзолисті ґрунти в основному поширені на Поліссі і формуються в умовах високої вологості під мішаними та сосновими лісами. Вихідні матеріали для цих ґрунтів - водно-льодовикові піщані відклади. За характерним властивостями вони характеризуються низьким вмістом гумусу, що становить до 1,5%, та вираженим підзолистим горизонтом, з якого відбувається інтенсивне вимивання поживних речовин. Це призводить до низької родючості цих ґрунтів [1].

Сірі Лісові Ґрунти

Сірі лісові ґрунти широко розповсюджені у південній частині Полісся, на заході та на Правобережній Україні в областях, де процвітають широколистяні ліси. Вони сформувалися на глинистих породах в умовах достатньої вологості. Зміст гумусу у цих ґрунтах також невеликий (3%), що призводить до їхньої природної неохочності до високої родючості [1].

Чорноземні Ґрунти

Чорноземні ґрунти сформувалися в лісах під степовою рослинністю в умовах обмеженого зволоження. Це найпоширеніший тип ґрунту в Україні, охоплюючи майже 65% її території, і є національним скарбом. Вони відзначаються високим вмістом гумусу (8-15%) і зернисто-грудкуватою структурою, що робить їх найбільш родючими не тільки серед українських ґрунтів, але і в світі. Верхній шар перегною в чорноземах може досягати значної товщини від 0,4 метра до 1 метра і більше. Різні підтипи чорноземів

поширені в різних регіонах країни: у лісостепу - підзолисті та типові чорноземи, у північній частині степу - звичайні чорноземи, на півдні степу - південні чорноземи. Різноманітність цих підтипів обумовлена різними умовами вологості у різних регіонах. В цілому, в Україні зосереджено п'ятнадцять відсотків усіх чорноземів у світі [1].

Каштанові Ґрунти

Каштанові ґрунти створювались на сухих степових ділянках, в умовах недостатнього зволоження та поганої рослинності. Мають низький вміст гумусу – 3%, але досить сильний гумусовий горизонт – до 0,55 м. Для отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур ці типи ґрунтів потребують додаткової вологи [1].

Тип каштанових ґрунтів поділяють на три підтипи [13]:

- світло-каштанові;
- каштанові;
- темно-каштанові, поширені в сухому південному степу. Гумусовий горизонт досягає 55 см, вміст гумусу в них становить 1,3-2,9 %.

Інші Ґрунти.

На рівнинних теренах України, зокрема на Поліссі, окрім основних зональних типів ґрунтів, формуються інші види, такі як болотні та торф'яно-болотні ґрунти, які розташовані у болотистих областях, а також лучні та лучно-болотисті ґрунти, що характеризують долини річок. У лісостепу та степу солонці розподілені в окремих невеликих ділянках, представляючи малородючі ґрунти з виділеним горизонтом із значним вмістом солі. У південних степах формуються солончаки - ґрунти, які є неродючими і мають високий вміст солі у всій їхній товщі. Щоб вирощувати рослини на таких типах землі, необхідно проводити промивання та гіпсування. Внаслідок інтенсивного промивання водою солонці у закритих низьких місцевостях може перетворитися на солодід, де шар солі зникає, але з'являються глейові горизонти [1].

Після розпочаття воєнної агресії з боку Росії понад 15 мільйонів гектарів ґрунтів опинилися в зоні бойових дій. Практично усі типи українських ґрунтів,

від дерново-підзолистих і дернових опідзолених на півночі країни до темно-каштанових і каштанових солонцюватих на південному заході, зазнали негативного впливу. Цю інформацію надає Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н.Соколовського [23].

Україна має частку чорноземів та подібних до них чорноземоподібних ґрунтів на рівні 71%. Це включає різні типи, такі як опідзолені, типові, звичайні, південні, а також ті, які подібні до них за особливостями накопичення органічного вуглецю, такі як лучно-чорноземні, лучні, темно-каштанові та темно-сірі опідзолені ґрунти. Частка українських чорноземів серед європейських складає 30%, а серед світових — 9% [23].

Загалом, як повідомила Рахункова палата України, внаслідок російської агресії постраждало 3 мільйони гектарів українських лісів — майже третина лісистих площ країни, а деякі з них були втрачені назавжди [33].

Зазначається, що Росія перетворила українські чорноземи на найбільш заміновані території у світі: приблизно 30% території України потребує розмінування. Цей процес триватиме не менше десяти років [33].

За площею ґрунти, що постраждали від війни, розподіляються таким чином: чорноземи звичайні (5,0 млн. га), чорноземи південні (2,1 млн. га), чорноземи типові та опідзолені (1,9 млн. га), лучні та лучно-чорноземні ґрунти (0,9 млн. га), темно-каштанові ґрунти (0,9 млн. га) та інші [23].

Характеристика лише обсягу ґрунтів, які постраждали від воєнних подій, недостатньо повно відображає розмаїття та розміри воєнної деградації. Ці аспекти можна буде більш точно визначити після завершення бойових дій, розмінування та проведення ґрунтового обстеження [23].

На даний момент очевидно, що найбільші пошкодження чорноземів стали результатом інтенсивних бойових дій, особливо там, де ведуться запеклі бої, особливо позиційного характеру та застосовуються "вогневі вали". У деяких місцях обсяг руйнувань ґрунтового покриву від артилерійських та авіаційних ударів становить понад 35-40%, і у деяких випадках навіть досягає майже

стовідсоткових показників. Окрім військових дій, на вразливість чорноземів також впливають їхні генетичні особливості [23].

Чорноземи в Луганській та Донецькій областях переважно мають важкий гранулометричний склад, включаючи важкосуглинковий і легкоглинистий з вмістом гранулометричної фракції розміром менше 0,01 мм (фізична глина) від 46% до 65%. Однак чорноземи в районі Мар'їнки вирізняються високим показником цього параметра, досягаючи 70-75%, що робить їх унікальними для України. У поєднанні з меншою глибиною просочування вологи від атмосферних опадів через високий ступінь континентальності клімату, це призводить до відносно короткого профілю чорноземів звичайних, від 55 до 80-90 см. Це, зокрема, робить їх більш уразливими до механічної деградації, такої як утворення вирубків внаслідок вибухів снарядів та авіабомб, а також руйнація при будівництві фортифікаційних споруд [23].

Деградація ґрунтів – це зменшення їх родючості або втрата властивостей, характерних їм як природному тілу (підкислення, засолення, вилугування, ерозія, підтоплення, заболочення, забруднення, опіщання тощо) [34].

Чорноземи України виникли на лісових породах, які вже самі по собі є цінними з агрономічного погляду. Хоча механічне перемішування генетичних горизонтів ґрунту між собою та з материнською породою може призводити до зниження родючості ґрунтів, це не є ситуацією критичного значення [23].

Проте в певних областях, особливо в околицях Бахмута, часто зустрічаються звичайні чорноземи на ґрунтах без лісового покриву, зокрема на червоно-бурій глині, яка в агрономічному контексті вважається менш цінною материнською породою [23].

Сухий клімат, який є характерним для регіонів із чорноземами звичайними і південними, а також темно-каштановими ґрунтами, призводить до подовження часу, необхідного для відновлення продуктивності деградованих ґрунтів. Це створює потребу в проведенні рекультиваційних заходів [23].

1.2. Екологічний стан ґрунтів України у довоєнний період

У довоєнний період стан ґрунту був у значно кращому стані, проте його супроводжував ряд певних проблем [18].

В Україні плідні чорноземи охоплюють площу 24 мільйони гектарів, що становить 60% загальної площі земель. Наша країна володіє 8% всіх чорноземів у світі, відкриваючи великі можливості для ефективного господарювання. За правильного підходу могли б ми отримувати значно кращі врожаї на своїх землях, ніж більшість країн Європи. Однак на практиці ситуація розвивається протилежним чином [18].

Україна має один із найвищих рівнів розораності ґрунтів в Європі, досягаючи 53%. Для порівняння, у Німеччині цей показник становить 34%, а у Польщі - 36%. Сама за себе розораність не є основною проблемою; проблема полягає в неправильному використанні та відсутності відновлення ґрунтів. Власники земель, особливо великі, часто не дотримуються сівозміни, вирощуючи на тих самих ділянках щорічно найбільш прибуткові та виснажливі культури, такі як соняшник, кукурудза та соя [18].

Внаслідок такого способу господарювання в наших чорноземах значно зменшується вміст гумусу, який відповідає за родючість ґрунту. У порівнянні з первісними чорноземами, де верхній горизонт містить близько 10% гумусу, середній вміст гумусу в українських чорноземах становить приблизно 3.7-4%. За оцінками екологів, протягом останніх 130 років ми втратили третину гумусу. Важливо відзначити, що темпи його відновлення дуже повільні, оцінюються на 10 см за 2 тисячоліття! [18].

Розрахунки вчених показують, що для ведення землеробства з бездефіцитним балансом гумусу слід вносити гною у середньому на 1 га сівозміни на Поліссі — 15–16 т, в Лісостеповій зоні — 10–12, у Степовій — 8–10 т. Для розширеного відтворення гумусу внесення органічних добрив найближчим часом слід збільшити в зоні Полісся до 18–20 т/га, в Лісостеповій — 13–15, у Степовій — 10–12 т/га, тобто у середньому по країні до 11 т/га [35].

Це відбивається на врожайності наших земель. Наприклад, у 2022 році середня врожайність озимого ячменю в Україні становила 3.51 т/га, в той час як

у Німеччині вона була вдвічі вищою, приблизно 7.5 т/га. Якщо ми продовжимо виснажувати ґрунти, ця різниця буде тільки зростати. Крім того, виснажені ґрунти стають вразливими до ерозії, яку легко розносить вітер. Це призводить до змін в кліматі та сприяє явищу, відомому як опустелювання. У таких випадках ґрунти можуть не тільки втратити свою родючість, але й повністю припинити плодоносіння [18].

За приблизними оцінками Національної академії аграрних наук України, через погіршення стану ґрунтів Україна вже втрачає близько 40 млрд грн на рік [18].

Неправильне господарювання - не краще війни. Що цікаво, ґрунти забруднюються нафтопродуктами і отруйними сполуками не лише від війни. Так само вони страждають і в мирний час, як правило, через службову недбалість [18].

Наприклад, у кінці 2021 року Служба безпеки України розкрила факт порушень в діяльності ТОВ "Прикарпатзахідтранс", спеціалізованого на транспортуванні нафтопродуктів, яке спричинило масштабне забруднення земель у Закарпатській області. За результатами досудового слідства СБУ, підприємство незаконно розпочало демонтаж резервної гілки нафтопроводу "Самара - Західний напрямок" наприкінці 2018 року, включаючи демонтаж цистерн та приблизно 33 км трубопроводу [18].

Нафтопродуктопровід Самара-Західний напрямок був збудований за часів СРСР в 1957-1968 роках. На момент розпаду цієї держави нафтопродуктопровід належав до загальносоюзної власності [36].

Для зменшення витрат на обробку, відходи, які містять небезпечні речовини, часто вирішували "заховати у ґрунт". За висновками правоохоронців, це призвело до забруднення приблизно 20 тисяч кубічних метрів землі залишками паливно-мастильних матеріалів. Такі дії призвели до екологічних збитків у регіоні на суму понад 34 мільйонів гривень [18].

Проблемою у забезпеченні захисту ґрунтів стало використання мінеральних добрив. У бажанні досягти високих врожаїв українські

сільськогосподарські поля тривалий час рясно обприскували пестицидами та різними хімічними сполуками. Згідно з даними Держстату, між 2010 та 2021 роками (останній рік, за який є доступний звіт), обсяг внесених мінеральних добрив в Україні зріс із 1,1 млн тонн до 2,6 млн тонн. Практично усі ці добрива використовувались для обробки сільськогосподарських культур. Протягом цього періоду використання азотних добрив зросло майже у 2,2 рази, а калійних та фосфорних - у 2,8 рази. Якщо у 2010 році удобрена площа становила 70% від загальної посівної, то у 2021 році цей показник склав уже 91,5%. Крім того, на кожен гектар землі використовувалося майже втричі більше добрив, ніж за попередні 11 років, збільшившись від 58 до 142 кілограмів на гектар [18].

Звісно, добрива необхідні для забезпечення врожайності у сільському господарстві. говорить експертка з екологізації сільського господарства ГО «Екодія» Анна Даниляк. Але важливі також підходи до їх використання:

«Добрива потрібно використовувати за належних погодних умов, треба враховувати якість та склад ґрунту, рельєф місцевості. В залежності від цих факторів підвищується або падає ризик незасвоєння добрив рослинами чи ґрунтом» - говорить вона [18].

Потім незасвоєні добрива потрапляють у водойми, спричиняючи забруднення, або поступово накопичуються в ґрунті та знищують мікрофлору, "закислюючи" чи "засолюючи" його [18].

В засолених ґрунтах при надмірній концентрації ґрунтового розчину поглинання рослинами води і поживних елементів різко уповільнюється [37].

Недбале введення азотних добрив, зокрема тих, що містять нітрат амонію, є одним із головних штучних факторів, які викликають підкислення ґрунту. Цей процес виникає, коли азот виводиться з системи, а не абсорбується культурними рослинами. Деякі амонійні добрива також можуть спричиняти кислотність, навіть якщо азот вже був поглинутий посівами [18].

Крім того, до підвищення кислотності ґрунту призводять кислотні опади, під час яких у ґрунт потрапляють сірчана, сірчиста або азотна кислоти. Такі кислотні опади можуть бути спричинені діяльністю теплових електростанцій

або великих промислових підприємств, які не належним чином очищують свої викиди [18].

Іншою схожою проблемою є засолення ґрунтів, що виникає внаслідок надмірного потрапляння у землю водорозчинних солей, таких як натрій чи калій. Засолення також призводить до погіршення родючості ґрунтів, і при досягненні певного рівня може призвести до повної втрати родючості. Для того, щоб зупинити процеси окислення і засолення, слід шукати альтернативи використанню мінеральних добрив. Однією з можливих альтернатив може бути використання більш екологічно дружніх мінеральних добрив [18].

Це питання стає актуальним для українських аграріїв, особливо якщо вони мають намір в майбутньому постачати продукцію до країн ЄС. Необхідно вже зараз переглядати свої методи господарювання. Коли Україна стане повноправним членом європейської спільноти, це вимога стане обов'язковою і буде вимагати від аграріїв вдосконалити свої практики відповідно до стандартів ЄС [18].

1.3 Екологічний стан ґрунтів України у воєнний період

З 24 лютого 2022 року в Україні, а на Сході країни — протягом кількох років, щоденно спостерігається інтенсивне обстрілювання, використання дозволених і заборонених снарядів, утворення виривів від авіабомб і артилерійських обстрілів, створення нових мінованих територій та знищення важкої військової техніки, що призводить до витоків нафтопродуктів, вирубування лісів та інших наслідків. Усі ці військові дії призводять до забруднення ґрунту та мають негативний вплив на економіку країни та здоров'я людей [16].

Доведено, що воєнно-техногенне забруднення має серйозні наслідки для здоров'я населення. Зосереджений вміст важких металів може призводити до порушень у роботі нервової системи, систем кровотворення та внутрішньої секреції. Хімічні забруднення можуть сприяти виникненню злякисних утворень, атеросклерозу та випадків порушення генетичної спадковості [17].

В результаті повномасштабного вторгнення російських військ на територію України значна шкода була завдана ґрунтам, зокрема, сільськогосподарським землям. Великі площі пошкоджені, засмічені та забруднені, повідомляє Державна екологічна інспекція України [16].

На 30 листопада в Україні забруднено практично 22 тисячі гектарів та засмічено понад 8 мільйонів гектарів території. За визначеннями Держекоінспекції, загальні збитки оцінюються на 448,9 мільярдів гривень.

До повномасштабного вторгнення за даними міжнародної організації ФАО (Food and Agriculture Organization) в Україні 20% сільськогосподарських земель України зазнали суттєвої деградації, а рівень їх розораності сягав 53%. Це один з найвищих показників у світі. Наприклад, у Польщі цей показник становить 36,5%, у Німеччині – 34,1%, у США – 17,5%, а в Китаї – 12% [16].

Науковці виділяють три типи забруднення земель. По-перше, механічне забруднення, яке відбувається, коли структура ґрунтового покриву змінюється. Родючий шар, який формується протягом тисячоліть, є надзвичайно цінним і його відновлення відбувається дуже повільно. Коли цей шар руйнується або змішується з іншими шарами через риття окопів і траншей або вибухи, що буквально вивертають землю, він втрачає свої властивості, гірше утримує вологу та стає менш придатним для вирощування врожаю. Механічне забруднення також виникає внаслідок руху військової техніки, що призводить до ущільнення ґрунту та зростання його вразливості до вивітрювання чи вимивання - так званої вітрової або водної ерозії [15].

Другий тип – це фізичне забруднення, що вказує на зміну фізичних властивостей ґрунту. Наприклад, військова техніка може спричинити вібрації, а вибухи чи пожежі, крім прямих руйнувань, можуть порушити температурний режим, що становить загрозу для біорізноманіття ґрунту. Навіть хоча на перший погляд земля може здатися менш активним середовищем, вона є живим організмом, який грає ключову роль у родючості та здоров'ї ґрунту завдяки взаємодії з різноманітними організмами [15].

Останній же різновид забруднення – це хімічне. Тут йдеться і про витіки палива, і продукти горіння, що осідають на ґрунт з повітря, і про токсини, що потрапляють туди через вибухові речовини у снарядах. Це проблема для здоров'я не лише землі, а й людей. Небезпечні речовини мають властивість потрапляти через ґрунт у воду чи рослини, які на ньому вирощуються, а звідти – в організм людей, що будуть пити чи їсти токсичні продукти [15].

Забруднення ґрунтів нафтопродуктами відбувається в результаті руху та ушкоджень військової техніки на суходолі. Спеціалісти стверджують, що у ґрунтах, насичених паливно-мастильними матеріалами, спостерігається зниження водопроникності, витіснення кисню, порушення біохімічних та мікробіологічних процесів. Це призводить до погіршення водного та повітряного режимів, порушення кругообігу поживних речовин, а також втрати кореневого живлення рослин, зупинки їхнього росту та розвитку, що в результаті може спричинити загибель рослин [19].

Вже зараз важливо розробляти плани щодо того, як швидше відновити нашу землю після завершення війни. Очевидно, що вирощування будь-яких культур на таких ґрунтах буде неможливим на тривалий період через очікуване значне хімічне забруднення ґрунтів та водоймищ. Після війни важливо впровадити ефективну систему моніторингу стану довкілля, яка дозволить точно визначити обсяг завданої шкоди природі. Це сприятиме прийняттю найефективніших заходів для запобігання подальшого погіршення ситуації та відновлення екосистем до безпечного стану як для людей, так і для дикої природи [19].

Дослідження наслідків такого забруднення для здоров'я є і хоча вони взагалі відносяться до індивідів, вже існують докази його негативного впливу. Встановлено, що важкі метали можуть сприяти порушенню роботи нервової системи чи системи кровотворення, а деякі з них можуть викликати канцерогенний ефект. Забруднення важкими металами також може становити загрозу для вагітних жінок та дітей. Наприклад, вплив високого вмісту барію, молібдену, кобальту та кадмію у Секторі Гази в Палестині пов'язаний із

збільшенням випадків передчасних пологів та вроджених вад у новонароджених [38].

Що діється з ґрунтами в потерпілих українських громадах – приклад з Харківщини та Донеччини. Для глибокого вивчення наслідків поточної війни для ґрунтів України, науковці провели дослідження стану ґрунтів у двох громадах: Вільхівській біля Харкова та Сартанській, яка розташована неподалік Маріуполя і зараз тимчасово окупована. Під час активних бойових дій навесні 2022 року дослідники використовували високоточні супутникові знімки для відстеження маневрів військ, вибухів, обстрілів та інших військових дій, які можуть призвести до шкоди. Крім того, вони провели аналіз проб ґрунту в лабораторіях. У одній громаді проби збирали власноруч, а в іншій зразки були надіслані українським військовим ще до окупації [38].

Вільхівська громада сильно постраждала від механічного та хімічного впливу, у той час як Сартанська громада зазнала значної шкоди від вибухів термобаричних боєприпасів. Обстріли такими снарядами викликають величезні полум'яні вибухи, які руйнують як поверхневі, так і ґрунтові екосистеми. Ці обстріли призводять до різкої зміни температур та порушення водного балансу. Крім того, вони розпилюють у повітрі запальні речовини, які вибухають, утворюючи полум'я та завдаючи шкоди всьому живому. Для ґрунтів це становить небезпеку не лише через пожежі, але й через інші впливи [15].

Через різку зміну температур порушується тепловий і водний режими, що шкодить родючості та здатності ґрунтів відновлюватися. Втрати азоту при спалювання 1 га зернових становлять від 20 кг, а втрата вуглецю – до 3000 кг/га [38]. Оцінка ділянок та рекомендації з їх відновлення зображено на рис. 1.1[3].

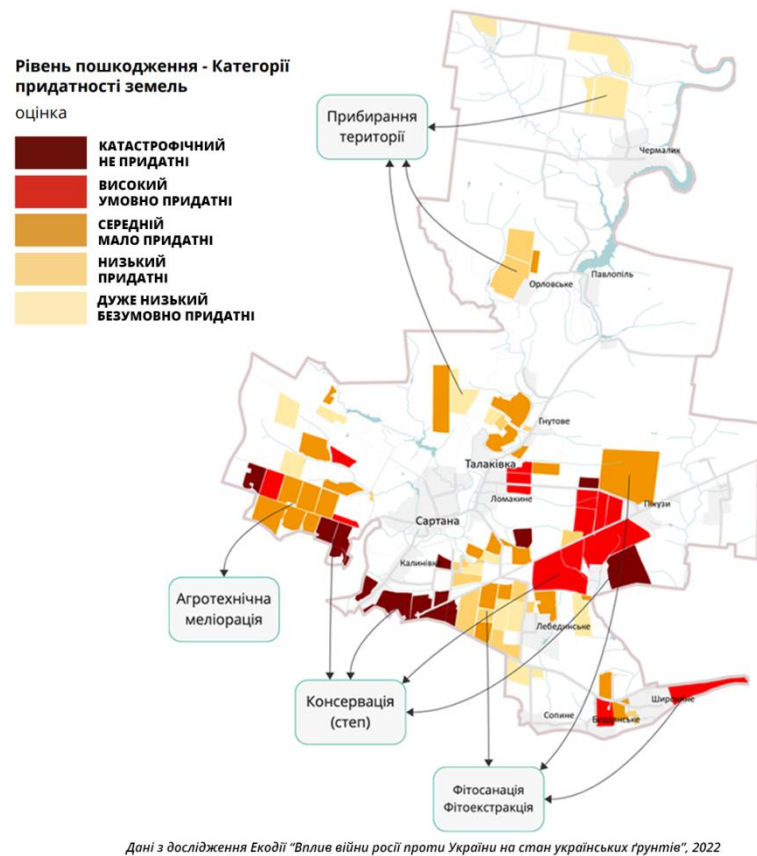


Рисунок 1.1 – Оцінка ділянок та рекомендації з їх відновлення.
Інфографіка з дослідження Екодії [3]

Аби проаналізувати, наскільки пошкоджені ґрунти, науковці оцінювали тип та ступінь забруднення на кожній окремій ділянці. На основі цих даних далі визначали рівень їх придатності та найоптимальніші шляхи відновлення. Деякі виявилися цілком придатними та потребували лише прибирання. Інші ж постраждали настільки, що вести на них будь-яку діяльність найближчим часом буде неможливо [15].

Висновок до розділу 1

Початок повномасштабного вторгнення Російської Федерації проти України 24 лютого 2022 року призвів до небаченої шкоди природному середовищу країни. Росіяни спрямовують свої зусилля не лише на українське населення, але й на природу. Бойові дії на території України впливають на якість повітря, забруднюють ґрунти та водойми, а також завдають шкоду

врожаям. Це створює загрозу для здоров'я нації, а в довгостроковій перспективі може призвести до значних екологічних руйнувань в екосистемі всієї Східної Європи. Зокрема, навколишнє середовище країн Чорноморського регіону, розташованих у непосредній близькості до України, найбільше страждає від цього військового конфлікту.

Починаючи з моменту виникнення військової агресії з боку Росії, понад 15 мільйонів гектарів землі опинилися в зоні бойових дій. Майже весь спектр ґрунтів України відчув наслідки конфлікту, включаючи дерново-підзолисті та дернові опідзолені ґрунти на півночі країни та темно-каштанові і каштанові солонцюваті ґрунти на південному заході, як повідомляє Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського.

Частка чорноземів та близьких до них чорноземоподібних ґрунтів в Україні становить 71%. Зокрема, типи: опідзолені, типові, звичайні, південні, а також близькі до них за особливостями акумуляції органічного вуглецю - лучно-чорноземні, лучні, темно-каштанові та темно-сірі опідзолені ґрунти. Частка українських чорноземів серед європейських становить 30%, світових - 9%.

За площею ґрунти, які постраждали від війни, розподіляються таким чином: чорноземи звичайні (5,0 млн. га), чорноземи південні (2,1 млн. га), чорноземи типові та опідзолені (1,9 млн. га), лучні та лучно-чорноземні ґрунти (0,9 млн. га), темно-каштанові ґрунти (0,9 млн. га) та інші.

РОЗДІЛ 2

ВПЛИВ РОСІЙСЬКИХ АВІАУДАРІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ УКРАЇНИ

2.1 Загальні відомості про агресію РФ в Україні

Своєю військовою агресією Росія спровокувала першу континентальну війну в Європі в XXI столітті та порушила систему колективної світової безпеки, яка була встановлена після Другої світової війни. Знову з'явився режим, що прагне силової ревізії кордонів і націлений на новітній тоталітаризм. Цей режим отримав назву «рашизм» через його псевдоідеологію, яка комбінує елементи фашизму, більшовизму, нацизму та євразійства, а також реваншизму та ксенофобії, приховуючись за "православ'ям" та "величчю російської культури" [2].

Повноцінне вторгнення російських військ в Україну остаточно відкрило справжнє обличчя агресивного путінського режиму, який протягом 9 років вдалявся від своєї справжньої природи, видаючи себе за "миротворця" та "третю сторону" у конфлікті на сході України. Режим розповсюджував дезінформацію та брехню щодо "Донецької та Луганської народних республік", хоча насправді ці території перебувають під окупацією Москви та контролем окупаційних режимів у Донецькій та Луганській областях України. Путін намагався переконати світ, що в Україні триває "громадянська війна", проте тепер ця ілюзія розвіяна» [2].

Протягом останніх 30 років Російська Федерація систематично підтримувала свої імперські амбіції, які постраждали внаслідок розпаду Радянського Союзу, і розробляла стратегії для відновлення імперського проєкту. Вона впроваджувала військові спецоперації під різними позначеннями, такими як "інтернаціональна допомога", "примус до миру", "внутрішній громадянський конфлікт", "операція з повернення до складу Росії", "визволення" та "спеціальна військова операція" [2].

Її метою є не просто загарбання територій, а знищення нашої національної ідентичності, геноцид українського народу [39].

Російська держава та ідеологія рашизму, що проголошується російським політичним устроєм, офіційно відкидає ідею існування українців як самостійної нації. Ті, хто висловлює незгоду з цією позицією, стикаються з можливістю фізичного утискання [40].

На тимчасово окупованих територіях України російська сторона втілює найжахливіші методи нацизму, здійснюючи масові розстріли, депортації, знущання з мирного населення, свідоме пограбування та розкрадання особистого майна і цінностей. Події, такі як різанина в Бучі, події в Ізюмі та масове вбивство людей у Маріуполі, стали жахливим виявом геноцидальної політики, що втілюється Москвою. Злочини, вчинені російськими окупантами в Україні, такі як військові злочини, акти насильства та зґвалтування, викликали шок у світі [40].

Шляхом руйнування енергетичної інфраструктури, російські терористи намагаються спровокувати гуманітарну катастрофу та загострити суспільний хаос в Україні, спричинити економічні труднощі та призвести до знищення міських житлових зон [40].

Розгортання повномасштабного нападу спричинило прискорення консолідації української нації. Національна єдність стала ключовим елементом успішного протистояння. Агресію російських військ вдалося зупинити завдяки спільним зусиллям українців, які вийшли на захист держави в складі Збройних сил України, Національної гвардії України та широкого волонтерського руху. Перемога України є гарантією світової стабільності [40].

Явним та брутальним способом, намагається розірвати міжнародний порядок, побудований на принципах правової держави, розгорнути спільноту демократичних країн та повернути світ назад до епохи імперій, сфер впливу та колоніальних конфліктів [40].

З 2014 року, від початку агресії проти України, росія цинічно порушила майже 400 різних договорів міжнародного права, серед них і Конвенція ООН про ліквідацію всіх форм расової дискримінації [40].

Замість того, щоб дотримуватися принципів правової справедливості, Москва намагається встановити світовий порядок на основі сили. Реалізація такого російського сценарію неодмінно призведе до хаосу, війн, конфліктів та глобальної нестабільності в усьому світі. Ураховуючи глобальні виклики, такі як зміна клімату, обмежені ресурси та проблеми з продовольством, путінський сценарій може поставити людство на межу катастрофи. Тому міжнародне співтовариство повинно об'єднатися, щоб протистояти впливу Росії і запобігти його негативним наслідкам [2].

Героїчний опір українців визначається не тільки боротьбою за фізичне виживання та свободу Українського народу, але й захистом їхнього європейського вибору, ідентичності та цінностей, які становлять частину європейських цінностей. Українці несуть важкі втрати в ім'я вільної, демократичної Європи [2].

Українці вистояли й довели свою спроможність перемагати російську військову агресію. У лютому 2022 року чимало політиків на Заході були переконані, що ми не вистоїмо проти цієї навали. Але за рік великої війни Збройні сили України захистили Київ, вигнали окупантів з півночі України, провели успішні Харківську та Херсонську наступальні операції [2].

Сучасна Україна успішно відстоюється від російської збройної агресії завдяки координації зусиль на військовому, дипломатичному та інформаційному фронтах, а також отримує значну підтримку з боку міжнародного співтовариства. Наша боротьба буде тривати, поки кожен сантиметр української землі не буде звільнений від окупації. Тому важливо, щоб наше суспільство залишалось єдиною силою для перемоги над агресором і відбудови демократичної правової держави в спільноті європейських народів [2].

Повномасштабне вторгнення поетапно за матеріалами Генерального штабу ЗСУ.

I етап: 24 лютого – квітень 2022 року

24 лютого 2022 року близько 4-ї години президент РФ Володимир Путін оголосив про початок «спеціальної воєнної операції», метою якої він назвав «демілітаризацію і денацифікацію України». За кілька хвилин російські ракети атакували українські аеродроми та військові об'єкти по всій Україні, почалося відкрите збройне вторгнення росіян із території Білорусі та тимчасово окупованого Криму. Російсько-українська війна, розпочата РФ у 2014-му, перейшла в нову гостру фазу.

Повномасштабне вторгнення військ противника до України охопило численні напрямки, що призвело до формування кількох операційних зон: Північно-Західної, Східної та Південно-Західної [2].

II етап: травень – серпень 2022 року

Після провалу первинного задуму щодо швидкого прориву та захоплення України, противник перегрупував війська та продовжив наступ на кількох напрямках. Сили оборони України перейшли до стабілізаційних заходів, а ведення бойових дій звузилося до двох операційних зон – Східної та Південно-Західної [2].

На цьому етапі варто згадати й бойові дії на Лиманському, Авдіївському та Новопавлівському напрямках [2].

III етап: вересень – грудень 2022 року

Ворог втратив ініціативу і змушений був застосовувати радикальні заходи, щоб утримати своє положення на окупованих територіях. Зусилля військово-політичного керівництва України спрямовані на створення умов для визволення тимчасово окупованих територій і на накопичення ресурсів для подальшої наступальної операції [2].

2.2 Аналіз типів бойових дій та боєприпасів, що застосовують в Україні під час війни, та їх вплив на екологічний стан ґрунтів.

Які заборонені методи ведення бойових дій Росія використовує у війні проти України?

Договірні та звичаєві норми міжнародного гуманітарного права забороняють низку окремих методів ведення бойових дій. Серед них:

- вчинення невибіркового нападу;
- використання живих щитів;
- віддавати наказ не лишати нікого в живих;
- нападати на осіб, позбавлених боєздатності, – поранених, хворих, таких, що здаються в полон;
- використання голоду серед цивільного населення як методу ведення війни;
- нападати, знищувати, вивозити чи робити непридатними об'єкти, необхідні для виживання цивільного населення;
- використання військових знаків розрізнення ворога тощо.

Наразі є достатня кількість документально підтверджених випадків застосування Російською Федерацією низки заборонених методів ведення бойових дій [60].

Так, наприклад, одним із заборонених методів ведення бойових дій, який широко застосовується Росією від початку її повномасштабного вторгнення на територію України, є використання військової форми одягу, військових знаків розрізнення та прапорів як Збройних сил України, так і Державного прапора України [60].

Так само систематично та на постійній основі збройні сили Російської Федерації вчиняють невибіркові напади, про що неодноразово повідомляли представники як міжнародних організацій, так і державних органів України.

Крім цього, Російська Федерація багато разів використовувала жителів України як людські щити під час планування та виконання

наступальних операцій на її території. Ведучи не лише бойові дії, а й справжню "кампанію терору", це було офіційно заявлено представниками високопосадових осіб інших країн, зокрема, прес-секретарем Державного департаменту США, Недом Прайсом [60].

Заборонено вести війну в обманливий спосіб, такий як використання віроломства. Це означає вчинки, спрямовані на виклик довіри противника та переконання його, що він має право на захист. Такі дії включають симуляцію наміру провести перемовини під прапором перемир'я або симулювання капітуляції; імітацію виходу з ладу через поранення або хворобу; претензію на статус цивільної особи або некомбатанта; вигляд володіння захисним статусом за допомогою знаків, емблем або форменої одежі Організації Об'єднаних Націй, нейтральних держав, які не приймають участь у конфлікті.

Наразі є достатні підстави вважати, що під час повномасштабного вторгнення в Україну Російська Федерація підступно застосовує низку різноманітних заборонених методів ведення війни [60].

Згідно з інформацією, наданою Міністерством оборони, протягом 20 днів військового вторгнення Росії на територію України було випущено близько 900 ракет різних калібрів та типів. Противник атакує як цивільні об'єкти, так і військову інфраструктуру, такі як аеропорти та сховища боєприпасів у Краснопіллі, Кривому Розі, Дніпрі та Житомирі, аеродроми та їхні паливні цистерни в Гостомелі, Чугуєві, Чорнобаївці, Мелітополі, Івано-Франківську, Миколаєві, а також морські об'єкти. Однак більшість обстрілів спрямована на населені пункти та промислові об'єкти в них. Унаслідок детонації ракет та артилерійських снарядів виникає ряд хімічних сполук, таких як чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO₂), водяна пара (H₂O), бурий газ (NO), закис азоту (N₂O), діоксид азоту (NO₂), формальдегід (CH₂O), пари ціанистої кислоти (HCN), азот (N₂), а також значна кількість токсичних органічних сполук, які окислюються навколишнім ґрунтом, деревиною, рослинністю та будівлями [62].

Під час вибуху всі речовини проходять повне окиснення, а продукти хімічної реакції вивільняються в атмосферу. Основні з них — вуглекислий газ і водяна пара — не є токсичними, а шкідливі в контексті зміни клімату, оскільки обидва є парниковими газами. В атмосфері оксиди сірки та азоту можуть спричинити кислотні дощі, які змінюють рН ґрунту та викликають опіки рослин, до яких особливо чутливі хвойні. Кислотні дощі мають негативний вплив і на організм людини, інших ссавців та птахів, впливаючи на стан слизових тканин та органів дихання [62].

Фрагменти металевих снарядів, які потрапляють у природне середовище, також є потенційно небезпечними та не повністю інертними. Чавун з додаванням сталі є найбільш поширеним матеріалом для виготовлення оболонок боєприпасів та містить не лише стандартні компоненти, такі як залізо та вуглець, але і домішки, такі як сірка та мідь. Ці хімічні елементи можуть потрапляти в ґрунт і можуть мігрувати до ґрунтових вод, що, в свою чергу, може призвести до їх потрапляння в харчові ланцюги, впливаючи як на тварин, так і на людей [62].

Військові дії призводять до розгортання широкомасштабних та тривалих процесів деградації природного середовища. Вплив цих дій настільки руйнівний, що його негативні наслідки провокують послідовні процеси, призводячи до повної деградації ґрунтових ресурсів. Ця загроза вимагає детального аналізу порушень ґрунтів та розробки програмних заходів з рекультивації земель, що постраждали від воєнних дій.

Україна представляє собою регіон Європи, де існує воєнно-техногенна напруга зі значущими впливами на навколишнє середовище, зокрема, зі значними пошкодженнями ґрунтового покриву. Ці пошкодження можна розділити на дві групи: первинні та вторинні. Первинні включають прямі механічні деформації ґрунтового покриву, тоді як вторинні виникають внаслідок невиконання стратегічних заходів з відновлення після війни, такі як затоплення, засолення, ерозійні процеси,

пірогенна деградація, дегуміфікація і таке інше. Оскільки відсутні комплексні дослідження та система екологічного моніторингу земель у зонах воєнних дій, що враховували б рівні забруднення, існує зростаюча загроза втрати ґрунтових ресурсів України [53].

Руйнування структури ґрунту відбувається в результаті зсуву одного шару частинок відносно іншого під дією воєнно-техногенного навантаження. Наслідком цього є втрата щільності зв'язку між частинками ґрунту, що призводить до повного розрідження (руйнування структури). Утворення більш щільної структури частинок ґрунту відбувається внаслідок опускання ґрунтових агрегатів в нижні шари розрідженої субстанції. В результаті ущільнення ґрунтів погіршується адаптація рослин до змін клімату, посушливих умов і нестачі вологи. Через пошкодження ґрунтового покриву також утворюються значні за площею ареали дефляції та вторинного пилового підйому, що розповсюджуються на значні території [53].

Створення кратерів під час військових операцій, зокрема при ракетних атаках та використанні дронів, обумовлене ефектом вибуху. Внаслідок вибуху відбувається швидке вивільнення енергії, що формує кругову ударну хвилю, яка оточує точку удару і призводить до утворення воронки. Вибухова хвиля викликає руйнування ґрунтових шарів з наслідками для повітряно-водного режиму. Внаслідок вибуху частина ґрунту видаляється, створюючи котлован. Залишений на місці удару ґрунт стає предметом турбулентності, динамічного ущільнення та вмісту металевих уламків з залишками токсичних речовин від вибуху. Воронка вибуху стає областю для локалізації опаду з подальшими процесами вивітрювання та вилуговування [53].

Механічний вплив, окрім первинних деформацій ґрунтового покриву, відображається в забрудненні ґрунтів продуктами бойової діяльності з металевими відходами ракет [53].

Унаслідок бойових дій, спалахування пожеж стає первинним наслідком військово-техногенного впливу, що подальше спричиняє процеси водної та

вітрової ерозії. Зазвичай, на територіях, які зазнали впливу пожеж, відбувається вивітрювання гумусових речовин і формується гідрофобний шар, що обмежує проникнення води [53].

Протягом тривалої військової діяльності утворюються місцеві геохімічні аномалії внаслідок різноманітних токсичних речовин, включаючи вибухові матеріали, що може вести до накладення на необмежений термін заборони на використання земель. В ці геохімічні аномалії військово-техногенного походження входять залишки вибухових речовин, паливних, мастильних матеріалів, важких металів та їхніх сполук, а також радіоактивні речовини. Важливою категорією фізико-хімічних небезпек є вибухонебезпечні матеріали.

Вибухові речовини також відіграють значну роль у викидах металів у ґрунтове середовище. Було виявлено, що частки, викинуті від ракетних ударів, містять високий рівень свинцю (Pb) і міді (Cu). Первинні вибухові речовини часто використовуються для запалювання вторинних вибухових речовин, таких як тротил, гексоген, октоген і тетрил [53].

Важкі метали займають значне місце у забрудненні ґрунтів. Згідно з результатами досліджень зон бойових дій, виявлено високий рівень свинцю, міді, миш'яку, цинку, хрому, кадмію, молібдену, барію, калію, магнію та вольфраму в ґрунтах. Ці елементи становлять домінуючий спектр воєнно-техногенного забруднення і служать ключовими індикаторами для прогнозування змін в екологічному стані територій з забрудненими ґрунтами та прилеглих до них областей [53].

Тепловий вплив обумовлений локальним підвищенням температури внаслідок викидів нагрітого повітря, порохових газів, газоподібних продуктів вибухового перетворення боєприпасів. Тепловий вплив негативно впливає на ґрунтовий покрив, викликаючи порушення термічного та водного режиму, зміни гранулометричного та агрегатного складу. Зміна термічного режиму ґрунту впливає на ґрунтові організми, змінюючи їхню оксигенацію та призводить до зниження біорізноманіття. Нормативів загального характеру для цього виду впливу не розроблено [53].

Сучасна технологія використовує спеціальні верстати гарячого видавлювання для виготовлення металевої оболонки снаряда зі спеціально підібраної сталі, вибухових речовин для спорядження снаряда [41].

Під час виконання кожного вогневого завдання відбувається забруднення ґрунту продуктами вибуху та уламками боєприпасів. Характер розповсюдження і вплив цих елементів на навколишнє середовище значною мірою залежать від швидкості вибухового перетворення вибухової речовини і маси вибухової речовини снаряду [42].

Можна виокремити три види вибухових процесів:

- **Процес горіння** протікає з незначною швидкістю – від сантиметра до декількох метрів на секунду, – і на відкритому повітрі не супроводжується значними механічними діями [3].

- **Вибух** протікає зі швидкістю декілька тисяч метрів на секунду. Він характеризується різким стрибком тиску в місці вибуху та ударом газів по навколишньому середовищу, що викликає сильну деформацію предметів та середовища на невеликій відстані [3].

- **Детонація** - це вибух, який швидко і постійно поширюється з максимально можливою швидкістю для конкретної вибухової речовини. Цей процес досягає максимальної руйнівної сили вибуху і супроводжується відповідною трансформацією навколишнього середовища. Одним із факторів вогневого впливу, який може впливати на процеси поширення забруднення, є трансформація середовища в момент вибуху снарядів [3].

Оскільки більшість чистих бризантних вибухових речовин є дуже чутливими до механічних впливів, для оснащення сучасних боєприпасів, використовуваних при проведенні бойових стрільб на тренуваннях, застосовують сплави з вибухових речовин. Це значно підвищує потужність вибухових процесів і, відповідно, їхній негативний вплив на навколишнє середовище. Наприклад, сплави тротилу з гексогеном (ТГ) та алюмінієм (ТГА) мають підвищену фугасність, тому їх використовують як заряди для авіабомб,

бойових частин керованих та некерованих ракет, а також для артилерійських снарядів великих калібрів [3].

У снарядах для генерації реактивної сили в ракетах використовують порохи як металеві компоненти [3].

Порох – це тверда система, яка містить органічні і неорганічні сполуки, здатні стійко (без переходу у детонацію) горіти у широкому інтервалі зовнішнього тиску (0,1—1000 МПа), виділяючи велику кількість газів з температурою 1200—3700 °С [43].

Сучасний порох буває димний і бездимний. Під час горіння димного виділяється сажа (чорний порох), а з бездимного – газ [44].

Сучасні ракетні порохи включають в себе нітрати та перхлорати, а також пластмаси та смоли. Наприклад, бездимний порох включає у свій склад водень та вуглеводні, що перевищує необхідний обсяг для утворення кінцевих продуктів (води та вуглекислого газу). Таким чином, близько 1/3 газоподібних продуктів горіння порошку складає окис вуглеводню, який виявляється сильнотруною отрутою [3].

У складі бездимного порошу, який містить пальне (водень і вуглеводні), кількість цих компонентів перевищує необхідну для їх з'єднання з окислювачем і створення кінцевих продуктів, таких як вода та вуглекислий газ. Таким чином, близько 1/3 продуктів горіння в порохових газах становить окис вуглеводнів, який визначається як сильний отруйний компонент [3].

Під час вибуху та горіння порохів і вибухових речовин виникає значна кількість газів, які містять різні компоненти, такі як азот, сажа, вуглеводні, свинець, двоокис марганцю, ідіотол та інші. До 30% цих газів розсіюється в повітрі, а більша частина, особливо важкі фракції та метали, осідає на поверхні ґрунту. З огляду на те, що у продуктах вибуху може міститися до 15% водяних парів, іони важких металів та дрібнодисперсні речовини можуть потрапляти у ґрунт у вигляді водяних розчинів [3].

Слід відзначити, що існують три основних групи хімічних реакцій вуглеводнів:

- **Заміщення атомів** вуглецю у бензольному кільці на радикали призводить до утворення гомологів бензолу, реакцій нітрування, сульфування.
- **Приєднання** галогенів та водню призводить до перетворення ароматичних вуглеводнів у карбоциклічні, які не мають ароматичного характеру [3].

На відміну від ненасичених сполук типу алкенів і алкінів, бензол дуже стійкий проти окислення, важко вступає в реакції приєднання [45].

- **Окислення** ароматичних вуглеводнів в ґрунті найбільшу роль грає розпад під впливом бактерій, грибків та дріжджів. Мікробний розпад проходить, як правило, внаслідок гідроксилювання бензольного кільця. Деякі організми здатні повністю розкласти низько конденсовані ароматичні вуглеводні на вуглекислий газ та воду [3].

Основними результатами хімічних перетворень у нітроцелюлозних порохах є виділення CO_2 , CO , H_2 , N_2 і пари H_2O . В окремих випадках можуть утворюватися додаткові продукти, такі як CH_4 і оксиди азоту NO_2 , NO_3 , зазвичай у невеликих кількостях при умовах звичайного горіння) [3].

Під час горіння комбінованих порохів виникають CO_2 , CO , H_2 , H_2O і ряд речовин, що зумовлені властивостями окислювача та пальнозв'язуючих компонентів. Наприклад, внаслідок взаємодії з перхлоратами можуть утворюватися хлориди (HCl і Cl_2), а з використанням тіоколу можуть виникати сіркозв'язані сполуки: SO_2 , SO_3 , H_2S [3].

Склад утворених продуктів вибухового розкладу пороху залежить від характеру та умов його горіння. У випадку великого кисневого балансу горіння пороху, у продуктах переважають CO_2 і H_2O , які є результатами повного окиснення. Навпаки, при невеликому кисневому балансі пороху переважають продукти неповного згорання, такі як CO і H_2 [3].

Існують такі піротехнічні засоби, як освітлювальні та сигнальні, які включають в себе фотоавіабомби, фотоспалахи, фотопатрони - пристрої з зарядом з фотоосвітельного складу, які застосовуються як штучних джерел

світла при нічному повітряному фотографуванні для розвідки або контролю результатів бомбометання і т. п. [61].

При проведенні бойових стрільб основним джерелом забруднення є продукти вибуху, що утворюються в результаті розриву снарядів [42].

У всіх видів амуніції, використовуваної для вогневих операцій (фугасні, осколково-фугасні, бронебійні, кумулятивні снаряди), спостерігається формування ударної хвилі та продуктів вибуху, які випромінюються у навколишнє середовище. Взаємодія снаряду з перешкодою та вибух, а також формування ударної хвилі відбуваються практично миттєво, протягом 10-4 – 10-5 секунд. Розмах руйнування зростає із збільшенням кількості вибухової речовини у снаряді. Наприклад, для снарядів калібрів 122 мм (високоточна ракета 122 мм РСЗВ) та 152 мм, які містять відповідно 4,5 кг та 8,4 кг вибухової речовини, радіус руйнування в ґрунті середньої щільності складає 1,65 метра та 2,03 метри [3].

Отже, внаслідок проведення бойових завдань відбувається деформація ґрунту в усіх напрямках розповсюдження ударної хвилі. Тому вже на глибині до 2 м на території проведення стрільб порушується однорідність ґрунту і відбувається утворення тріщин [3].

Основним джерелом забруднення є продукти вибуху, що складаються з дрібнодисперсних часток та іонів важких металів, які проникають у ґрунт у супроводі води [3].

Оскільки більшість важких металів дуже погано розчиняються у воді то вони разом з водою змиваються в ґрунти [42].

ВР поліляють на три групи: ініціюючі, бризантні та металеві ВР, або порохи [47].

Піротехнічні суміші поділяють на дві групи: хлоратні й нітратні. Основою хлоратних сумішей є подвійна суміш хлорату калію $KClO_3$ з горючим (смола, вуглеводні), який є токсичним, тому що сприяє розкладу еритроцитів. Ця суміш дає інтенсивне горіння з утворенням білого полум'я. Для забарвлення додають до неї відповідну сіль: натрію – Na_2CO_3 , $Na_2C_2O_4$, барію - $Ba(ClO_3)_2$,

стронцію – SrCO_3 , SrC_2O_4 , $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ та міді – CuCNS . Основними компонентами сигнальних сумішей на основі нітратів є: $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ + магній + флегматизатор, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ + магній + флегматизатор. Всі основні їхні компоненти є токсичними [48].

Токсичні гази можуть утворюватися також внаслідок хімічної взаємодії продуктів вибуху з природним оточуючим середовищем, наприклад, атмосферним повітрям. В цьому процесі вуглекислий газ (CO_2) може переходити у небезпечний оксид вуглецю (CO). Чадний газ, або оксид вуглецю, широко поширений там, де відбувається неповне згоряння вуглецевмісних речовин. Гази, що утворюються під час вибуху різних матеріалів, містять різні кількості CO : 9% при вибуху димного пороху, 57% при вибуху тринітротолуолу, 61% при вибуху мелініту, 64% при вибуху пікринової кислоти. Оксид вуглецю (CO) і оксиди азоту (NO , NO_2) є отрутою для крові. Діоксид сірки (SO_2) подразнює дихальні шляхи і може спричинити судоми. Сірководень (H_2S) — потужна нервова отрута, яка може призвести до зупинки дихання та смерті [3].

З наданих відомостей видно, що більшість забруднюючих речовин, що виникають в результаті бойової діяльності, представляють собою газоподібні, розчинні або тверді дрібнодисперсні компоненти [3].

2.3 Типи порушення екологічного стану ґрунтів у зв'язку із бойовими діями

Наслідки бойових дій для навколишнього середовища часто недооцінюються, оскільки втрати людей та інфраструктури, звичайно, переважають усе інше в короткостроковій перспективі. Однак погіршення деяких важливих властивостей ґрунту може бути тривалим і настільки значним, що може суттєво знизити продуктивність та інші важливі функції ґрунту. Конфлікти давнини в основному викликали фізичну переробку ґрунтів на полях битв або для оборонних цілей. Зараз же зростають ризики повного знищення хімічною і біологічною зброєю у зонах ведення бойових дій [49].

Навпаки, ґрунти виявляють здатність до відновлення своїх функціональних характеристик та підвищення продуктивності, що залежить від типу ґрунту, характеру впливу воєнно-технічних чинників та ландшафтних умов території. Процеси відновлення та навіть підвищення педогенезу часто сприяють ефективному знищенню слідів воєнно-технічного навантаження. Гіпотеза про гетерогенне порушення внаслідок впливу військово-технічних факторів передбачає, що максимальне біорізноманіття спостерігається там, де відбуваються різні види та різні за інтенсивністю порушення, які розповсюджуються в ландшафті з різною тривалістю та масштабом. Ця гіпотеза стверджує, що ландшафт, що виник з наслідків гетерогенного порушення, створює середовище, сприятливе для існування видів, які відзначаються стійкістю до таких порушень, а також для видів, які з'явилися в результаті цих порушень [3].

Оцінка впливу військово-технічного навантаження на ґрунти поствоєнних ландшафтів проводиться шляхом визначення рівнів інтенсивності бойових дій з урахуванням різних типів забруднень, які виникають в результаті бойових подій. Одним з завдань еколого-геохімічної оцінки ґрунтів на територіях, які були зазначені бойовими подіями, є ідентифікація складу та структури факторів воєнно-технічного впливу, а також встановлення причинно-наслідкових зв'язків між цими факторами [3].

2.3.1 Механічний вплив та наслідки для ґрунту

Механічний вплив на ґрунтовий покрив при воєнно-техногенному навантаженні полягає у його механічній деформації під час пересування колісної та гусеничної військової техніки, безпосереднього руху військ, будівництва приповерхневих та підземних споруд, бомбтурбації, розмінування територій та будівництва оборонної інфраструктури. Механічний вплив супроводжується хімічним забрудненням ґрунтів, що призводить до безстрокового виведення земель з експлуатації та заборони на їхнє використання [25].

Руйнування структури ґрунту відбувається через зсув одного шару частинок щодо іншого під впливом воєнно-техногенного навантаження, що призводить до втрати щільності зв'язку між частинками ґрунту та повного розрідження структури. Формування більш щільної структури частинок ґрунту відбувається, коли ґрунтові агрегати опускаються в нижні шари розрідженої субстанції [3].

Ущільнення ґрунтів призводить до погіршення здатності рослин адаптуватися до змін клімату, посушливих умов і дефіциту вологи. У той же час ущільнений внаслідок механічного впливу ґрунт стає більш стійким до подальших воєнно-техногенних впливів в умовах постійної нестачі продуктивної вологи [3].

За даними НААН на природних ділянках і на території сільськогосподарських земель внаслідок розривів снарядів, та будівництва різноманітних укріплень та фортифікацій відбувається значне пошкодження ґрунту та рослинності. Дослідження постраждалих угідь низки населених пунктів Донецької області, у воронках від артилерійських снарядів і в безпосередній близькості від них показали перевищення допустимої фонові норми у декілька разів таких важких металів як марганець, мідь, залізо, свинець, кадмій, хром, олово, галій, нікель, титан, ітрій, цирконій, кобальт, стронцій і цинк [25].

Здійснені дослідження на територіях, які були зазначені у бойових діях, встановили, що вміст валових форм важких металів у пробах пошкодженого ґрунту перевищує фонові значення від 1,1 до 15,5 разів. Найбільше перевищення відзначено для свинцю, в той час як найменше - для заліза. Перевищення гранично допустимих концентрацій марганцю виявлено в двох пробах (від 2,3 до 2,4 разів); щодо цинку, перевищення відзначено в усіх 10 пробах ґрунту (від 1,8 до 51 разу); свинцю - у 6 пробах (від 1,5 до 11,6 разів) [25].

Деформації поверхневого шару ґрунту, такі як перемішування його шарів, виникають при створенні фортифікаційних споруд, які можуть бути як на

поверхні, так і підземними (бліндажі, окопи, траншеї, тунелі, сховища паливно-мастильних матеріалів, сховища бойових матеріалів) [31] (див. рис. 2.1). Це призводить до активізації різних геоморфологічних явищ, таких як зсуви, заболочування, осідання ґрунту і т.д. Тому, при будівництві фортифікаційних споруд, слід враховувати глибину залягання ґрунтових вод та вологоутримання ґрунт [3].



Рисунок 2.1 – Приповерхнева фортифікаційна споруда – траншея поблизу ЗАЕС, Запорізька область [31]

Штучне водоспоживання ґрунту для утруднення руху противника є результатом навмисного заболочування, що визначається штучним впливом на кліматичні умови. Одним з визначних прикладів такої стратегії є операція "Попай", яку розробила армія США [3].

Під час війни у В'єтнамі американські військові здійснили операцію «Попай» — засівання хмар, спрямоване на продовження сезону мусонів у В'єтнамі [50].

У результаті кількість опадів збільшилася втричі вище за норму. Це призвело до затоплення полів із рисом та інших посівів культурних рослин, а також пошкодження стежки Хо Ши Міна, якою північно-в'єтнамські партизани постачали зброю і спорядження. Загалом американці використали під час операції понад 5,4 тис. тонн йодистого срібла [50].

Під час воєнних дій формування кратерів відбувається в результаті бомбардування. Вибухова дія спричиняє швидке вивільнення енергії, що породжує кругову ударну хвилю, що оточує точку удару, утворюючи воронку.

Вибухова хвиля призводить до руйнування послідовності ґрунтових горизонтів з очевидним порушенням повітряно-водного режиму. Внаслідок вибуху частина ґрунту видаляється, утворюючи котлован (Рис.2.2). Залишений на місці удару ґрунт піддається турбулізації, динамічному ущільненню та містить металеві уламки разом із залишками вибухових токсичних речовин. Воронка вибуху стає зоною, де відбувається локалізація листового опаду, активізуються процеси вивітрювання та вилуговування [3].

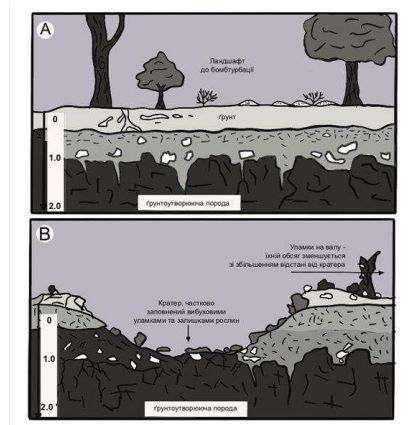


Рисунок 2.2 – Типовий кратер, утворений бомбардуванням [3]

У 2006 році американські вчені Джозеф Гупі та Рендалл Шетцль ввели термін «бомбтурбація» (ред. bomb + turbation, що означає перемішування шарів ґрунту внаслідок вибухів снарядів під час бойових дій) для опису впливу війни на ґрунт. Серед невидимої шкоди, воронки від бомб в корінних породах або шарах ґрунту можуть змінити глибину ґрунтових вод, позбавляючи рослинність джерела води, пишуть вони [51].

Цей вид пошкодження ґрунту отримав назву "бомбтурбація". Під час цього процесу відбувається перемішування генетичних горизонтів ґрунту, що викликає трансформацію мікрорельєфу та формування специфічних типів ландшафтів після війни. Відкладення поза межами безпосереднього обр'ю кратера настільки розсіяне, що його рідко вивчають [3].

Найбільші за розмірами фрагменти вибуху залишаються внизу кратеру або в основному тісно прилягають до нього. Розмір уламків зменшується пропорційно віддаленню від обр'ю кратера. Ці фрагменти відомі як "ковдра

викиду". Основні фрагменти розповсюджуються головним чином на відстані одного радіуса від краю кратера. Зі збільшенням відстані від обрїю вони стають більш неоднорідними [3].

Місця, які були піддані бомбардуванню, стають місцями накопичення води та органічних речовин. Вже невдовзі після формування кратеру або воронки вибуху з'являється гідрофільна рослинність, яка відрізняється від звичайного рослинного покриву дернових шарів і є першим проявом нового педогенезу. Однак, коли кратери формуються в областях з високим рівнем ґрунтових вод, що знаходяться близько до поверхні, розвиток ґрунту та рослинного покриву сповільнюються [3].

В областях бомбтурбації, де переважає поверхневе розташування ґрунтових вод, днища багатьох кратерів періодично опускаються нижче рівня ґрунтових вод на значну частину року. Тут вологість може заважати деяким довоєнним процесам розвитку ґрунту, проте водночас сприяє початку нових ґрунтових процесів, таких як оглеєння [3].

Оглеєння — це складний біохімічний відновний процес, який відбувається в анаеробних умовах за наявності органічних речовин і за участю анаеробних мікроорганізмів [11].

Механічний вплив, окрім первинних деформацій ґрунтового покриву, відображається в забрудненні ґрунтів продуктами бойової діяльності з металевими відходами гільз, осколками артилерійських снарядів. Значна частка забруднення припадає на вибухові речовини боєприпасів з випадковою детонацією під дією тиску (рис.2.3) [3].



Рисунок 2.3 – Забруднення ґрунтів продуктами бойової діяльності. Місто Краматорськ Донецька область [3]

Під час розмінування території відбувається руйнування гумусового горизонту, втрата фізико-хімічних властивостей ґрунту та зміни в гранулометричному та агрегатному стані. Це впливає на потенційну родючість та здатність ґрунту утримувати воду. Розміщення мін у майбутньому призводить до турбулентності ґрунту (рис. 2.4). Вибухова детонація забруднює ґрунт металевими фрагментами та залишками вибухової речовини. Операції з очищення від наземних мін часто є складними і високовитратними, тому в бідних країнах такі наслідки можуть розглядатися як абсолютна втрата ґрунтових ресурсів [3].

В результаті бойових дій виникнення пожеж є первинним наслідком воєнно-техногенного навантаження, що провокує в подальшому процеси водної та вітрової ерозії. Зазвичай на вигорілих ділянках спостерігається винесення гумусових речовин та утворення гідрофобного шару, який обмежує інфільтрацію води (рис. 2.5) [3].



Рисунок 2.4 – Території мінування. Чернігівська область [3]



Рисунок 2.5 – Горільник поблизу с. Куповате (Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник) [3]

Протягом періоду з 24.02.2022 по 01.04.2022, коли територія зони відчуження була під окупацією, зазнала значної шкоди природа. Пожежі,

ініційовані окупантами, призвели до пошкодження об'єктів живої природи на площі 14074 га. Після звільнення території виникли пожежі на площі 18132 га, які вирости до великих розмірів. Ці пожежі завдали шкоди природним об'єктам через забруднення території вибухонебезпечними матеріалами, ускладнюючи роботу пожежних служб і обмежуючи доступ до окремих територій. Серед пошкоджених екосистем виявлено 9553 га перелогів, 18626 га лісів, 1402 га боліт, 204 га плавні, 206 га згарищ та мертвих насаджень, а також інші екосистеми, меліоративні канали та покинуті населені пункти [52].

Природні зміни у кислотно-лужних властивостях ґрунтів на територіях, що були піддані пожежам, є повністю очікуваними. Ці зміни полягають у переході реакції рН від кислотної до нейтральної сторони, і це можна пояснити проникненням зольних водорозчинних сполук у ґрунтовий профіль та насичення поглинаючого комплексу лужноземельними елементами, що спричиняє зміну середовища [3].

Згідно з отриманими результатами ІСР-аналізу з індуктивно зв'язаною плазмою, у пробах ґрунту з горільнику в околицях с. Іловниця, що зазнали впливу пожежі, концентрації валових форм всіх досліджуваних техногенних металів мають підвищені значення порівняно з фоновим ґрунтами. Зокрема, вміст нікелю зріс в 4 рази, свинцю в 6 разів, цинку та міді в 3 рази. Дещо менший вміст концентрацій відзначено для ванадію та хрому [3].

Розповсюдженим явищем є виникнення потоків відходів та поверхневих зсувів. Додатковим негативним ефектом пожеж, незалежно від їхнього походження, є забруднення ґрунтів під час горіння токсичними сполуками, такими як поліароматичні вуглеводні [3].

2.3.2 Хімічний вплив та наслідки для ґрунту

Хімічний вплив воєнних дій призводить до зміни природних характеристик ґрунтового покриву через випуск забруднюючих речовин, що формуються при використанні військової техніки та зброї. Тривала воєнна діяльність може створювати місцеві геохімічні аномалії з різноманітним

спектром токсичних речовин, і це може визначити термін заборони на використання цих земель, не передбачений на певний строк [3].

До хімічного забруднення воєнно-техногенного походження входять такі складники, як пальне транспортних засобів, мастильні матеріали, розчинники, залишки вибухових речовин, дезактиваційні засоби, важкі метали та їхні сполуки, а також радіоактивні речовини. Серед речовин фізико-хімічного характеру, які представляють небезпеку, можна виділити вибухонебезпечні матеріали [3].

Прикладом хімічного забруднення є подія у Львівській області, яка сталася 25 квітня 2022 року близько дев'ятої ранку. Внаслідок ракетного удару стався вибух на тяговій підстанції залізничної станції «Красне». Про це повідомив голова військової адміністрації Львівщини Максим Козицький. За даними Козицького, одну ракету на території Львівщини знищили піді зенітних ракетних військ ППО «Захід» Повітряних Сил ЗСУ. Ракети летіли на захід України з південно-східного напрямку, російські війська випускали їх з літаків стратегічної авіації, ймовірно, Ту-95 [27].

Наслідком цього удару був витік масла для охолодження трансформаторів, який потрапив в ґрунти населеного пункту та річку Зубра.

Під час стрільби використовуються боєприпаси із різним складом пороху та вибухових речовин, під час горіння яких утворюються різні продукти, такі як азот, сажа, вуглеводні, свинець, двоокис марганцю та інші похідні, які мають негативний вплив на здоров'я людини та природне середовище. Наприклад, внаслідок вибуху 115 мм осколково-фугасного боєприпасу, спорядженого гексогеном, утворюється приблизно 4000 літрів газу, що містить продукти згоряння цієї вибухової речовини. До 30% цих газів розсіюється в повітрі, а решта (важкі фракції та важкі метали) осідає на земельну поверхню [3].

Вибухові речовини відіграють суттєву роль у викидах металів у ґрунтове середовище. Дослідження показали, що частки, викинуті під час артилерійських ударів, мають високий вміст свинцю (Pb) і міді (Cu), що може бути пов'язано з артилерійськими снарядами та стволами гармат. Гранати, що

використовуються вибухові речовини, також є значним джерелом високих концентрацій свинцю (Pb). Сучасні вибухові речовини або енергетичні матеріали представляють собою азотовмісні органічні сполуки, які мають високий потенціал самоокислення до утворення газоподібних молекул, таких як N₂, H₂O і CO₂. Вибухові речовини класифікують як первинні або вторинні в залежності від їхньої схильності до ініціації. Первинні вибухові речовини часто використовуються для запалювання вторинних вибухових речовин, таких як тротил, гексоген, октоген і тетрил [3].

Часто залишки боєприпасів містять вибухову речовину, у складі якої є важкі метали – нікель, вольфрам, олово, свинець алюміній, цинк.

Нікель утворює з міддю безперервний ряд твердих розчинів. Він, як і марганець, знижує електро- й теплопровідність міді. Проте, на відміну від марганцю, вплив нікелю на ці характеристики значно слабший [54].

Олово високо розчиняється в твердій міді. При евтектоїдній температурі 586°C гранична розчинність олова в міді становить 15,8%. Домішки олова також можуть бути присутні в твердому розчині міді при кімнатній температурі, що призводить до зменшення електро- та теплопровідності. Оскільки олово має високу розчинність та низьку температуру плавлення, воно, на відміну від свинцю та вісмуту, слабо впливає на мідь при обробці під впливом тиску [54].

Цинк, що міститься як домішки в стандартних марках технічної міді, незначною мірою впливає на електро- й теплопровідність і механічні властивості міді. Проте у виробках з високою електропровідністю міді, що працюють в умовах високого вакууму, цинк унаслідок високої пружності пари є шкідливою домішкою [54].

Свинець, подібно до вісмуту, майже нерозчинний у твердій міді і формує з нею легкоплавкий евтектичний сплав при 326 °C. Склад евтектичного сплаву в системі Cu-Pb практично ідентичний зі складом чистого свинцю (99,96% Pb). Таким чином, при невеликому вмісті свинцю в границях зерен утворюються евтектичні включення. Свинець не спричиняє холодоламкості міді через свою

пластичність, проте через низьку температуру плавлення евтектичного сплаву виникає гарячолоамкість. Завдяки дуже обмеженій розчинності свинцю в міді, його вплив на електропровідність та теплопровідність міді є непомітним, але помітно поліпшує оброблюваність міді під час різання [54].

Окремо звернемо увагу, що розмінування територій має також негативний вплив — зазвичай руйнується гумусовий горизонт, втрачаються фізико-хімічні властивості ґрунту та відбуваються зміни гранулометричного та агрегатного стану. Зі свого боку це впливає на родючість та водоутримувальну здатність ґрунту [17].

Забруднення може бути спричинено детонаціями вибухонебезпечних предметів у ґрунті або витокком гідравлічних рідин та палива, які можуть виникнути під час заправки машин для розмінування [3].

Використання фосфорних бомб призводить до хімічного забруднення ґрунтів. Фосфорні сполуки можуть ще кілька років залишатись у землі, а надлишок фосфатів у ґрунтах сильно шкодить росту та розвитку флори й фауни в зоні бойових дій. Потрапляючи в ґрунт, продукти горіння фосфору та їхні розчини утворюють солі. Це посилює міграцію фосфорних сполук із зони ураження на вільні від бойових дій місцевості [55].

Ґрунти, які мають вуглеводневе забруднення, виступають джерелом токсичних газів і пилу, які разносяться повітрям та сильно негативно впливають на ґрунтове біорізноманіття. Бензол, толуол, етилбензол і ксилол, що виділяються зі свіжозабруднених ґрунтів, можуть викликати хронічний вплив на здоров'я населення. Після того як вуглеводні потрапляють в ґрунт, вони можуть повністю або частково займати поровий простір, що блокує потік повітря та води. Це впливає на дихання коренів рослин, на ґрунтові мікроорганізми і на загальне забезпечення цих біот вологою [3].

Забруднення вуглеводневого походження може включати нафтопродукти та компоненти нафти, такі як парафіни, нафтени, ароматичні вуглеводні, а їхні похідні, такі як бензол та толуол, а також поліциклічні вуглеводні (нафталін, перилен). До окремої групи відносяться хлорвуглеводневі сполуки, такі як

дихлоретан, трихлоретан, хлорбензол та інші. Так само, як толуол та інші аналогі бензолу, вони широко використовуються як розчинники. Забруднення трихлоретаном також може бути пов'язане з залишками ракетного пального [3].

2.3.3 Фізичний вплив та наслідки для ґрунту

Термін "фізичний вплив" вказує на зміни фізичних характеристик поверхні ґрунту внаслідок використання зброї. Розглянемо різні аспекти фізичного впливу, які виникають у результаті застосування військових технологій та озброєння під час проведення військових операцій [3].

Тепловий вплив. Тепловий ефект виникає внаслідок місцевого підвищення температури, що виникає в результаті викидів гарячого повітря, порохових газів, газоподібних продуктів вибухового перетворення боєприпасів та вихлопних газів. Цей тепловий вплив має негативні наслідки для ґрунтового покриву, спричиняючи порушення термічного та водного режиму, а також зміни у гранулометричному та агрегатному складі. Модифікація термічного режиму ґрунту впливає на життєдіяльність ґрунтових організмів, змінюючи рівень оксигенації та спричиняючи зменшення біорізноманіття [3].

Радіоактивний вплив. Наявність радіоактивних матеріалів збільшується внаслідок застосування боєприпасів із збідненим ураном, а також інструментів та пристроїв із джерелами іонізуючого випромінювання. На сьогодні в Україні не зафіксовано випадків використання цього типу зброї [3].

Під час воєнних дій з боку Російської Федерації використання фосфорних боєприпасів (температура горіння білого фосфору досягає 2760 °C) призводить до злиття ґрунту з характеристиками, що сприяють злитогенезу. Зокрема, виявляється наявність блокової структури та великої тріщинуватості в сухому стані [3].

Значна частина ВВП України формується за рахунок сільського господарства, для якого ґрунти (передусім – орні землі) та водні ресурси мають першочергове значення. Вони є джерелом доходу як для держави, так і для приватних господарств. Для того, щоб володіти актуальною інформацією про їх безпечність та належний екологічний стан, а також зберегти від можливих

негативних впливів, передусім – техногенного (антропогенного) забруднення, здійснюється регулярний екологічний та радіаційно-екологічний (радіаційний) моніторинг [10].

Під час воєнних дій з боку Російської Федерації використання фосфорних боєприпасів (температура горіння білого фосфору досягає 2760 °C) призводить до злиття ґрунту з характеристиками, що сприяють злитогенезу. Зокрема, виявляється наявність блокової структури та великої тріщинуватості в сухому стані [3].

За словами дослідників, температура ґрунту привертає порівняно мало уваги в дослідженнях антропогенних змін клімату. Частково це пов'язано з тим, що через складність вимірювань важко знайти достатньо надійних даних про температуру ґрунту у порівнянні з температурою повітря [28].

Проте, в новому дослідженні науковий колектив з усієї Німеччини аналізував дані щодо температури ґрунту, використовуючи різноманітні джерела, такі як метеорологічні станції для моніторингу, супутникове дистанційне зондування, а також набір для повторного аналізу даних ERA5-Land та інші. Вчені виявили, що екстремальні температури в ґрунті виникають значно швидше, ніж у повітрі. Вони пояснюють це в значній мірі вологою ґрунту, яка відіграє ключову роль у взаємодії тепла між ґрунтом та атмосферою. Вологість ґрунту, у свою чергу, сильно залежить від рослинного покриву [28].

Вчені наголошують, що швидка реакція ґрунту на екстремальні температури порівняно з повітрям може мати серйозні наслідки для мікроорганізмів, що живуть у ґрунті, а також для більших екосистем та харчових ланцюгів, які залежать від них [28].

Якщо температура ґрунту вища, ніж температура повітря над ним, як вказують вчені, це може вести до вивільнення додаткового тепла в нижні шари атмосфери, а також до вивільнення додаткового вуглецю, що в свою чергу може збільшити глобальне потепління атмосфери [28].

"З огляду на ці результати, дослідження впливу екстремальної спеки, які враховують переважно температуру повітря, але недооцінюють фактор екстремальної спеки в ґрунті, мають бути переоцінені", – кажуть дослідники [28].

Вплив вібрацій. Одноразові імпульси виникають внаслідок вибухів боєприпасів, тоді як регулярно повторювані – це шум і вібрація, що виникають під час експлуатації військової техніки [3].

Вплив вібрацій, що передаються у ґрунт, може викликати його конденсацію, виштовхування води, осідання поверхні, формування порожнин і зміни мікрорельєфу [3].

Загальну вібрацію за джерелом її виникнення поділяють на:

1. Транспортна вібрація, яка діє на водія – оператора рухомих машин і засобів під час їх пересування на місцевості (на водіїв армійських машин та бронетехніки).

2. Транспортно-технологічна вібрація, яка діє на водіїв (операторів) машин з обмеженим пересуванням тільки на спеціально підготовлених поверхнях майстерень, майданчиків (екскаватори, крани).

3. Технологічна вібрація, яка діє на операторів стаціонарних машин або передається на робочі місця, що не мають джерел вібрації (станки) [30].

Висновок до розділу 2

Метою російської агресії є не лише загарбання територій, але й знищення нашої національної ідентичності, геноцид українського народу та знищення національних багатств, до яких належать ґрунти.

Україна перебуває у повномасштабних бойових діях з порушенням ґрунтового покриву з 24 лютого 2022 року. Ці порушення охоплюють дві групи:

- Первинні – прямі механічні деформації ґрунтового покриву, теплове забруднення; захаращення поверхні.

- Вторинні – ті, що спричинені наслідками невиконання стратегічних заходів поствоєнного відновлення – підтоплення, засолення, ерозійні процеси, підвищена деградація, дегуміфікація тощо.

Військові конфлікти викликають ряд механічних, фізичних та хімічних відмінностей в ґрунтовому покриві. Ці впливи спричиняють руйнування структури та функцій ґрунтової екосистеми, що призводить до погіршення фізико-геохімічних характеристик. Для різних типів військових об'єктів характер порушень може відрізнятися в залежності від видів і типів бойових дій, впливу на рельєф поверхні, ґрунтів, засніжених споруд, а також забруднення верхніх горизонтів ґрунтового покриву продуктами бойової діяльності та забрудненням поверхні (відходами бойової техніки, заскверненнями і т. д.). Руйнування родючості, порушення ґрунтового покриву, втрата природного вологоутримування та опустелювання — це поширені наслідки воєнно-технічного навантаження. Ці явища призводять до різкого зменшення біологічних популяцій і видів, а також втрати біорізноманіття за рахунок змін у структурах та функціях ландшафтів.

РОЗДІЛ 3

ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ

3.1 Види відновлення екологічного стану ґрунтів

Для відновлення родючості пошкоджених ґрунтів та їх введення в експлуатацію недостатньо лише проведення розмінування або засипання усіх наявних вирв. Відповідний ефективний захід з відновлення слід обирати в залежності від рівня пошкодження території. Хоча швидке відновлення можливе, розробка допоміжних біотехнологій вимагає часу та фінансування для проведення відповідних досліджень [6].

«Просто загорнути вирву і вирощувати на ній сільськогосподарську продукцію не можна, бо, в кращому випадку, якщо рослина навіть і виросте, то всі ті токсичні речовини, що лишилися в ґрунті, перейдуть в неї через вбирну здатність її коріння, а потім будуть накопичуватись і у самій продукції», — пояснює Людмила Білявська [6].

Відповідно до дослідження ГО «Екодія», виділяють п'ять рівнів пошкодження земельної ділянки. Якщо пошкодження низького або середнього рівнів, то можливими інструментами для відновлення можуть бути рекультиваційні заходи, як фіторемедіація [6].

При серйозному пошкодженні (від 75% до 100% площі) оптимальним підходом є виключення з сільськогосподарського використання, що означає збереження та природне відновлення території [6].

Характеристики ґрунтів, такі як рівень кислотності, вміст органічних речовин, гранулометричний склад та інші, визначають доступність та можливість міграції токсичних елементів. Наприклад, у випадку кислих ґрунтів рівень їх кислотності, який може бути зумовлений природними чинниками або технологічними факторами (наприклад, для родючих чорноземів), сприяє наявності шкідливих елементів у формі, яку рослини будуть засвоювати протягом тривалого періоду [8].

Перші кроки для подолання цих викликів – моніторинг земель для максимального охоплення всієї потенційно ураженої площі з використанням сучасних технологій:

- високоточні супутникові дані для дистанційного моніторингу і оцифрування ділянок, що зазнали впливу воєнних дій;
- дрони, як для фото- та відеофіксації, так і магнітометричної зйомки для дистанційного виявлення та ідентифікації металевих і вибухонебезпечних предметів із метою подальшого розмінування та знешкодження [8].

Це дозволить здійснювати реєстрацію, конвертацію у цифровий формат та визначення ступеня пошкодження кожної потенційно небезпечної ділянки поля. Сучасні сільськогосподарські підприємства та господарства, що вже використовують елементи точного землеробства на своїх полях, можуть самостійно проводити цифрування уражених ділянок та виявляти пошкодження за допомогою власних ресурсів [8].

Далі потрібно робити моніторинг ґрунтів і посівів до того часу, поки не переконастесь, що вплив забруднення на рослини і продукцію відсутній [8].

Які ж основні агротехнічні прийоми для поліпшення ситуації на забруднених ділянках можна використати вже зараз?

Сівозміна передбачає використання різних культур протягом визначеного періоду. Така ротація забезпечує оптимальний склад та консистенцію ґрунту, що призводить до більшої продуктивності полів. Існують рекомендації стосовно періодів ротації культур, що спираються на досвід у різних географічних зонах. Якщо дотримуватись принципів чергування культур у сівозміні, можна запобігти спустошенню ґрунтів та отримати оптимальний результат. Даний метод ведення сільського господарства привертає все більше уваги з боку фермерів, адже він здатний підвищити продуктивність сільськогосподарських культур [9].

При підборі культур потрібно звернути увагу на два основні моменти:

- вплив забруднювача на посівні якості насіння, ріст культур та їхня урожайність;

- накопичення забруднювача в основній продукції.

Перший момент — про економіку вирощування, другий — більше про екологію. На прикладі одного із досліджень: за 10-кратного перевищення фону важких металів (свинцю, кадмію та цинку) пшениця озима втрачала 4% врожаю (не критично), а за 100-кратного — 81% (немає сенсу вирощувати) [8].

На ґрунтах із забрудненням важкими металами та радіонуклідами, особливий агрономічний інтерес викликають ті культури, які можуть успішно рости при підвищеному вмісті цих речовин, але при цьому гарантують, що їхня концентрація у зерні не перевищує максимально допустимі рівні. Один із таких видів рослин — кукурудза. З іншого боку, соняшник має природну властивість накопичувати цезій та кадмій, і при цьому концентрація останнього може виходити за межі активних обмежень [8].

ФітореMediaція є комплексом методів очищення стічних вод, ґрунтів і атмосферного повітря, використовуючи зелені рослини. Посів забруджених ділянок з культурами, які відзначаються високим здатністю видаляти забруднювачі та виробляти значну біомасу, може послужити поступовим відновленням забрудженого ґрунту [8].

ФітореMediaція представляє собою один з найефективніших методів безшкідливого видалення забруднюючих речовин з ґрунту за допомогою рослин. Цей метод не вимагає екскавації ґрунту, сприяє збереженню та відновленню природного середовища, покращенню якості ґрунтів і їх захисту від ерозії, а також може бути використаний на великих площах [29].

Як динамічно розвинений напрям відновлення властивостей, екологічних функцій та якостей ґрунту фітореMediaція об'єднує значну кількість методів, які базуються на процесах: фіто стабілізації, фітоекстракції, фітостимуляції, фітодеградації, фітотрансформації, фітовипаровування, ризофільтрації, ризодеградації [29].

Різноманітні види рослин мають потенціал для використання у біоенергетичних та фіторе mediaційних цілях на основі їх екосистемних властивостей, які сприяють встановленню ефективного зв'язку між фітотерапією ґрунту, його відновленням та виробництвом біопалива. Особливу увагу заслуговують енергетичні культури, тобто рослини, спеціально вирощені для використання як паливо або для виробництва на їх основі біопалива. Ці рослини здатні накопичувати неорганічні забруднювачі у кореневій системі та розкладати стійкі органічні забруднювачі у ґрунті, тому вони є оптимальними для фітостабілізації та фітодеструкції. Серед найбільш поширених енергетичних культур можна вказати міскантус, вербу, тополь, світчґрас, сорго, еспарцет, рижій, буркун та інші. Характеристики екологічних особливостей деяких енергетичних культур можна знайти у таблиці 3.1 [29].

Таблиця 3.1 – Екологічні особливості енергетичних культур [29].

Одно- та дворічні насінні трав'янисті рослини	
Рижій посівний	Олійна рослина родини капустяні з коротким вегетаційним періодом (80–85 днів), можна вирощувати в усіх регіонах України, що дає змогу не лише ефективно використовувати запаси вологи осінньо-зимових опадів, а й сформувати врожай. Перевагою рижію є те, що він практично не заселяється шкідниками та не уражується хворобами, а це дає можливість значно знизити рівень витрат на його вирощування; невибагливий до родючості ґрунту
Буркун лікарський	Дворічна трав'яниста рослина з родини бобових, найкращий азотфіксатор, добре підходить для сівозмін півдня. Його можна культивувати як однорічну рослину (сходить, цвіте та плодоносить у рік посіву) і як дворічну – сходи рослини з'являються навесні або восени, зимують і формують насіння на другий рік. Дворічний буркун є більш продуктивним. Рослину можна використовувати як сидерат, а це збагачує ґрунт азотом
Багаторічні культури	
Світчґрас, або лозоподібне просо	Багаторічна трав'яниста злакова посухостійка культура, розмножується насінням, може рости на всіх типах ґрунтів, невимоглива до вмісту вологи та поживних речовин у ґрунті, стійка до шкідників та хвороб; корінь розвинений і може сягати до 2 м у глибину; добре переносить спеку в літні місяці; на одному місці може рости протягом 10–15 років
Енергетична верба	Найбільш розповсюджена енергетична культура у світі: генотип верби – один із найбагатших після рису, і це дає можливість створювати нові

	сорта та гібриди для різноцільового використання. Продуктивність верби – 10–15 т/га (за сприятливих ґрунтово-кліматичних умов урожайність зростає до 25–30 т/га) сухої маси в рік, що перевищує за продуктивністю традиційні лісові насадження у 14 разів
Міскантус гігантський	Багаторічна злакова культура, триплоїд має стерильний пилок, тому розмножується вегетативно, кореневищами (ризомами); має дуже розгалужену кореневу систему, тому його можна вирощувати на деградованих, піщаних, супіщаних ґрунтах; на одному місці може рости протягом 25 років. Рослина містить 64–71% целюлози, вміст золи становить 2,2%; погано переносить високу кислотність і високий рівень ґрунтових вод

Багаторічні енергетичні культури мають властивість швидко формувати надземну фітомасу та розвивати потужну кореневу систему, що дозволяє їм накопичувати важкі метали з ґрунту. Ці рослини стають важливими для фітореMediaції, і виявлено, що певні енергетичні культури, зокрема світчґрас і міскантус, володіють властивістю гіперакумуляції, активно поглиблюючи важкі метали та частково накопичуючи їх у своїй підземній та надземній частинах. Після завершення вегетаційного періоду надземна вегетативна маса цих рослин може бути використана для відповідної переробки, що становить додатковий ресурс для видобутку важких металів або вироблення біопалива для енергетичних цілей [29].

Вирощування енергетичних культур як фітореMediaнтів на забруднених та деградованих ґрунтах є перспективним напрямом, який не лише дозволяє зменшити рівень деградації, але й сприяє підвищенню агрономічної цінності цих ґрунтів. Висока продуктивність біомаси енергетичних культур може перетворити технологію фітореMediaції у прибуткову галузь для біоенергетичної промисловості [29].

Обробка ґрунту. Внаслідок вибухів на полі, окремі ділянки мають високу щільність верхніх шарів ґрунту. Проблему ущільнення можна вирішити шляхом проведення глибокого обробітку, глибина якого визначається на основі вимірів щільності та/або твердості. Методи, такі як плантажна оранка, глибоке меліоративне розпушування та щілювання, є заходами агротехнічної меліорації,

спрямованими на збільшення товщини кореневмісного шару та покращення агрофізичних властивостей ґрунту [8].

Плантажна оранка передбачає покращення родючих ґрунтів протягом багатьох років за одноразового обробітку на глибину 60 см [5].

Такий обробіток вирішує насамперед меліоративні цілі: боротьбу із солонцями шляхом винесення карбонатного шару на поверхню ґрунту – тим самим виконує заміну гіпсуванню [5].

Позитив цього агрозаходу полягає у тому, що після виконання плантажних робіт зникає негативний вплив солонців, покращується агрегатний стан ґрунту в шарі 0–60 см, а також поліпшується повітряноводний баланс.

Дослідження на полях Генічеської дослідної станції фізичного стан ґрунтів у богарних умовах через 50 років після виконання плантажу показали, що позитивний вплив від агрозаходу зберігається і через пів століття по всьому шару ґрунту (0–60 см). Водночас плантажна оранка виділяється надзвичайно малою продуктивністю (1,05 га/добу) і великими енергозатратами [5].

Глибоке меліоративне розпушування дренажних земель значно поліпшує їх фізичні властивості, сприяє створенню глибокого і структурного водопроникненого шару та зменшенню надмірної кількості вологи у верхньому шарі, збереженню вологи в критичні періоди вегетації, особливо під час літніх посух, економному використанню її рослинами [65].

Способи глибокого розпушування, строки його виконання та періодичність застосування залежать від типу ґрунту та його водно-фізичних і агрохімічних властивостей, а також стану меліоративної системи найсприятливішим строком проведення глибокого розпушування є літньо-осінній період. У цей час ґрунт має оптимальну вологість (60-80% ПВ), за якої досягається найвища якість виконання робіт, а поля сівозміни звільняються від озимих та ярих зернових культур [65].

При розпушуванні необхідно досягати якнайбільшої глибини обробітку. На землях, осушених дренажем, глибина розпушування обмежується глибиною закладання дренажних труб, яка коливається в межах 80-100 см [65].

Щілювання - це захід для нарізування щілин з метою посилення водопроникності ґрунту, зменшення руйнівної дії водної ерозії та нагромадження запасів вологи в ґрунті. Проводять його пізно восени на глибину 50-60 см щілинорізами ЩН-2-140, ЩП-000, ЩП-3-70, ПЩ-3, ПЩ-5, ПЩН-2,5, ЩРП-3-70 або переобладнаними плоскорізами КПГ-250А, КПГ-2-150, КПГ-2,2 з відстанню між стрічками щілин 4-10 м залежно від рельєфу. Глибоке щілювання на схилах і в парових полях можна здійснювати і плугом-чизелем ПЧ-4,5. Щілини нарізують тільки впоперек схилу в напрямку горизонталей. Верхня частина щілини повинна бути засипана розпушеним ґрунтом на глибину 10-15 см [7].

Мікробіологічні препарати. Мікробіота ґрунту також зазнає впливу воєнних дій. У випадку забруднення важкими металами мікробіологічні препарати можуть зменшити надходження токсичних елементів до рослини. Це дасть можливість рости і розвиватися культурі, а також стримати рівень забруднення врожаю у межах допустимого рівня [56].

Якщо поле вигоріло, то у верхньому шарі ґрунту (до 5-10 см) відбувається повна або часткова стерилізація, і внесення мікробіологічних препаратів теж сприятиме швидшому відновленню мікрофлори [3].

Також ці засоби можуть допомогти і з проблемою паливо-мастильного забруднення ґрунтів. Дослідження показали, що на ділянках, забруднених нафтопродуктами, окремі групи мікроорганізмів сприяли втричі швидшій їх деструкції [3].

Хімічна меліорація може бути використана для зниження мобільності важких металів та радіонуклідів у ґрунтах з кислотним середовищем шляхом введення вапнякових матеріалів. З підвищенням рівня рН до 6,5 спостерігається зменшення розчинності цих речовин, що призводить до меншої їх доступності. Крім того, кальцій виступає антагоністом не тільки для забруднюючих речовин, тому при внесенні вапна може відбуватися блокування руху макро- і мікроелементів (таких як фосфор, цинк, марганець і інші), що слід враховувати при розробці систем добрив [3].

На лужних ґрунтах для боротьби із забруднювачами варто проводити гіпсування [3].

Для усунення надмірної концентрації важких металів можна також використовувати цеоліти. При їхньому використанні на кислих ґрунтах, забруднених свинцем, вдалося зменшити вміст цього металу на 30%. Ефективність також продемонстрована базальтовими туфами, які, використовуючись як сорбенти, здатні очищати ґрунти від радіонуклідів і важких металів серед інших матеріалів [3].

Система внесення добрив. Органічні речовини визнаються одними з найбільш ефективних добрив для відновлення ґрунтів, пошкоджених воєнними діями. На ділянках, порушених вибухами, де відбувається забруднення важкими металами, органічні сполуки взаємодіють з забруднювачами, утворюючи стійкі комплекси [3].

На обгорілих полях спостерігається зниження вмісту гумусу, винищення мікробіоти та рослинних залишків, а також підвищення концентрацій рухомих форм важких металів. Використання органічних добрив може ефективно коригувати негативні наслідки пожежі [3].

Прикладом органічного добрива може бути фосфор. Фосфор – це елемент, необхідний для повноцінного живлення садових та овочевих рослин [57].

Фосфорні добрива можуть використовуватися для детоксикації важких металів в ґрунті. Під час взаємодії утворюються фосфати металів, таких як свинець та цинк, які мають важкорозчинну природу та обмежену доступність для рослин. Використання фосфоритного борошна стає економічно доцільнішим на кислих ґрунтах [8].

Внесення підвищених доз калійних добрив на тлі збалансованого азотного і фосфорного живлення сприяє меншому накопиченню цезію-137 в рослинах. Пов'язано це з тим, що цезій-137 є хімічним аналогом калію [8].

Органічні добрива, окрім удосконалення хімічного складу ґрунту, сприяють поліпшенню його фізичних властивостей, структури,

повітропроникності та вологоутримання. Вони підвищують біологічну активність ґрунту, сприяють розмноженню корисних організмів та мікроорганізмів [20].

Добрива є менш концентрованими, діють на рослину повільніше, за час розкладання, але протягом тривалого періоду, тому менша небезпека передобрити ґрунт [20].

Введення цих добрив виключає втрати макроелементів через вимивання та інші процеси, які рослини не можуть адекватно засвоїти. Макроелементи, що надходять разом з органічними добривами, зберігаються в плідному шарі ґрунту у вигляді нерозчинних гумінових кислот і розчинних гуматів (за умови колоїдних зв'язків). Вони доступні для коренів рослин за потребою, що виникає під час розкладання гуматів на неорганічні солі під впливом мікроорганізмів прикореневої зони. Таким чином, введення органічних добрив дозволяє уникнути завищення норм введення на 25-30% для компенсації потенційних втрат. Це суттєво покращує екологічний стан сільськогосподарських угідь, а також усуває токсичні впливи на ґрунтову фауну [20].

Мінеральні добрива – це неорганічні препарати, які виробляють із природної сировини чи промислових об'єктних продуктів [4].

Мінерали є суттєвими компонентами ґрунту, вони утворюють скелет ґрунту і відіграють ключову роль у поліпшенні фізичних і хімічних властивостей ґрунту, а також в рості та метаболізмі мікроорганізмів. Корисний вплив використання відповідних матеріалів у ґрунті було добре підтверджено [4].

Проте як і у багатьох неорганічних препаратів, у мінеральних підживлень є переваги та недоліки. До мінусів належить:

- Виробництво добрив може бути шкідливим для екології;
- Якщо порушити дозування, можна навпаки знизити родючість ґрунту;
- Рослини в повному обсязі їх засвоюють, тому добрива можуть накопичуватися в ґрунті;

— Можуть вимиватися з ґрунту та забруднювати ґрунтові води та повітря.

Але якщо дотримуватися всіх правил та дозувань, то використовуючи мінеральні добрива можна отримати:

- При невеликій ціні препарати отримати відмінний результат;
- Підвищення врожайності;
- Покращення зовнішнього вигляду та характеристики вирощуваних культур;
- Підвищити стійкість рослин до стресів, хвороб та паразитів [4].

Отже, більшу перевагу слід надати органічним добривам, оскільки вони є природним елементом екосистеми, відповідно оскільки мінеральні добрива є неприродними елементами, то його використання має бути агрономічно гранично грамотним [8].

Рекультивация. Відновлення сильно пошкоджених ґрунтів через механічне перекидання бульдозерами та грейдерами, ігноруючи генетичні горизонти, є грубою формою рекультивации. У таких випадках відновлення ґрунту може займати десятки років і вимагати значних інвестицій у використання органічних добрив, меліорантів і т.д. [8].

Видалення забрудненого шару ґрунту та його заміна вищою якістю є процесом, який вимагає значних витрат. У ситуаціях, коли очікувані витрати не окупляться протягом багатьох років або навіть століть, може бути розумним залишити уражені ділянки в стані консервації та дозволити природі почати процес самовідновлення. Проте, якщо рівень забруднення високий і небезпечні речовини можуть легко потрапити в підземні води в залежності від ґрунтових і кліматичних умов, тоді необхідно приймати заходи для поліпшення ситуації. У таких випадках мова йде не про економічні вигоди, а про забезпечення екологічної безпеки держави [8].

Отже, перше, з чого треба починати, — фіксація уражень. Далі — оцінка особливостей території і підбір рішення з урахуванням усіх технологічних складових [8].

3.2 Аналіз досвіду відновлення екологічного стану ґрунтів країн, що постраждали внаслідок воєнних дій

Відновлення територій після війни та безпечна утилізація речовин військового походження визнаються пріоритетними завданнями для майбутнього розвитку поствоєнних областей. Згідно з Протоколом V "Конвенції про конкретні види звичайної зброї", існує юридичний обов'язок щодо очищення, видалення або знищення вибухонебезпечних залишків війни. Проте існує прогалина в нормативних вимогах щодо відновлення земель, і відсутнє чітке правове зобов'язання стосовно ліквідації забруднення навколишнього середовища внаслідок військової діяльності. Зусилля залишаються несистематичними та реалізуються в кожному окремому випадку [3].

Деякі країни приймали обмежені заходи з очищення, як, наприклад, усунення залишків забруднюючих речовин в Іраку після війни 2003 року, проведене Великою Британією. Сторони в конфлікті послідовно стверджують, що відповідальність за дезактивацію лежить на адміністраціях країн, які постраждали від конфлікту. Однак відсутність чітких правових стандартів призвела до розбіжностей у питанні того, яким чином державам, що постраждали від конфлікту, надається фінансова і технічна допомога для відновлення. Наприклад, США фінансували процес очищення від забруднення на військових базах в Кувейті після війни в Перській затоці 1991 року [3].

В південній частині Тихоокеанського регіону та в Японії також були запущені результативні проєкти з відновлення, хоча часто їхні основи мали економічний характер. Створена в жовтні 1945 року секція природних ресурсів в складі Генерального штабу Верховного головнокомандувача союзних держав під керівництвом генерала Дугласа Макартура відповідає за організацію заходів з відновлення сільського та лісового господарства [3].

Згідно з оцінками, приблизно 6% поверхні Землі вже зайнято територіями для навчальної військової діяльності. Це охоплення становить передумову для

існування територій, які мають важливе значення для збереження біорізноманіття [3].

Дуже показовим є стан Опуцького природного заповідника в Криму, який росіяни перетворили на військовий полігон. Бомбардування, рух техніки, підриви акустичних бомб в морі та висадка десанту під час російських навчань спотворили місцеві приморські, степові, лиманні ділянки [58].

Починаючи з 1989 року, після завершення холодної війни в Європі, приблизно 1,5 мільйона гектарів військових територій залишили без уваги. Часто великі площі стали непридатними для ефективного використання через хімічне забруднення та загрозу мін. Це призвело до перетворення деяких військових полігонів у природні заповідники. Так, кілька колишніх військових полігонів стали частиною природоохоронної мережі Європейського Союзу, включаючи Natura 2000. Наприклад, Данія внесла 45%, Нідерланди – 50%, а Бельгія – навіть 70% площ своїх полігонів до цієї мережі [3].

Сучасною тенденцією є нове тлумачення концепції міжнародних парків миру, часто відомих як транскордонні природоохоронні території або транскордонні природоохоронні зони. Це специфічні міжнародні області, які управляються двома або більше прилеглими країнами в транскордонному регіоні або служать місцями для спільного обміну ініціативами (наприклад, обмін інформацією щодо браконьєрства на слонів та питань безпеки між Танзанією і Мозамбіком). Один із успішних прикладів - Міжнародний парк миру Уотертон-Глейшер, який розташований між канадською провінцією Альберта та американським штатом Монтана. Заснований у 1932 році, він є першим у світі парком миру [3].

Території прикордонних регіонів мають свої особливості та власне життя, яке не залежить від політики відповідних країн. Але для того, щоб міжнародні парки миру були ефективними, необхідно враховувати певні умови. При формуванні міжнародного парку миру важливим є високий рівень децентралізації, що може бути проблематичним для більшості розвиваючихся країн. Здатність громад приймати рішення та використання моделі співпраці,

яка адаптується до конкретних умов, є ключовими факторами для успішного розвитку таких територій. Модель таких парків вважається привабливою для донорів, що може сприяти встановленню спільного управління між прикордонними громадами, де державні уряди не можуть ефективно втручатися. Створені території відіграють важливу роль у вирішенні конфліктів та відновленні цих регіонів [3].

Створення експериментальних міждисциплінарних програм, військових і цивільних дослідницьких центрів (наприклад, Екологічний центр армії США, Лабораторія Центру екологічного менеджменту військових земель у Колорадо та Департамент дослідження миру та конфліктів Упсальського університету в Швеції) є науковою базою для реалізації заходів з відновлення територій після війни [3].

Можна розглянути Велику Британію як приклад. Уряд Великої Британії повернув на розгляд питання про захист ґрунтів. Уряд країни обіцяє винагороджувати британських фермерів, які захищають ґрунт [59].

Забруднення речовинами воєнно-техногенного походження в цій країні є результатом численних авіаударів та використання різноманітних систем озброєння, що мали місце з часів Другої світової війни. Це призвело до прийняття політики, згідно з якою власники земель, а не військові структури, несуть відповідальність за забруднення територій. Крім того, місцеві органи влади часто співпрацюють з власниками земель та ділять відповідальність за відновлення цих територій. Однак окремі області, які віднесені до категорії "спеціальні об'єкти", підпадають під юрисдикцію Агентства з навколишнього середовища. Головним чином це території, які використовувалися військовими силами, а також об'єкти та прилеглі землі до виробництва чи утилізації хімічної чи біологічної зброї [3].

Щодо іншої відмінності у нормативному регулюванні стосовно земель, які перебувають у власності Міністерства оборони, ситуація виглядає наступним чином: Міністерство оборони несе відповідальність не лише за еколого-геохімічний стан цих земель, але й за те, щоб будь-яка продана чи

орендована земля не мала забруднень або не була небезпечною для населення. Однак це положення не гарантує, що всі території, які можуть бути забрудненими, піддалися санаційним заходам. Загалом система управління поствоєнними територіями Великобританії покладає більше відповідальності на цивільних власників земель. Незважаючи на цю регуляторну стратегію, у Великобританії відсутні окремі вказівки щодо управління цими територіями і відсутні офіційні кількісні стандарти для забезпечення еколого-геохімічної оцінки цих земель. У неурядових організацій також відсутні офіційні стандартизовані методи для здійснення оцінки цих земель. Враховуючи цю прогалину, Асоціація досліджень та інформації будівельної промисловості розробила практичний посібник щодо вибухонебезпечних речовин, призначений для допомоги приватним власникам земель, забудовникам та фахівцям будівельної галузі у розумінні цієї екологічної проблеми та визначенні заходів щодо відновлення. Посібник пропонує двоетапний підхід: попередня та детальна оцінка ризику [3].

Навіть якщо Міністерство оборони не має конкретних інструкцій щодо управління територіями, які забруднені воєнно-техногенними речовинами, вони використовують регламентований підхід для кількісної оцінки ризиків, пов'язаних із забрудненням землі. Міністерство оборони проводить оцінку якості землі, в яку входить проведення досліджень ділянки на основі попередньої стратегічної оцінки та визначення пріоритетів, вивчення на місці та документальне дослідження, детальне оглядання конкретних ділянок, а також оцінка різних варіантів і відповідь місцевої влади [3].

Проведене дослідження визначає рівень хімічного забруднення, надає аналіз залишкового ризику (рівень ризику, що залишається після застосування заходів для його зниження до прийнятного рівня). Рейтинг ризику оцінюється на чотирибальній шкалі від найменш ймовірного до найбільш ймовірного, що є одним з чотирьох "діапазонів рейтингу" від мінімального до високого ризику, кожний з яких передбачає відповідні контрольні заходи. Важливо зауважити, що національний рівень не розглядає поняття "чистої" території. Хоча

відновлення поствоєнних територій є спільною відповідальністю землевласників та Міністерства оборони, поки не існує ефективної методики для визначення заходів з відновлення [3].

Висновок до розділу 3

Отже, російська агресія завдала значної шкоди ґрунтам України, проте вирішення даної проблеми є необхідним. Перші кроки для подолання цих викликів - моніторинг земель для максимального охоплення всієї потенційно ураженої площі з використанням сучасних технологій:

- Високоточні супутникові дані для дистанційного моніторингу і цифрування ділянок, що зазнали впливу воєнних дій.
- Дрони, як для фото- та відеофікації, так і магнітометричної зйомки для дистанційного виявлення та ідентифікації металевих і вибухонебезпечних предметів з метою подальшого розмінування та знешкодження.

Основні агротехнічні прийоми для поліпшення ситуації на забруднених ділянках, які можна використовувати вже зараз:

- Обробка ґрунту.
- Сівозміна.
- Фітормедіація.
- Мікробіологічні препарати.
- Хімічна меліорація.
- Система удобрень.
- Рекультивація.

Відновлення територій після війни та безпечна утилізація речовин військового походження визнаються пріоритетними завданнями для майбутнього розвитку поствоєнних областей. Згідно з Протоколом V "Конвенції про конкретні види звичайної зброї", існує юридичний обов'язок щодо очищення, видалення або знищення вибухонебезпечних залишків війни.

Створення експериментальних міждисциплінарних програм, військових і цивільних дослідницьких центрів (наприклад, Екологічний центр армії США,

Лабораторія Центру екологічного менеджменту військових земель у Колорадо та Департамент дослідження миру та конфліктів Упсальського університету в Швеції) є науковою базою для реалізації заходів з відновлення територій після війни.

Аналізуючи досвід інших країн, можна врахувати їхні позитивні сторони та недоліки при відновленні власної екології і використовувати їх як базу для відновлення українських ґрунтів.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТУ ВНАСЛІДОК РОСІЙСЬКОГО АВІАУДАРУ НА ТЕРИТОРІЇ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

4.1 Характеристика об'єкту дослідження

У ніч на 9 березня російська армія здійснила 81 пуск ракет різного базування та задіяла вісім БпЛА Shahed-136т/131. Сили оборони збили 34 з 48 крилатих ракет та чотири БпЛА.

Внаслідок організованої протидії вісім керованих авіаційних ракет Х-31П та Х-59 не досягли своїх цілей, повідомив Головнокомандувач ЗСУ Валерій Залужний.

Ворог здійснив:

- 28 пусків крилатих ракет повітряного базування Х-101/Х-555;
- 20 пусків крилатих ракет морського базування "Калібр";
- 6 пусків крилатих ракет повітряного базування Х-22;
- 6 пусків крилатих ракет повітряного базування Х-47 "Кинджал";
- 8 пусків керованих авіаційних ракет: 2 – Х-31П; 6 – Х-59;
- 13 пусків зенітних керованих ракет С-300.

“Силами та засобами Повітряних Сил ЗС України у взаємодії з підами інших складових сил оборони України із 48 крилатих ракет Х-101/Х-555, "Калібр" знищено 34 крилаті ракети, а також 4 БпЛА «Shahed-136/131», – зазначив Залужний [21].

У Золочівському районі Львівської області від удару ракети загинули п'ятеро людей.

Ракета впала в житловому районі, після чого почалася пожежа.

За даними ДСНС, 9 березня близько 04:00 в Золочівському районі внаслідок ракетного удару відбулось руйнування двох приватних житлових будинків [22].

За попередніми даними удар був здійснений російською ракетою Х 101.

Характеристики ракети Х-101:

Саме снарядами Х-101 Росія часто завдає ударів не тільки великим містам України, але й маленьким. Х-101 називають стратегічною крилатою ракетою.

Класифікація — повітряне базування (повітря – земля). Х-101 дальність пуску снаряда — до 6 тис. км. Має бойову частину вагою 970 кг.

Випробовували російську ракету у 90-х роках минулого сторіччя. Вона особлива тим, що Х-101 — непрогнозована.

Траєкторію складно передбачити, розрахувати та спробувати збити. Це не випадковість, адже снаряд спеціально розробляли із застосуванням технологій, які знижують радіолокаційну помітність.

Швидкість ракети Х-101 — до 720 км/год. Вона також має дуже потужну дальність.

Х-101: характеристики

- важить до 2500 кг;
- бойова частина важить до 970 кг;
- має довжину до 7,5 м;
- дальність становить 5,4 тис. км;
- летить на дальність до 5,4 тис. км.

Х-101 має низку своїх переваг. Наприклад, може змінювати мету вже у польоті. Має непогану точність відхилення, до 10 м. У Росії її вважають однією з найкращих своїх ракетних розробок. Адже вона технологічніша за більшість радянських снарядів.

До речі, за два роки (з 2015 року) окупанти випустили по Сирії майже 60 штук. У Х-101 комбінована система наведення для того, щоб вражати ціль. Ракета в польоті отримує дані про політ, маршрут і координати.

Х-101: скільки коштує

Приблизна ціна ракети Х-101 — до \$14 млн. Ракети Калібр, своєю чергою, набагато дешевші — від \$4 до \$7 млн. Снаряди Іскандер та Точка-У одні з найдешевших — до \$4 млн.

Найперші застосування в Україні ракет Х-101 були в березні 2022 року (по аеропорту у Вінниці) [24].

Використання палива може бути дуже різноманітне, але оскільки воно є засекречене для противників, то ми не могли визначити, які конкретно речовини потрібно досліджувати, тому вирішили вибрати по стандарту – фосфати, нітрати та нафтопродукти. Також варто зазначити, що бувають і фосфорні бомби, проте за попередніми даними на досліджуване місце впала ракета Х-101.

Координати об'єкту дослідження: 49.811258 24.659875

Адреса: Золочівський район Львівська область село Велика Вільшаниця вул. Незалежності 156. Розташування на карті зображено на рис.4.1.

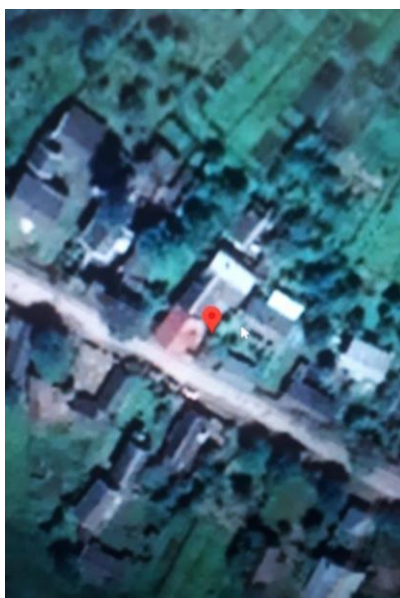


Рисунок 4.1 – Місце розташування об'єкта дослідження (Google Maps)

4.2 Методика проведення дослідження

Відбір проб ґрунту здійснювався згідно з вимогами ДСТУ ГОСТ 17.4.3.01:2019 та відповідної МВ показника у ґрунті, за допомогою трьох інструментів – лопата, рулетка і пластикове відро (рис. 4.2, 4.3). Відбір проб проводився способом конверту. Підготовку водних витяжок відображено на рис. 4.4, 4.5.



Рисунок 4.2 – Висушена та пересіяна проба ґрунту



Рисунок 4.3 –Інструменти, якими відбиралися проби – лопата та рулетка

Визначення нітратів та фосфатів у пробі ґрунту проводилося за відповідними методиками та стандартами:

1. МВВ № 081/12-0723-10 Ґрунти. Методика виконання вимірювань масової частки нітратів фотоколориметричним методом.
2. ДСТУ 4115-2002 «Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова».



Рисунок 4.4, 4.5 – Фільтрування підготовлених витяжок

Визначення наявності нафтопродуктів в ґрунті проводилося за методикою МВВ 081/12-0725-10.

4.3 Результат та аналіз дослідження.

1. Основна роль фосфору – перенесення поживних речовин у всі органи та тканини рослин. Завдяки цьому вони повноцінно ростуть і розвиваються, своєчасно цвітуть, плодоносять, а плоди набувають характерного для них смаку (кислого, солодкого, терпкого, тощо) та аромату.

За надлишку фосфору цей обмінний процес протікає в рази швидше, що призводить до раннього старіння рослини, як правило, ще до того, як вона встигла добре сформуватися. Крім того, занадто велика кількість фосфору порушує засвоєння інших мікро- та мікроелементів (цинку, міді, заліза, марганцю, тощо) та перешкоджає їх синтезу в самій рослині [64].

Також як приклад можна навести рослину – рис. Дослідження, проведені під керівництвом професора CSIC Research CRAG Blanca Сан-Сегундо, показали, що рослини рису, вирощені в ґрунті з надлишком фосфатів, більш сприйнятливі до патогенного гриба *Magnaporthe oryzae*, який викликає пірікуляріоз рису. Виявили, що високі дози фосфорного добрива і подальше накопичення фосфатів в листі рису підвищують сприйнятливість до інфекції грибом *Magnaporthe oryzae* [65].

Вміст фосфору визначали за ДСТУ 4115-2002 «Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова». Цю методику було використано для визначення фосфатів у пробах ґрунту. Для визначення фосфатів побудовано градууювальний графік (рис. 4.7). Отримані результати:

Показник контрольної проби – 56,180 мг/кг.

Показник проби ґрунту, який пошкодила ракета – 55,751 мг/кг.

Отже, судячи з даних результатів, можна зробити висновок, що кількість фосфатів не перевищує норми у пробах ґрунту.

2. Нітрати визначалися за МВВ № 081/12-0723-10 Ґрунти. Методика виконання вимірювань масової частки нітратів фотоколориметричним методом (рис. 4.6). Нітрати – це солі азотної кислоти. Для визначення нітратів побудовано градууювальний графік (Додаток А – рис.А.2). Отримані результати:

Проба ґрунту, який пошкодила ракета – 2,002 мг/кг.

Згідно Постанови Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 року №1325 встановлено гранично допустиму концентрацію Нітратів у ґрунті, валовий вміст яких становить 130 мг/кг (табл. 4.1).



Рисунок 4.5 – Пробопідготовка.
Перемішування на шейкері для
утворення водної витяжки



Рисунок 4.6 – Фотометрування
підготовленої витяжки для
визначення кількості нітратів

Отже, з вище зазначеного можна зробити висновок, що вміст нітратів у пробі ґрунту не перевищує ГДК і залишається в нормі.

3. Визначення наявності нафтопродуктів у пробах ґрунту проводилося за методикою МВВ 081/12-0725-10.

m_1 – 46.0598 гр. – холоста проба

$45.0617 \begin{cases} m_2 - 45.0618 \\ m_3 - 45.0616 \end{cases}$

$m_{н.і} = 45.0617 - 45.0598 = 0.0019\text{г.}$

$$W_i = \frac{0.0019 \cdot 1 \cdot 1000000}{10} = 190\text{мг/кг}$$

Згідно Постанови Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 року №1325 встановлено гранично допустиму концентрацію Нафтопродуктів у ґрунті, валовий вміст яких становить 1000,0 мг/кг, тому можна зробити

висновок, що вміст нафтопродуктів у ґрунті не перевищує норми (Додаток А – рис. А.1).

Таблиця 4.1 – Нормативи гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також перелік таких речовин

№	Найменування речовини	CAS N	Величина гранично допустимої концентрації (ГДК), мг/кг з урахуванням фону (кларка)	Лімітуючий показник шкідливості
1	Нітрати (за NO ₃)	14797-55-8	130,0	водно-міграційний
2	Нафтопродукти		1000,0	загальносанітарний, фітотоксичність

Висновок до розділу 4

Істотним показником родючості ґрунту є вміст фосфатів, рівень яких не повинен перевищувати норми. Аналогічно важливим для ґрунту є вміст нітратів, оскільки солі азотної кислоти – це необхідна частина азотного харчування рослин, вони є продуктами обміну речовин в організмі людей і тварин. Перевищення потрібної дози азоту призводить до негативних наслідків. І чинником, який найбільш негативно впливає на ґрунти – це вміст нафтопродуктів, що призводить до значних змін фізико-хімічних властивостей ґрунтів, зокрема, внаслідок руйнування ґрунтових структур і диспергування ґрунтових часток знижується водопроникність ґрунтів, порушується фільтраційний режим ґрунтів.

Інші речовини, які містяться в ґрунті, також мають бути в кількостях, що не перевищують нормативні ГДК.

За результатами проведення лабораторних досліджень на вміст нітратів, фосфатів та нафтопродуктів у ґрунтах встановлено, що ґрунт само очистився від шкідливих речовин, у зв'язку з тим, що пройшов досить великий період часу від моменту авіаудару – 7 місяців.

ВИСНОВКИ

Ґрунт – надзвичайно важливий компонент біосфери, від екологічного стану якого залежить якість довкілля та життєдіяльність живих організмів на планеті.

Основними типами ґрунтів є піщані, глинисті, торф'яно-болотні, кам'янисті, супіщані ґрунти, суглинні. В Україні найбільш поширені дерново-підзолисті, сірі лісові, чорноземні, каштанові та ін. ґрунти.

У довоєнний період спостерігалися певні проблеми із ґрунтами, пов'язні із веденням сільського господарства, проте на теперішній час ситуація ускладнюється, оскільки з'явилися нові проблеми, пов'язані із військовими діями, які поділяють на фізичні, хімічні та механічні ушкодження. Основними факторами впливу на ґрунт є: тепловий і вібраційний вплив, руйнування гумусного шару ґрунту внаслідок падіння та вибуху снарядів, ущільнення ґрунту, витік небезпечних хімічних речовин, що спричиняє зміни хімічного складу ґрунту.

Негативний вплив на ґрунт є більш значним у порівнянні з іншими війнами, оскільки Росія веде військові дії без дотримання будь-яких правил та використовує заборонені методи ведення війни.

Першочерговими заходами з відновлення ушкоджених воєнними діями ґрунтів – моніторинг земель з використанням сучасних технологій.

Основними способами відновлення є фіторемедіація, мікробіологічні препарати, обробка ґрунту, система удобрення, рекультивація, сівозміна, хімічна меліорація.

Відновлення територій після війни та безпечна утилізація речовин військового походження є пріоритетними завданнями для майбутнього розвитку поствоєнних територій.

Найбільший вплив авіаударів на ґрунти України відчувався найбільше в перший період війни після падіння вибухових зарядів, хоча триває і дотепер. З метою запобігання розповсюдження шкідливих речовин в ґрунті та підземних водах необхідні негайні заходи нейтралізування за наявної можливості. За

неможливості проведення заходів з часом відбувається природній процес самоочищення ґрунтів.

Проведені дослідження ґрунтів, які зазнали ушкоджень внаслідок авіаударів, не виявили перевищення допустимих концентрацій нітратів, фосфатів та нафтопродуктів у досліджуваній місцевості, оскільки відбір проб здійснювався не безпосередньо після ушкоджень і ймовірно відбулося самоочищення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Види та типи ґрунтів: їх основні властивості: веб-сайт. URL: <https://eos.com/uk/blog/vydy-ta-typy-gruntiv/>
2. Повномасштабне вторгнення Росії в Україну: історичний контекст: веб-сайт. URL: <https://krm.gov.ua/povnomasshtabne-vtorgnennya-rosiyi-v-ukrayinu-istorychnyj-kontekst/>
3. Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. Київ, 2023. 7 с.
4. Плюси та мінуси мінеральних добрив: веб-сайт. URL: <https://agriks.com.ua/uk/mineralnye-udobreniya-vidy-i-kak-ispolzovat.html>
5. Плантажна оранка покращує повітряно-водний баланс ґрунту: веб-сайт. URL: <https://agrotimes.ua/agronomiya/plantazhna-oranka-pokrashhuye-povitryanovodnyj-balans-gruntu/>
6. Відновлення ґрунтів: веб-сайт. URL : <https://svidomi.in.ua/page/yak-viina-vplyvaie-na-rodichist-gruntiv-ta-iakist-izhi>
7. Спеціальні заходи щодо обробітку ґрунту: веб-сайт URL: https://pidru4niki.com/11620810/geografiya/spetsialni_zahodi_schodo_obrobitku_gruntu
8. Як врятувати ґрунти від наслідків війни?: веб-сайт. URL: <https://www.agrilab.ua/yak-vryatuvaty-grunty-vid-naslidkiv-vijny/>
9. Сівозміна, як підхід до підвищення продуктивності поля: веб-сайт. URL: <https://eos.com/uk/blog/sivozmina/>
10. Моніторинг радіоактивних речовин у водоймах та ґрунтах: веб-сайт. URL: <https://www.uatom.org/2021/09/28/monitoring-radioaktivnih-rechovin-u-vodojmah-ta-gruntah.html>
11. Процеси ґрунтоутворення: веб-сайт. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ros1/wp-content/uploads/sites/20/lekcija-4.procesy-gruntoutvorennya.pdf>

12. Характеристика різних типів ґрунту: веб-сайт. URL: <https://www.vaderstad.com/ua/know-how-agroporady/osnova-agronomii/osnovni-vlastyvosti-gruntiv/harakterystyky-riznyh-typiv-gruntu/>
13. Каштанові ґрунти: веб-сайт. URL: https://www.wikiwand.com/uk/%D0%9A%D0%B0%D1%88%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D2%91%D1%80%D1%83%D0%BD%D1%82%D0%B8
14. Текстура – механічний склад ґрунту: веб-сайт. URL: <https://agrotest.com/article/tekstura-mehanichnyj-sklad-gruntu/>
15. Як російська війна шкодить українським ґрунтам – результати дослідження: веб-сайт. URL: <https://ecoaction.org.ua/grunty-doslidzhennia.html>
16. Забруднена, засмічена, пошкоджена – екоінспекція розповіла про стан землі після вторгнення росіян: веб-сайт. URL: <https://life.pravda.com.ua/society/2022/12/6/251690/>
17. Чи мона вилікувати ґрунт після війни – відповіді на найпростіші запитання: веб-сайт. URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/1423-chi-mojna-vilikuvati-grunt-vid-viyni--vidpovidi-na-nayposhirenishi-zapitannya>
18. Міндовкілля і ґрунти: земля пішла на милість аграріям: веб-сайт. URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/mindovkillya-i-grunti-zemlya-pishla-na-milist-agrariyam/>
19. Вплив воєнних дій на ґрунт: веб-сайт. URL: <https://nubip.edu.ua/node/121607>
20. Переваги органічних добрив: веб-сайт. URL: <https://dobredobryvo.com/preimushhestva-organicheskix-udobrenij/>
21. Нічна ракетна масова атака 9 березня: загиблі і поранені , зруйновані будинки, обмеження електропостачання, знеструмлення. ЗАЕС: веб-сайт. URL: https://lb.ua/society/2023/03/09/548331_nichna_raketna_masovana_ataka_9.html
22. У Львівській області від ракети згинуло п'ятеро людей: веб-сайт. URL: https://lb.ua/society/2023/03/09/548317_lvivskiy_oblasti_vid_raketi.html

23. Війна: постраждали ґрунти України: веб-сайт. URL: <https://www.zerno-ua.com/news/vijna-postrazhdaly-grunty-ukrayiny/>
24. Характеристика ракети Х-101: що відомо про снаряди, якими росія обстрілює Україну: веб-сайт. URL: <https://vikna.tv/video/svit/harakterystyky-rakety-h-101/>
25. Російсько-Українська війна її вплив на екологію та ґрунти повоєнної України: веб-сайт. URL: <https://agroelita.info/rosiysko-ukrainska-viyna-ii-vplyv-na-ekolohiiu-ta-grunty-povoiennoi-ukrainy/>
26. Важкі ґрунти: веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/vazhki-grunty-id18906>
27. Львівська область: ракетний удар спричинив масштабну пожежу: веб-сайт.
URL: https://www.youtube.com/watch?v=5fPkW_K6qFQ&ab_channel=%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%A1%D0%B2%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B0
28. Людство недооцінює проблему нагрівання ґрунту, зосереджуючись на підвищенні температури повітря і води, – дослідження: веб-сайт. URL: <https://texty.org.ua/fragments/110796/lyudstvo-nedoocinyuye-problemu-nahrivannya-gruntu-zoseredzhuyuchys-na-pidvyshenni-temperatury-povitrya-i-vody-doslidzhennya/>
29. Борецька І.Ю., Джура Н.М., Романюк О.І. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. М. Львів, 2021. 73-76 с.
30. Артем'єва С.Р. Екологічна безпека військ. Підручник НТУ «ХПІ». Харків, 2012. 129 с.
31. Сорокіна Л., Петров М., Сплодитель А. Географічна освіта і наука: виклики і поступ : матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Том 2. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 140-річчю географії у Львівському університеті. м. Львів, 18-20 травня 2023 року.

32. Дерново-підзолисті ґрунти: веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/dernovo-pidzolisti-grunti-id20187>
33. Українські чорноземи є найбільш забруднені вибухівкою землями у світі: веб-сайт. URL: <https://www.polskieradio.pl/398/7856/artykul/3066140>
34. Проблема деградації земель в Україні актуальною: веб-сайт. URL: <https://kirovohradska.land.gov.ua/info/problema-dehradatsii-zemel-v-ukraini-ie-aktualnoiu/>
35. Саморегуляція ґрунтовлі родючості чорноземів: веб-сайт. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/8847-samorehuliatsiia-gruntovoi-rodichosti-chornozemiv.html>
36. Самара-Західний напрямок: веб-сайт. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/sud-povernuv-derzhavi-naftoproductoprovid-samara-zakhidnyi-napriamok>
37. Кислотність ґрунтів та її вплив на живлення рослин: веб-сайт. URL: <https://www.agronom.com.ua/kyslotnist-gruntiv-ta-yiyi-vplyv-na-zhyv/>
38. «Екологічна безпека та раціональне природокористування: веб-сайт. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/12/179-1.pdf>
39. Війна росії проти України - не забудемо і не пробачимо: веб-сайт. URL: <https://court.gov.ua/press/general/1387175/>
40. Лубінець: з 2014 року рф порушила майже 400 договорів міжнародного права: веб-сайт. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-politics/3685234-lubinec-z-2014-roku-rf-porusila-majze-400-dogovoriv-miznarodnogo-prava.html>
41. Пару слів про снаряди: веб-сайт. URL: <https://mil.in.ua/uk/blogs/paru-sliv-pro-snaryady/>
42. Строкаль В.П., Бережняк Є.М., Наумовська О.І., Вагалюк Л.В., Ладика М.М., Сербенюк Г.А., Паламарчук С.П., Павлюк С.Д. Вплив російської агресії на стан природних ресурсів України: монографія. Київ 2023 р. 22, 23 с.

43. Порох: веб-сайт. URL: <https://ua.opentran.net/ukrainian-russian/%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%85.html>
44. Про порох: веб-сайт. URL: <https://huntmasters.com.ua/pro-porox>
45. Властивості вуглеводнів: веб-сайт. URL: <https://de.khnu.km.ua/labrun.aspx?a=194&b=3&c=104>
46. Ароматичні вуглеводні: веб-сайт. URL: <https://de.khnu.km.ua/labrun.aspx?a=194&b=3&c=104>
47. Закусило Р.В., Кравець В.Г., Коробійчук В.В.. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин: монографія. Житомир, 2011. 8 с.
48. Сплодитель А. О.. Методичні рекомендації з відбору проб ґрунту в зонах бойових дій. Київ – Чернівці 2023. 10 с.
49. Вплив воєнних дій на ґрунтове середовище: веб-сайт. URL: https://epl.org.ua/wp-content/uploads/2022/11/grunty_YEdnannya.pdf
50. Найбільший калібр. 10 страшних техногенних катастроф, створених руками військових: веб-сайт. URL: <https://techno.nv.ua/ukr/popscience/viyskovi-vikoristovuvali-prirodni-katastrofi-50330069.html>
51. Ґрунт і війна: токсичний спадок для житниці України: веб-сайт. URL: <http://agroconf.org/content/grunt-i-viy-na-toksichniy-spadok-dlya-zhitnici-ukrayini>
52. Овчинникова Ю. Ю.. «Вплив воєнних дій на довкілля в Україні та його відновлення до природного» (10 ЛИСТОПАДА 2022 РОКУ): матеріали слухань у Комітеті Верховної Ради України з питань екологічної політики. Комітет Верховної Ради України з питань екологічної політики та природокористування. Київ, 2023. 130 с.
53. Біланюк В., Іванов Є.. Географічна освіта і наука: виклики і поступ: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 140-річчю географії у Львівському університеті (м. Львів, 18–20 травня 2023 р.). У 3-ох томах. Львів: Простір-М, 2023. Том 2. 25-29 с.

54. Бредихін В.М., Маняк М.О., Смирнов В.О., Пожусь В.І., Червоний І.Ф., Грицай В.П. Металургія кольорових металів. Підручник. Ч.7. Вторинна металургія кольорових металів, Запоріжжя, 2009. 110, 111 с.

55. Росія використовує заборонені фосфорні бомби в Україні: що буде з довкіллям?: веб-сайт. URL: <https://rubryka.com/article/phosphorus-bombs/>

56. Врятувати ґрунти від наслідків війни. Підбір рішення з урахуванням усіх технологічних складових: веб-сайт. URL: <https://agroportal.ua/blogs/vryatuvati-grunti-vid-naslidkiv-viyni-pidbir-rishennya-z-urahuvannyam-usih-tehnologichnih-skladovih>

57. Фосфорні добрива: найкращі комплекси та правила підживлення: веб-сайт.

URL: <https://zaxid.net/fosforni-dobryva-naykrashhi-kompleksi-pravila-pidzhivlennya-a-n1541391>

58. «Після війни довкілля відновиться за століття». Що роблять Мінекології, активісти та ДСНС для збереження української природи: веб-сайт.

URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/10/25/zaminovane-ta-ponivechene-yak-vidnovlyuvatymetsya-ukrayinske-dovkillya/>

59. Великобританія заохочуватиме фермерів відновлювати родючість ґрунтів: веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/news/9384-velikobritaniya-zaohochuvatime-fermeriv-vidnovlyuvati-rodyuchist-gruntiv>

60. Заборонені засоби та методи ведення бойових дій, які Росія використовує у війні проти України: веб-сайт. URL: <https://zmina.info/articles/zaboroneni-zasoby-ta-metody-vedennya-bojovyh-dij-yaki-rosiya-vykorystovuye-u-vijni-proty-ukrayiny/>

61. Піротехнічні засоби віськового призначення: веб-сайт. URL: <https://salute.lviv.ua/pirotehniczni-virobi-viyskovogo-priznachennya>

62. Хімічне забруднення від обстрілів і ракет: веб-сайт. URL: https://ecoaction.org.ua/pryroda-ta-vijna.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAn-2tBhDVARIsAGmStVme0IWeZo9nCH016NNC3w5eNZSu8vcpJqIdr42APAI5B2cp6EJFK44aAvfpEALw_wcB

63. Обробіток осушених мінеральних ґрунтів: веб-сайт.
URL:http://megalib.com.ua/content/3090_462_Obrobitok_osyshenih_mineralnih_gryntiv.html

64. Надлишок фосфору: веб-сайт. URL: https://agro-market.net/ua/news/tips_and_advice/izbytok_fosfora_u_rasteniy/#0

65. Надлишок фосфатів у ґрунті негативно впливає на стійкість рису до патогенів, - дослідження: веб-сайт. URL: <https://agrotimes.ua/agronomiya/nadlyshok-fosfativ-u-grunti-negatyvno-vplyvaye-na-stijkist-rysu-do-patogeniv-doslidzhennya/>

ДОДАТОК А

Рисунок А.1 – Градувальний графік визначення наявності фосфатів у пробі ґрунту.

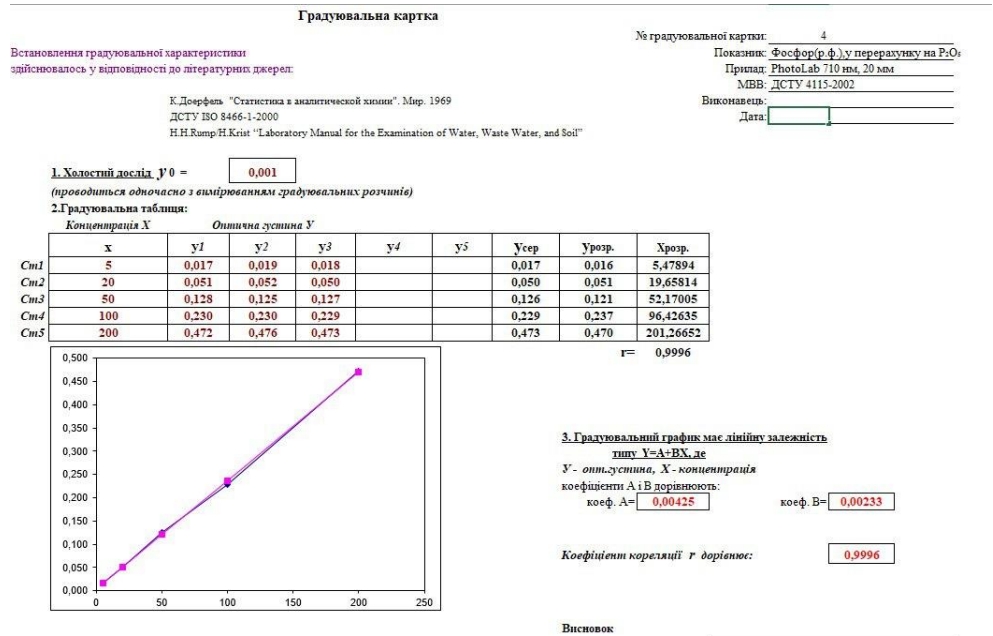


Рисунок А.2 – Градувальний графік визначення наявності нітратів у пробі ґрунту.

