Б

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

06.05 – МКР. 91 “С” 2023.01.23. 019 ПЗ

ПАВЛЮК АРТЕМ ІГОРОВИЧ

2023 р.

НУБіП України

В

НУБіП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) _____

УДК

ПОГОДЖЕНО
Декан факультету (Директор ННІ)
Факультет захисту рослин, біотехнології та екології
(назва факультету (ННІ))
Коломієць Ю.В.
(підпис) (ПІБ)
“ ” 2023 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Загальна екологія, радіобіології та безпеки життєдіяльності
(назва кафедри)
_____ Клепко А.В.
(підпис) (ПІБ)
“ ” 2023р.
р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему “Шляхи відновлення придатності земель до сільськогогосподарского використання після війни”

Спеціальність 101 “Екологія”
(код і назва)

Освітня програма Охорона навколишнього середовища
(назва)

Орієнтація освітньої програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ _____
(підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ – 2023

Д

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

“____” _____20_____року

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

_____Павлюк А.І._____

(прізвище, ім’я, по батькові)

Спеціальність _____101 екологія_____

(код і назва)

Освітня програма ____Охорона навколишнього середовища

(назва)

Орієнтація

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи__ “_Шляхи відновлення придатності земель до сільськогогосподарского використання після війни”

_____

_____

затверджена наказом ректора НУБіП України від “____”_____20___р. №_____

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

(рік, місяць, число)

Вихвідтньодіяльпродбрам

_____

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

_____ 3.

_____

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання “_____”_____20___ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

Зміст

Вступ

Розділ 1.Огляд типів бойових дій і боєприпасів, що застосовуються в Україні під час війни, і моделювання поширення забруднюючих

1.1. Огляд типів боєприпасів що застосовуєця в Україні під час війни.....37

Висновки до розділу 1.....49

Висновки до розділу 2.....74

Загальні висновки.....112

Список літератури

НУБіП України

Вступ

Війна нанесла Україні дуже велику шкоду, як із економічної так і екологічної точки зору, який матиме довгостроковий характер. Так я через війну в Україні забруднені понад мільйонів гектарів сільськогосподарських земель. За попередніми підрахунками Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, російське повномасштабне вторгнення завдало шкоди українським грунтам збитків на понад 850 мілярдів гривень. Велика територія земель буде не придатною для використання у сільському господарстві, через велику кількість скинутих авіабомб, артилерійських снарядів, тисячі мін, яких необхідно розмінувати і на яке піде роки часу. Під час здійснення стрільб і вибухів є боєприпаси з різним складом пороху та вибухових речовин, при горінні яких утворюються речовини, як-от азот, сажа, вуглеводні, свинець, двоокис марганцю та інші похідні, що негативно впливають на здоров'я людини та навколишнє природне середовище. Усі розуміють як сільське господарства відіграють велику роль у економиці , бо велика частина продукції яка іде на експорт є сільськогосподарською, а через те що велика кількість земель не використовуєця через війну і дає велику втрату, а для того щоби відновити забруднені грунти потрібно визначитись із стратегію відновлення, і по мірі забруднення використовувати метод відиовлення.

Для того щоби зрозуміти як відновити якість грунту треба оглянути типи боєприпасів, як впливають на навколишнє середовище і як шкідливі речовини поширюючи в грунті.

Розділ1.Огляд типів бойових дій і боєприпасів, що застосовуються в Україні під час війни, і моделювання поширення забруднюючих речовин у грунтах

1.1 Огляд типів боєприпасів що застосовуєця в Україні під час війни

Оцінка еколого-геохімічного стану території воєнно-техногенного навантаження показала, що майже всі типи воєнно-техногенного навантаження є потужними забруднювачами грунтового покриву і є співставними з їхніми видами впливу. Така ситуація пояснюєтьея специфікою воєнних впливів, яка

характеризується використанням та експлуатацією систем озброєння та військової техніки (Таблиця 1; Таблиця 2).

Таблиця 1. Складові воєнно-техногенного навантаження від різних видів озброєння і військової техніки на ґрунтовий покрив

Вид забруднення	Фактори забруднення	Стрілецька зброя						Артилерія								
		Пістолет	Гвинтівка	Автомат	Кулемет	Гранатомет	Вибухові пристрої	Гаубиці	Зенітні гармати	Польові гармати	Міномети	Реактивні системи залпового вогню	Протитанковий гранатомет	Танки	БМП – панцирні	Автомобільна техніка
Механічне	Гільзи															
	Снаряди, осколки															
	Кулі, осколки куль															
	Пакувальні матеріали з-під боєприпасів															
	Промаслене сміття															
	Ерозія ґрунту від вибуху															
	Ерозія ґрунту від сховищ															
	Ерозія ґрунту від руху															
	Ущільнення ґрунту															

Кількість факторів механічного забруднення			
Фізичне	Теплове	згорання порохового заряду	
		згорання розривної речовини	
		робота двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ)	
	Акустичне	згорання порохового заряду	
		згорання розривної речовини	
		робота ДВЗ	
	Вібрації	згорання порохо	

НУБіП України

	йне	вого заряду
		згорянн я розрив ної речови ни
		робота ДВЗ
		рух трансп ортних засобів
	Свїтлов е	згорянн я порохо вого заряду
		згорянн я розрив ної речови ни
Кількість факторів фізичного забруднення		
Хімічне	Порохові гази від згоряння	порохового заряду
		розривної речо

НУБіП України

	вини
Частки, які не згоріли	пороховогозаряду
	розривної речовини
Мастильні матеріали	
Вихлопні гази ДВЗ	
Забруднення грунту нафтопродуктами	
Забруднення води нафтопродуктами	
Важкі метали	
Вольфрам, карбід вольфраму, важкий сплав	
Кількість факторів хімічного забруднення	
Загальна кількість факторів забруднення	

НУБіП України

Вид зброї, що використовується	Тип зброї, що використовується	Забруднюючи речовини, що виникають в результаті бойової діяльності
Стрілецька зброя	пістолети снайперські гвинтівки автомати кулемети ручні кулемети ротні	Повітря: CO, NO_2, SO_2, HF, Hg, C_nH_m, CH_2O, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb
		Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Zn,
		Грунт: Cu, Fe, Al,Fe, Mn, Zn, Pb, Sn, Mg, P, Al, хлориди, нітрати
Гранатомети стрілецька зброя ручні гранати	автоматичні (підствольні) ручні станкові протитанкові	Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, Al, Mg, Fe C, Pb,
		Вода: Cu, Fe, Al, Pb, Zn,
		Грунт: Cu, Fe, Al, Fe, Mn,
Озброєння БМП (БТР): стрілецька зброя ручні гранати	14,5 мм КВТ 73 мм П 30 мм П 14,5 мм ВС	Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, CH_2O, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb,
		Вода: Cu, Fe, Al,Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, нафтопродукти
		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn,
Озброєння бойових машин піхоти (БМП, БТР), ручні гранати		Повітря: C, C_nH_m, CO, CO_2, NO, NO_2, CH_4, NH_3, SO_2, H_2S, HCl, Cl_2, HF, H_2SO_4, CH_2O, $C_{20}H_{17}$, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb,

НУБіП України

		Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, нафтопродукти
		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, нафтопродукти,
Озброєння бойових машин піхоти (БТР) ПТКР (на електронних тренажерах) ручні гранати		Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, HCl HF, H_2SO_4, Cl_2, CH_2O, $C_{20}H_{17}$, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb, нафтопродукти
		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Hg, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти
Озброєння танків, озброєння САУ стрілецька зброя ручні гранати	23 мм ВЯ 115 мм ТП 125 мм ТП	Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, SO_2, Fe C, Pb, нафтопродукти, Нил
		Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Zn, Hg, Pb, Cd, Cr, P, нафтопродукти
		Грунт: Cu, Fe, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, P, нафтопродукти
Озброєння танків зенітний кулемет танка ручні гранати		Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, HCl, Cl_2, HF, HCL, H_2SO_4, CH_2O, $C_{20}H_{17}$, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb,
		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Hg, Pb, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти

НУБіП України

Ствольна артилерія, міномети	76 мм П ЗІС-3; 85 мм П Д-, 100 мм ПТП МТ-12; 122 мм ГД-30,; 152 мм ПГ Д-20; 152 мм СГ 2С5; 152 мм СГ 2С19; 203,2 мм П 2С7 82 мм БМ-38, 2Б9; 120 мм ПМ; 120 мм М 2С9, 2С12; 240 мм М2С4	Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, , CH_4, NH_3, C, SO_2, H_2S, HCl, Cl_2, HF, H_2SO_4, $C_{20}H_{17}$, CH_2O, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb,
		Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Zn, Hg, Pb, Cd, Cr, нафтопродукти
		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr нафтопродукти
Ствольна артилерія ПТКР, протитанкова артилерія, бойова стрільба наземної артилерії	9К111 9К113 9К149	Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, SO_2, H_2S, HCl, Cl_2, HF, H_2SO_4, CH_2O, $C_{20}H_{17}$, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb,
		Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Hg, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти
		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Hg, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти,
Стрільби на гвинтівковому артилерійському комплекті		Повітря: CO, CO_2, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb,
		Грунт: Cu, Fe, Al, Cd,
Рух самохідноартилерійських і зенітних установок, бойових машин піхоти, колісних, гусеничних бронетранспортерів		Повітря: C_nH_m, CO, CO_2,
		Вода: Pb, нафтопродукти
		Грунт: Pb, нафтопродукти
Рух інженерних машин і автомобілів		Повітря: C_nH_m, Pb, CO, CO_2, NO, NO_2, $C_{20}H_{17}$
		Вода: Pb, нафтопродукти

НУБіП України

		Ґрунт: Pb, нафтопродукти
Рух автомобілів, гусеничних тягачів і транспортерів		Повітря: C_nH_m, Pb, CO, CO_2, NO, NO_2, $C_{20}H_{17}$,
		Вода: Pb, нафтопродукти
		Ґрунт: Pb, нафтопродукти

Таблиця 2 Забруднюючі речовини, що виникають в результаті воєнно-техногенного навантаження (система повітря-ґрунт-вода) за типами та видами використовуваних систем зброї

Вид зброї, що використовується	**Тип зброї, що використовується**	**Забруднюючи речовини, що виникають в результаті бойової діяльності**
Стрілецька зброя	пістолети снайперські гвинтівки автомати кулемети ручні кулемети ротні	Повітря: CO, NO_2, SO_2, HF, Hg, C_nH_m, CH_2O, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb
		Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Zn,
		Ґрунт: Cu, Fe, Al Fe, Mn, Zn, Pb, Sn, Mg, P, Al, хлориди, нітрати
Гранатомети стрілецька зброя ручні гранати	автоматичні (підствольні) ручні станкові протитанкові	Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, Al, Mg, Fe C, Pb,
		Вода: Cu, Fe, Al, Pb, Zn,
		Ґрунт: Cu, Fe, Al, Fe, Mn,
Озброєння БМП (БТР): стрілецька зброя ручні гранати	14,5 мм КВТ 73 мм П 30 мм П 14,5 мм ВС	Повітря C_nH_m, CO, CO_2, CH_2O, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb,
		Вода: Cu,Fe, Al,Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, нафтопродукти

		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn,
Озброєння бойових машин піхоти (БМП, БТР), ручні гранати		Повітря: C, C_nH_m, CO, CO_2, NO, NO_2, CH_4, NH_3, SO_2, H_2S, HCl, Cl_2, HF, H_2SO_4, CH_2O, $C_{20}H_{17}$, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb,
		Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, нафтопродукти
		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, нафтопродукти,
Озброєння бойових машин піхоти (БТР) ПТКР (на електронних тренажерах) ручні гранати		Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, HCl HF, H_2SO_4, Cl_2, CH_2O, $C_{20}H_{17}$, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb, нафтопродукти
		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Hg, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти
Озброєння танків, озброєння САУ стрілецька зброя ручні гранати	23 мм ВЯ 115 мм ТП 125 мм ТП	Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, SO_2, , Fe C, Pb, нафтопродукти, Нил
		Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Zn, Hg, Pb, Cd, Cr, P, нафтопродукти
		Грунт: Cu, Fe, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, P, нафтопродукти

НУБіП України

Озброєння танків зенітний кулемет танка ручні гранати		Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, , CH_4, NH_3, SO_2, H_2S, HCl, Cl_2, HF, HCL, H_2SO_4, CH_2O, $C_{20}H_{17}$, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb,
		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Hg, Pb, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти
Ствольна артилерія, міномети	76 мм ПЗІС-3; 85 мм ПД- 100 мм ПТП МТ-12; 122 мм ГД-30,; 152 мм ПГ Д-20; 152 мм СГ 2С5; 152 мм СГ 2С19; 203,2 мм П 2С7 82 мм БМ-38, 2Б9; 120 мм ПМ; 120 мм М 2С9, 2С12; 240 мм М2С4	Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, SO_2, H_2S, HCl, Cl_2, HF, H_2SO_4, $C_{20}H_{17}$, CH_2O, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb, Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Zn, Hg, Pb, Cd, Cr, нафтопродукти
		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr нафтопродукти
Ствольна артилерія ПТКР, протитанкова артилерія, бойова стрільба наземної артилерії	9К111 9К113 9К149	Повітря: C_nH_m, CO, CO_2, SO_2, H_2S, HCl, Cl_2, HF, H_2SO_4, CH_2O, $C_{20}H_{17}$, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb, Вода: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Hg, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти
		Грунт: Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Hg, Zn, Cd, Cr, нафтопродукти,
Стрільби на гвинтівковому артилерійському комплекті		Повітря: CO, CO_2, Cu, Mn, Al, Mg, Fe C, Pb,
		Грунт: Cu, Fe, Al, Cd,
Рух самохідноартилерійських		Повітря: C_nH_m, CO, CO_2,

НУБіП України

і зенітних установок, бойових машин піхоти, колісних, гусеничних бронетранспортерів		Вода: Pb, нафтопродукти
		Грунт: Pb, нафтопродукти
Рух інженерних машин і автомобілів		Повітря: C_nH_m, Pb, CO, CO_2, NO, NO_2, $C_{20}H_{17}$
		Вода: Pb, нафтопродукти
		Грунт: Pb, нафтопродукти
Рух автомобілів, гусеничних тягачів і транспортерів		Повітря: C_nH_m, Pb, CO, CO_2, NO, NO_2, $C_{20}H_{17}$,
		Вода: Pb, нафтопродукти
		Грунт: Pb, нафтопродукти

При виконанні бойових стрільб використовуються артилерійські боєприпаси, які мають характеристики, наведені в Таблиця 3 і Таблиця 4.

Таблиця 3. Артилерійське озброєння, що використовується при стрільбах

Тип боєприпасів	Маса снаряда, кг	Маса вибухової речовини, кг	Тип вибухової речовини
Осколково-фугасний снаряд ОФ-35			флегматизований гексоген (А-IX-I)
Осколково-фугасний снаряд УОФ-3			
Осколково-фугасний снаряд ОФ-462			
Ракета 9М14М		6,4 (бойова частина)	
Ракета 9М113		6,1 (бойова частина)	
Осколково-фугасний снаряд М-21ОФ			Тол ДСІ-12М (XIII)

Таблиця 4. Артилерійське озброєння, що використовується при стрільбах

Система	Види боєприпасів	Маса снаряду, кг	Боєкомплект, пострілів (шт.)	Початкова швидкість снаряду, м/с
76-мм П ЗіС-3	ОФ, Бр, Д			
85-мм П Д-44	ОФ, К			
122 мм Г Д-30	ОФ, К, А, Д, С			
152-мм ПГ Д-	ОФ, Кас, У			
152-мм ДГ 2А65 “Мста-Б”	ОФ, Кас, У			
152-мм П 2А36 “Гіацинт-Б”	ОФ			
122-мм СГ 2С1 “Гвоздика”	ОФ, К, А, Д, С			
152-мм СГ 2С3 “Акація”	ОФ, Кас, У			
152-мм СГ 2С19 “Мста-С”	ОФ, Кас, У			
152-мм СП 2С5 “Гіацинт-С”	ОФ			
203-мм СП 2С7 “Піон”	ОФ, Кас			
82-мм АМ-2Б9	ОФ			
120-мм 2С12	ОФ			
240-мм 2С4	Ф			

Снаряд, яким здійснюється постріл, складається з металевої оболонки, спорядження з вибухової речовини, детонатора та додаткових елементів. Залежно від типу боєприпасів кожний снаряд містить в собі певну масу вибухової речовини:

- 10-25% для фугасних снарядів,
- 10-15% для осколково-фугасних снарядів, 7-18% для бетонобійних снарядів, 25-35% для фугасних мін.

Це становить для снарядів малих калібрів – від 300 г до 1,5 кг вибухової речовини; для снарядів середнього калібру – від 3,2 кг до 5,5 кг; для снарядів

крупних калібрів – від 8,2 кг до 26,1 кг. Для високоточних боєприпасів маса вибухової речовини складає: для 152-мм керованого снаряда 3ОФ39 "Краснополь" – 6,5 кг; для 152-мм корегованого снаряда 3ОФ36 «Сантиметр» – 5,5 кг; для 240-мм корегованої міни 3Ф5 "Смільчак" – 24,1 кг. В реактивних снарядах систем залпового вогню маса вибухової речовини в фугасній бойовій частині складає 52,3 кг. Характеристики типових боєприпасів систем артилерійської зброї та розмір зони ураження осколками представлено в Таблиця 5.

Таблиця 5. Характеристики типових боєприпасів систем артилерійської зброї та розмір зони ураження осколками [7]

№ пп	Тип зброї	Система	Калібр, мм	Вага боєприпасу, кг	Вага оболонки боєприпасу, кг	Вага вибухової речовини, кг	Тип боєприпасу
Нарізна артилерія							
	Гармата	ПТП ЗІС-2					ОФ
	Гармата	П ЗІС-3					13290, (ОФ-350, ОФ-350В)
	Гармата	П Д-44					15600 (ОФ-
	Гармата	П БС-3					ОФ-412
	Гаубиця	САГ 2С9					8800(ОФ49)
	Гаубиця	Г Д-30					15300(ОФ24)
	Гармата	П М-46					ОФ-482М
	Гаубиця	ПГ Д-20					17410(ОФ-25)
	Гармата	СП 2С7 «Піон»					37500 (ОФ43)

Міномети			
	Міномет	М-82	О-832А, О-832С, О832У, О-12
	Міномет	2С12 «Сані»	ОФ-843Б, ОФ-843В, ОФ-34, ОФ-36
	Міномет	ПМ120	ОФ-843А(Б), ОФ-843В, ОФ-843АУ
	Міномет	М-160	ОФМ
Реактивна артилерія			
	РСЗО	БМ-13	
	РСЗО	БМ-14	М-14-ОФ(ОФ
	«Град»	БМ-21 (9К51)	9М22, 9М22У, 9М22У1, 9М22У2 М-210Ф
	«Град-1»	9К55-1	9М28Ф, 9М28Ф-1, 9М28К, 9М28Д
	РСЗО	БМ-24 М-24Ф	

НУБіП України

	«Ураган	БМ-27, (9К57)				9М27Ф
	«Смерч»	9К58				9М55К

Під час виконання кожного вогневого завдання відбувається забруднення ґрунту продуктами вибуху та уламками боєприпасів, характер розповсюдження та вплив яких на навколишнє середовище в значній мірі залежить від швидкості вибухового перетворення вибухової речовини, маси вибухової речовини снаряду.

Можна виокремити три види *вибухових процесів* [8]:

- **Процес горіння** протікає з незначною швидкістю – від сантиметра до декількох метрів на секунду, – і на відкритому повітрі не супроводжується значними механічними діями.
- **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.
- **Детонація** представляє собою вибух, що розповсюджується з постійною і максимально можливою швидкістю для даної вибухової речовини. При даному процесі досягається максимальна руйнівна сила вибуху з відповідною трансформацією середовища. Таким чином, одним з факторів вогневого ураження, що може впливати на процеси розповсюдження забруднення, є трансформація середовища в момент вибуху снарядів.

Для капсюлів-детонаторів використовують вибухову речовини для ініціювання детонації або запалення інших вибухових речовин (гримуча ртуть, азид свинцю, ТНРС (стифнат свинцю), тетразен). Для спорядження боєприпасів використовують бризантні вибухові речовини (тротил, тетрил, гексоген, тен).

Оскільки більшість чистих бризантних вибухових речовин дуже чутлива до механічних впливів, для оснащення сучасних боєприпасів, що використовуються при проведенні занять з бойових стрільб, застосовують сплави із наведених вище вибухових речовин. Не значно підвищує потужність вибухових процесів, а отже їхній негативний вплив на довкілля9. Так, сплави тротилу з гексогеном (ТГ) та алюмінієм (ТГА) вирізняються підвищеною здатністю до руйнівних дій (фугасністю). Тому їх використовують як заряди для авіабомб, бойових частин керованих та некерованих ракет, для артилерійських снарядів великих калібрів.

Для спорядження бойових частин ракет, артилерійських снарядів, мін використовують гексоген А-IX-1, який містить 5-6% флегматизаторів. Для

підвищення руйнівної та запальної дії авіаційних ракет малого калібру, боєприпасів артилерійської зброї використовують механічну суміш А-IX-2 флегматизованого гексогену з алюмінієвим порошком. Як флегматизатори застосовують вазелін, парафін, як стабілізатори – вуглекислі солі натрію, кальцію, етиловий спирт[10].

Для цих вибухових речовин характерною є висока швидкість детонації (4500-8000 м/с). Це обумовлює високу швидкість (800-900 м/с) розповсюдження та проникнення в довкілля, в тому числі і в грунт, продуктів вибуху, уламків від боєприпасів та вибухівки, а також короткочасність дії даного фактору на початковому етапі процесу.

Як метальні засоби в артилерійських снарядах для створення реактивної сили в ракетах використовуються порохи, тобто багатокомпонентну тверду систему, що здатна до горіння без доступу кисню з виділенням значної кількості газоподібних продуктів. В сучасних ракетних порохах використовують нітрати та перхлорати, пластмаси смоли. Так, у складі бездимного пороху водню та вуглеводню знаходиться більше, ніж це необхідно для створення кінцевих продуктів (води та вуглекислого газу), тому в порохових газах біля 1/3 продуктів горіння складає окис вуглеводню, який є сильною отрутою.

Вибух та горіння порохів та вибухових речовин супроводжується утворенням значної кількості газів (Таблиця 6), які містять такі речовини як азот, сажа, вуглеводні, свинець, двоокис марганцю, ідіотол і т. ін. Де 30% газів будуть розсіюватись в повітрі, а більша їх частина (важкі фракції, важкі метали) буде осідати на грунт. Оскільки у продуктах вибуху міститься до 15% водяних парів, то іони важких металів та дрібнодисперсні речовини можуть проникати у грунт у вигляді водяних розчинів.

Таблиця 6.Кількість газів, що виділяється при згорянні вибухових речовин (на 1 кг)

Вибухова речовина	**Кількість газів, л**
Піроксиліновий порох	
Нітрогліцериновий порох	
Мелініт	
Тротил	
Гексоген	
Гримуча ртуть	
Азид свинцю	
Стифнат свинцю	

НУБіП України

У піротехнічних засобах (запальних, освітлювальних, сигнальних) використовують алюміній, магній, керосин, солі азотної, хлорної кислот, оксиди заліза, перекис барію, двокис магнію, сполуки стронцію, іditол. При концентрованому застосуванні вони впливають не лише на природні комплекси, а й на техніку і озброєння, викликаючи корозію металу. Так, наприклад, в димових снарядах використовують білий фосфор, дим якого складається з краплин розчину фосфорної кислоти, дуже небезпечної отруйної рідини. При димопуску, що виконується за допомогою апаратури, встановленої на бойових спеціальних машинах, дим представляє собою дрібні краплини нафтопродуктів.

Аналіз хімічного складу вибухових речовин, які використовуються для спорядження сучасних боєприпасів при проведенні бойових стрільб, свідчить, що в результаті горіння, вибуху та детонації утворюються різноманітні похідні продукти, більшість з яких є або токсичними, або небезпечними забруднювачами.

Враховуючи миттєвість вибуху снаряда (10^{-4} – 10^{-3} с), з наведеного аналізу можна зробити висновок, що при виконанні вправ з стрільби на процеси розповсюдження забруднення впливають такі фактори: трансформація середовища внаслідок дії ударної хвилі від вибухів снарядів, обмеженість у часі та просторі дії вогневого ураження на грунт.

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

Для стрільби артилерією прямою наводкою використовують найчастіше таке озброєння 76мм.П ЗІС-3; 85мм.П Д-44; 122мм.Г Д-30; 152мм.ПГ Д-20; 152мм.Г 2А36 з використанням осколково-фугасних та кумулятивних снарядів з масою від 6,3 до 43,56 кг (відповідно маса вибухової речовини від 300г до 8,2кг).

Вправи по ураженню опорних та командних пунктів в основному виконуються стрільбою артилерії за закритих позицій з додатковим використанням мінометів 82мм.БМ-38;120мм. ПМ; 120мм. М 2С9; 120мм. М 2С12 та РСЗВ «Град» і «Ураган». Для виконання вогневого завдання використовуються фугасні снаряди та міни з масою від 3,1 кг.

Для всіх видів боєприпасів, які використовуються при виконанні вогневих завдань (фугасні, осколковофугасні, бронебійні, кумулятивні снаряди та міни), характерним є утворення ударної хвилі та продуктів вибуху, які розповсюджуються в середовищі. При досягненні снарядом перешкоди вибух та утворення ударної хвилі відбувається миттєво за 10^{-4} – 10^{-5} с. Радіус руйнування збільшується зі збільшенням маси вибухової речовини у снаряді. Для 122-мм та

152-мм снарядів з масами вибухової речовини 4,5 кг та 8,4 кг радіус руйнування в ґрунті середньої щільності відповідно порівнює 1,65 та 2,03 м[11].

Отже, внаслідок проведення бойових стрільб 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, які розділяють пористі блоки[12].

Таким чином, враховуючи наведені фактори, можна вважати, що шкідливі впливи на ґрунт, які завдаються при проведенні вогневої підготовки мають імпульсно-точковий характер. По-перше, вони досить короткочасні за своєю дією у порівнянні з часом протікання процесу фільтрації (який може займати декілька місяців або навіть років). По-друге, вони обмежені за місцем впливів, розмір яких значно менший за територію, на якій відбувається процес розповсюдження забруднення.

Згідно заходів бойової діяльності при проведенні стрільб використовуються артилерійські системи, які мають характеристики, наведені в Таблиця 7.

Таблиця 7. Види озброєння, що застосовується під час бойової діяльності

Тип озброєння	Система	Тактико-технічні характеристики
Танки та бронетехніка	БТР60, БТР70, БТР80	
	Т64, Т72	
	БМП1, БМП2	
Озброєння БМП і БТР	14,5 мм КПВТ	маса кулі – 19,1 г
	73 мм П	маса снаряда – 3,1 кг
	30 мм П	маса снаряда – 2,3 кг
Танкові гармати	124 мм ТП	маса снаряда – 15,9 кг
Міномети	82 мм БМ-37, АМ-2Б9	маса снаряда – 3,1кг
	120 мм ПМ	маса снаряда – 15,9 кг
	120 мм М2С9, 2С12	маса снаряда – 16 кг
Ствольна артилерія	76 мм П31С-3	маса снаряда – 6,2 кг
	85 мм П Д-44	маса снаряда – 9,7 кг
	122 мм Г Д-30, СГ2С1	маса снаряда – 21,76 кг
	152 мм ПГ Д-30, СГ2С3	маса снаряда – 43,56 кг
	152 мм СГ 2С5, 2А36	маса снаряда – 46 кг
	152 мм СГ 2С19, 2А65	маса снаряда – 43,56 кг
Протитанкова керована ракета	9К11, 9К113, 9К149	маса снаряда – 13,2 кг

Реактивна система залпового вогню	122 мм «Град»	маса снаряда – 66 кг
	220 мм «Ураган»	маса снаряда – 271,1 кг

Основним джерелом забруднення при проведенні вогневих стрільб виступають продукти вибуху, що представляють собою дрібнодисперсні часточки та іони важких металів, які проникають у грунт разом з водою. Іони важких металів характеризуються тим, що слабо розчиняються у воді, але при невеликих швидкостях руху рідини можуть переміщатися разом з нею13.

У Таблиця 8 наведено основні характеристики застосування бризантних вибухових речовин у боєприпасах та піротехнічних засобах, що застосовується в процесі бойової діяльності танкових підрозділів. На прикладі двох основних видів порохів – піроксилінового і нітрогліцеринового14.

Таблиця 8. Фізичні, хімічні і балістичні характеристики бездимних порохів

Фізичні, хімічні і балістичні характеристики	**Піроксилінові порохи**	**Нітрогліцеринові порохи**
Питома вага, кг/дм^3	1,56 – 1,64	1,54 – 1,62
Гравіметрична щільність, кг/дм^3	0,5 – 0,9	0,5 – 0,9
Гігроскопічність (вміст вологи), %	1 – 2	0,5 – 1
Температура спалаху, °С	170 – 180	162 – 174
Питомий об’єм газів, дм^3/кг	900 – 950	00 – 1000
Теплота вибухового перетворення, кал/кг	700 – 900	650 – 1250
Температура вибухового перетворення, °К	2900 – 3100	2400 – 3600
Сила пороху, кгдм/кг	(1000 – 1050) · 10^3	(900 – 1250) · 10^3
Вміст азоту в нітроцелюлозі (піроксиліні) N, %	12,6 – 13,1	11,8 – 13,0
Вміст нітрогліцерину, %	0,5 – 2,5	20 – 40

Вміст стабілізатора, %	0,6 – 7,0	1 – 8
Вміст домішок, %	0,06 – 0,09	1 – 10
Коволюм		
Швидкість горіння за умови щільності в 1 кг/см^2, мм/с	0,06 – 0,09	0,10 – 0,20

До порохів спеціального призначення відносять безполум'яні порохи, які під час пострілу із зброї не дають дульного і зворотного полум'я.

Під час пострілу із зброї звичайним бездимним порохом виходить полум'я, яке вдень помітне на відстані до 2 км, а вночі на відстані до 15 км. Крім того, у момент пострілу виходить сильний звуковий ефект, який тим сильніше, чим яскравіше полум'я. Відблиск полум'я засліплює також і розрахунок гармати, знижуючи його працездатність. Тобто ми маємо комплексний світловий і звуковий вплив на біотичні компоненти ландшафту, з наступним хімічним забрудненням приземного шару повітря та поверхневого шару грунту і рослинності.

Основною причиною полум'яності пострілу є присутність в продуктах розкладання пороху газів, здатних горіти, з'єднуючись з киснем повітря під час вильоту їх із ствола (окис вуглецю, водень і метан).

Під час бойових дій використовують наступні сорти бездимних порохів[15-16]:

іроксилінові порохи на сумішевому піроксиліні (на летючому розчиннику), що складаються з суміші нерозчинного № 1 і розчинного № 2 піроксиліну, залишкового спирто-ефірного розчинника, стабілізатора (дифеніламіну) і вологи. Застосовуються для виготовлення зарядів до гармат середніх і великих калібрів.

іроксилінові порохи на піроколодії (на летючому розчиннику); складаються з піроколодію, залишкового спирто-ефірного розчинника, стабілізатора і вологи. Застосовуються для виготовлення зарядів до гармат і гаубиць.

іроксилінові флегматизовані порохи (на летючому розчиннику); складаються з сумішевого піроксиліну, залишкового спирто-ефірного розчинника, стабілізатора (дифеніламіну), флегматізатора (камфори) і вологи. Застосовуються для спорядження гвинтівочних патронів.

іроксилінові безполуменеві порохи (на летючому розчиннику); складаються з тих же компонентів, що і звичайні іроксилінові порохи, і, окрім того, містять полуменегасні речовини (сульфат калію, оксалат

натрію, каніфоль, вазелін і ін.). Застосовуються для виготовлення зарядів до гармат середнього калібру.

алогігроскопічні порохи (на летючому розчиннику); окрім основних компонентів піроксилінового пороху, містять домішки, що зменшують гігроскопічність нітроцелюлози (динітротолуол, вазелін, фталати і ін.) Застосовуються для зарядів морської і польової артилерії.

видкогорючі порохи (на летючому розчиннику); складаються з тих же компонентів, що і звичайні піроксилінові порохи, але мають пористу структуру і залишкову калієву селітру. Застосовуються як запальники, для виготовлення зарядів до мінометів, мортир і гаубиць.

орохи підвищеної потужності; виготовляються на високоазотному піроксиліні з мінімальним вмістом летючих речовин або мають в своєму складі потужні вибухові речовини (тен, гексоген). Застосовуються для виготовлення зарядів до далекобійних і протитанкових гармат.

ітрогліцеринові порохи – балістіти (на важколетючому розчиннику); готуються на низькоазотному піроксиліні (розчинний № 2, сумішевий колоксилін) із вмістом нітрогліцерину 30 – 50 %, стабілізатора (цептраліт, уретан) і вологи. Застосовуються для виготовлення зарядів до гаубиць, гармат і мінометів.

ітрогліцеріні порохи – кордити (на важколетючому розчиннику); готуються на високоазотному піроксиліні № 1 або високоазотному сумішевому піроксиліні із вмістом нітрогліцерину 20 – 40 % і із застосуванням ацетону як засобу желатинізації. Застосовуються в зарядах для мінометів, гаубиць, мортир, гармат і стрілецької зброї.

ітродіглікольові порохи (на важколетючому розчиннику) із вмістом нітродигліколя 25 – 38 %, достатнім для розчинення (желатинізації) нітроклітчатки. Застосовуються для виготовлення зарядів до гармат, що мають високу початкову швидкість снаряда.

іскозні порохи (без розчинника), одержувана шляхом хімічної обробки клітковина в желатинізовану целюлозу з подальшою нітрацією азотною кислотою. Застосовуються для спорядження гвинтівочних і пістолетних патронів.

орохи на нелеткому розчиннику, що містять тверді розчинники – желатінізатори (тротил, динітротолуол, динітроанізол), виготовлені на нізкоазотном піроксиліні із застосуванням централіту для стабілізації.

При проведенні стрільб використовуються боєприпаси з різним складом пороху та вибухових речовин, при горінні яких утворюються такі речовини як азот, сажа, вуглеводнів, свинець, двоокис марганцю, ідіотол і т. ін., які негативно впливають на здоров'я людини. Так, при пострілі одного осколковофугасного

НУЦЗ України

боєприпасу зі 115 мм гармати утворюється біля 4000 л газу, який містить продукти горіння вибухової речовини гексоген. До 30% газів будуть розсіюватись в повітрі, а більша їх частина (важкі фракції, важкі метали) буде осідати на грунти.

У складі бездимного пороху пального (водню та вуглеводнів) більш, ніж це необхідно при з'єднанні його з окислювачем для створення кінцевих продуктів (води та вуглекислого газу), тому в порохових газах біля 1/3 продуктів горіння складає окис вуглеводнів, який є сильною отрутою. Для оцінки можливості очищення термічним методом проаналізуємо фізико-хімічні параметри ароматичних вуглеводнів (Таблиця 9)[17].

Таблиця 9. Фізико-хімічні властивості ароматичних вуглеводнів

Речовина	**Молекулярна вага**	**tпл. оС**	**tкип. °С**	**Розчинність у воді**
Бензол				Не розч.
Бенз(а)пірен				
Толуол				
Тротил				
Гексоген				Не розч.
Нітрогліцерин				

Слід також 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. Бензол дуже стійкий до окислення, але при створенні певних умов розпадається на вуглець та кисень.
- **Окислення** ароматичних вуглеводнів в грунті найбільшу роль грає розпад під впливом бактерій, грибків та дріжджів. Мікробний розпад проходить, як правило, внаслідок гідроксилування бензольного кільця. Деякі організми здатні повністю розкласти низько конденсовані ароматичні вуглеводні на вуглекислий газ та воду.

Слід підкреслити, що розпад ароматичних вуглеводнів у грунті не супроводжується у вимушеному порядку зменшенням потенціалу небезпечності, оскільки продукти розпаду або метаболіти, як правило, краще

розчиняються у воді та таким чином є більш рухомі, ніж саме вихідне з'єднання ароматичних вуглеводнів[18].

Токсичність газоподібних продуктів, що утворюються внаслідок згорання порохів і вибуху боєприпасів залежить від токсичності вихідної сировини (компонентів), з яких одержують бойові заряди до боєприпасів, а також від фізико-хімічного стану і складу речовин, що використовують для виготовлення бойових зарядів (Таблиця 10).

Основними продуктами вибухового перетворення нітроцелюлозних порохів є CO_2, CO, H_2, N_2 і пари H_2O. В окремих випадках продукти перетворення можуть містити CH_4 і оксиди азоту NO_2, NO_3 (у нормальних умовах горіння їх утворюється дуже мало).

Під час горіння сумішевих порохів утворюються CO_2, CO, H_2, H_2O і низка речовин, обумовлених природою окислювача та пальнозв'язувальних компонентів. Так, за рахунок перхлоратів можуть утворюватися хлориди (HCl і

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

Таблиця 10. Вміст основних забруднюючих речовин у порохових газах

№ зп	Продукти згорання артилерійських, мінометних,	ПДК, мг/м^3		Клас небезпеки
		max разова	середньодобова	

	гвинтівкових, пістолетних та порохів для холостих боєприпасів і реактивних снарядів			

Склад продуктів вибухового перетворення залежить від природи й умов горіння пороху. Чим більший кисневий баланс горіння пороху, тим більше в продуктах горіння буде містяться CO_2 і H_2O, тобто продуктів повного окиснення. Чим менший кисневий баланс пороху, тим більше продуктів неповного згоряння CO і H_2.

Більшість вибухових речовин, що є основою для бойових зарядів, це органічні речовини, які складаються з елементів вуглецю (C), водню (H), кисню (O) та азоту (N) і різних складових компонентів, в основному токсичних, під час вибухового перетворення яких утворюються стійкі продукти, в основному CO, CO2 , H2O, N2, H2, O2, та C в різних співвідношеннях і в дуже невеликих кількостях CH4, NH3, C2H2, C2N2, HCN та деякі інші речовини.

Характеристика вибухових речовин з точки зору токсичності хімічного забруднення:

ініціювальні (первинні) вибухові речовини:

- солі важких металів гримучої кислоти: гримуча ртуть $Hg(ONC)_2$ і гримуче срібло AgONC;
- похідні азотисто-водневої кислоти: азид свинцю $Pb(N_3)_2$, азид срібла AgN_3 і діазидуртріазид

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

- солі важких металів стифнінової і пікринової кислот: стифнат свинцю

ризантні вибухові речовини:

- ініціювальні (вторинні): тетрил $C_6H_2(NO_2)_3NCH_3NO_2$, ТЕН - , октоген - $C_4N_4H_8(NO_2)_4$, гексоген - $(CH_2NNO_2)_3$;
- звичайні бризантні: тротил - $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$, нітрогліколь - $C_2H_4(ONO_2)_2$, нітрогліцерин - $C_3H_5(ONO_2)_3$, пікринова кислота - $C_6H_2(NO_2)_3OH$, динітробензол - $C_6H_4(NO_2)_2$, нітродигліколь - $OC_4H_8(ONO_2)_2$; нітрати (ефіри) азотної кислоти: нітрогліцерин, нітрат амонію NH_4NO_3.

умішні ініціювальні вибухові речовини: механічні суміші гримучої ртуті, хлорату калію та трисірчистої сурми;

умішні бризантні вибухові речовини: порохи (димний, гарматний піроксиліновий, баліститний, кордитний та ін.) і піротехнічні склади (освітлювальні, сигнальні, трасуючі, запалювальні та димові).

Піротехнічні суміші поділяють на дві групи: хлоратні й нітратні. Основою хлоратних сумішів 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 - сумішів на основі нітратів є: $Sr(NO_3)_2$ + магній + флегматизатор, $Ba(NO_3)_2$ + магній + флегматизатор. Всі основні їхні компоненти є токсичними.

Вибухове перетворення вибухових речовин і засобів підривання супроводжується утворенням великої кількості газів і парів (на 1 кг ВР - 600-900 літрів), які містять токсичні оксиди та інші сполуки. До основних з них належать оксид вуглецю (CO), оксид і діоксид азоту (NO, NO_2) та солі важких металів, пари ртуті та свинцю і т. ін. Таким чином, склад і фізико-хімічні властивості ВР впливають на утворення отруйних газів під час вибухових перетворень. Якщо до складу ВР входять сірка або хлор, то у продуктах вибуху є SO_2, H_2S, HCl та Cl_2 , а коли ВР має у складі метали або їхні солі, то у продуктах вибуху присутні оксиди, карбонати, сульфати та ін.

Залежно від типу вибухові речовини (порохових зарядів), умов їхнього використання й інших чинників у продуктах вибуху присутні й інші речовини, наприклад, оксиди азоту NO, NO_2, N_2O_3, пари ртуті, свинцю і т. д. Причиною їхнього утворення є відхилення кисневого балансу від нульового: за негативного кисневого балансу утворюється більше оксиду вуглецю (CO), за позитивного - оксиду азоту (NO).

НУБіП України

Токсичні гази можуть виникати також у результаті хімічної взаємодії продуктів вибуху із навколишнім природним середовищем (атмосферним повітрям), у результаті чого вуглекислий газ (CO_2) може бути відновлений до отрутного оксиду вуглецю (CO). Оксид вуглецю (чадний газ) зустрічається скрізь, де існують умови для неповного згоряння речовин, що містять вуглець. Гази, що утворяться під час вибуху димного пороху, містять 9% CO, під час вибуху тринітротолуолу — 57% CO, мелініту — 61% CO, пікринової кислоти — 64 % CO. Оксид вуглецю (CO) і оксиди азоту (NO, NO_2) є отрутою крові. Діоксид сірки (SO_2) дратує дихальні шляхи, викликаючи спазм бронхів. Сірководень H_2S - сильна нервова отрута, що викликає смерть від зупинки дихання [19].

З наведених даних випливає, що більшість забруднювачів, які є наслідком бойової діяльності, являють собою газоподібні, розчинні чи тверді дрібнодисперсні речовини[20].

Під час бойових дій використовуються бойові машини, оснащені двигунами переважно на дизельному пальному, при спалюванні якого (на 1 км пробігу) викидається до атмосфери біля 200 найменувань забруднюючих речовин загальним обсягом до 2,6 кг, основними з яких є нафтопродукти, важкі метали, ароматичні з'єднання (Таблиця 11). Враховуючи, що моторесурс для бронетехніки на рік складає понад 4000 л, за один рік експлуатації тільки однієї такої машини викидається біля 6,3 кг свинцю, 180 кг оксиду азоту, 140 кг оксиду вуглеводнів[21].

Таблиця 11. Загальний викид основних забруднюючих речовин бронетанковою технікою

Тип військової техніки	**Витрата пального на 100 км, л**	**Тип двигуна**	**Викид забруднюючої речовини (на 1 км пробігу)**	
			група	**кількість, гр**
БМП-1, БМП-2		Д,УТД-20, Д,УТД-20С1	Нафта та нафтопродукти	
			Ароматичні сполуки	
			Важкі метали	
БТР-60 БТР-70		ГАЗ-49, ГАЗ4905	Нафта та нафтопродукти	до 75
			Ароматичні сполуки	до 30
			Важкі метали	до 45

БТР-80		Д740	Нафта та нафтопродукти	
			Ароматичні сполуки	
			Важкі метали	
Т64		Д, 5 ТДФ	Нафта та нафтопродукти	
			Ароматичні з'єднання сполуки	
			Важкі метали	
Т72		Д, В-46-6	Нафта та нафтопродукти	
			Ароматичні з'єднання сполуки	
			Важкі метали	

У Таблиця 12 приведено дані про загальний викид забруднюючих речовин бойової групи машин танкового полку.

Таблиця 12. Загальний викид забруднюючих речовин на рік озброєнням танкового полку при
проведенні бойової діяльності

Забруднююча речовина (група)	**У середньому одна машина за 1добу (гр.)**	**Кількість машин**	**Моторесурс на рік**	**Масове значення викиду у тоннах на рік**
Нафта та нафтопродукти				

НУБіП України

Ароматичні сполуки
Важкі метали

Отже, експлуатація та водіння бойової техніки призводять до високих ступенів забруднення території нафтопродуктами, свинцем та ароматичними вуглеводнями. В ході перманентної бойової діяльності в грунтах накопичують свинець, оксид вуглецю, кадмій, нафтопродукти.

. Моделювання поширення забруднюючих речовин у грунтах

Територія ведення бойових дій представляє собою обмежений регіон, на якому ведуться активні бойові дії з ураженням всіх складових ландшафту під впливом чинників воєнно-техногенного навантаження. Військові об'єкти – представляють собою рухомі (озброєння та військова техніка) або стаціонарні (позиційні райони) джерела забруднення (джерела чинників воєнно-техногенного навантаження) від яких забруднення надходить у компоненти ландшафту, зокрема грунти. У процесі реєстрації екологічних даних військовий об'єкт розглядається як відкрита ієрархічна військово-технічна система, яка має воєнно-техногенні чинники впливу на грунтове середовище. Транспортна мережа представляє собою технічні споруди, що утворені за рахунок створення автомобільних і залізничних шляхів, польових доріг та інших складових елементів шляхів пересування колісної і гусеничної бронетехніки і призводить до "блокування" поверхні екосистем і може, між іншим, блокувати шляхи міграції тварин та сприяти фрагментації біоценозів. Останнє може призвести до зниження стійкості біогеоценозів і погіршення якості грунтів.

Для проведення імітаційного моделювання можуть використовуватись розроблені спеціалізовані програмні середовища на основі комп'ютерних систем імітаційного моделювання, що знайшли широке застосування при побудові комп'ютерних моделей в різних галузях науки. Для побудови моделей екодинаміки було вибрано підсистему комп'ютерного моделювання Simulink системи комп'ютерної математики MatLab.

На основі імітаційних моделей та в середовищі Matlab SimulLink була розроблена об'єктно-орієнтована програма, яка дозволяє провести моделювання стану грунтового покриву територій із низькою та високою інтенсивністю воєнно-техногенного навантаження з урахуванням індексів забруднення та тактико-технічних характеристик боєприпасів, що застосовуються під час ведення бойової діяльності[94].

Імітаційне моделювання дозволяє отримати результати для оцінки тенденцій динаміки процесів в ґрунтах, що проходять протягом 10 років, і оцінити вплив воєнно-техногенного навантаження вій бойових дій на загальний стан екосистеми. Воно є дієвим інструментом в системі підтримки прийняття рішень щодо реабілітаційних заходів екологічної безпеки в зоні ведення БД підтримки її на необхідному рівні.

Математична модель розповсюдження воєнно-техногенних забруднень у ґрунтах описується рівнянням для тиску рідини у тріщинах p_1[95]:

$$\frac{\partial p_1}{\partial t} = \chi \, div \, grad \, p_1 + \alpha (p_2 - p_1)$$

$$\frac{\partial p_1}{\partial t} = \chi \, div \, grad \, p_1 + \alpha (p_2 - p_1)$$

де χ – коефіцієнт пьєзопроводності тріщинувато-пористого середовища, який залежить від проникності системи тріщин k_1, пористості та стисливості блоків;

η – коефіцієнт, який є новою специфічною характеристикою тріщинувато-пористої породи. При

$\eta \to 0$ – зменшуються блоки та зростає ступінь розвиненості тріщинуватості породи, а рівняння прямує до звичайного рівняння фільтрації при пружному режимі;

α – коефіцієнт, який характеризує інтенсивність обміну рідини блоків та тріщин, залежить від проникності блоків k_2 та ступеня тріщинуватості породи, в якості міри якої можна взяти питому поверхню тріщин σ, тобто поверхню тріщин, які приходиться на одиницю об'єму:

$$\alpha \sim k_2 \sigma^2.$$

Зі співвідношення розмірностей випливає

$$\alpha \sim k_2 \sigma^2.$$ Отже,

де L – середній розмір окремого блоку (питома поверхня тріщин обернено пропорційна середньому розміру окремого блоку).

Окрім того, змінюючи значення коефіцієнтів цього рівняння можна отримати рівняння фільтрації для звичайного пористого середовища або для тріщинуватого середовища.

У якості коефіцієнтів до рівняння стану входять параметри, які описують геологічні властивості середовища в цілому та гідродинамічні властивості рідини. Для території ведення бойових дій, де відбувається застосування важкого озброєння, існують певні труднощі з одержанням точних значень параметрів рівняння стану, оскільки у незначних межах вони змінюються досить часто. Тому замість точних значень фізичних параметрів, які характеризують середовище пропонується використовувати експертні оцінки (для яких можна використовувати дані, наведені у літературі, або дані, одержані в результаті загальних висновків щодо природи середовища). Також можна використовувати усередненні статистичні оцінки для значень параметрів (наприклад, середнє значення параметрів у деякі моменти часу у різних точках середовища). Враховуючи те, що математична модель у прямому вигляді не залежить від геометричних властивостей середовища, використання експертних або статистичних оцінок не зменшить практичного значення запропонованої моделі, оскільки дасть змогу дослідити принципи дії процесів розповсюдження рідини у тріщинувато-пористому середовищі.

Для представлення умов перерозподілу забруднюючих речовин у ґрунтах внаслідок застосування боєприпасів представлений приклад моделювання на території Сартанської громади (Донецька область).

Для початку визначені параметри ґрунту для моделювання: ґрунт території ведення бойових дій в районі застосування артилерійських боєприпасів, відповідно до оперативно-тактичної обстановки, має двошарову структуру.

Нехай верхній шар після застосування термобаричного боєприпасу стає перепаленим та тріщинуватопористим. Для нього використовувались такі значення параметрів модельного рівняння: пористість m = 40 % та проникність 40000 мДарсі). Оскільки для такого середовища характерним є дуже мале значення розмірів блоків, то із загальних зауважень випливає, що коефіцієнт тріщинуватості породи $\eta = 0$. Для нижнього шару ґрунту, який має тріщинувато-пористу природу, значення коефіцієнтів рівняння оцінювались так: пористість m

= 30% та проникність k = 1000÷7000 мДарсі. Враховуючи, що тиск верхніх шарів грунту на середовище

σ_{c2} майже відсутній (у даному випадку), коефіцієнт стискання = 0. Виходячи з основних оцінок розміру блоків у середовищі коефіцієнт $\eta = 0{,}4$ м^2. Значення цих параметрів можуть змінюватись у залежності від умов задачі.

Під час проведення комп'ютерного моделювання вважалось, що розповсюдження іонів важких металів та неорганічних сполук суттєво не впливає на гідродинамічні властивості води.

Для проведення комп'ютерного моделювання застосовувались програмні продукти системи MatLab.

Основним джерелом забруднення при проведенні вогневих стрільб виступають продукти вибуху, під час якого виникають дрібнодисперсні часточки та іони важких металів, які проникають у ґрунт разом з водою. Іони важких металів характерні слабкою розчинністю у воді, але при невеликих швидкостях руху рідини можуть переміщатися разом з нею.

Розріз ґрунту в районі котла артилерії поданий на Рисунок 3.

Рисунок 3. Розріз ґрунту в районі ураження артилерією

Верхній шар (до 80 см) в районі воронки складається з незв'язаного дрібнозернистого матеріалу, який утворюється в результаті викиду на поверхню з воронок від снарядів. Враховуючи його подібність до піску, його фізичні характеристики можна оцінити таким чином: проникність k = 10000 мДарсі; пористість m = 40 %.

Нижні шари ґрунту представляють собою трансформоване середовище, яке унаслідок дії ударної хвилі від вибуху снаряду перетворилося на тріщинувато-пористе середовище з такими фізичними параметрами: проникність k = 1000 мДарсі; пористість m = 25 %.

Рівень підземних вод знаходиться на відстані (2,5 - 3) м від поверхні.

У цьому випадку права частина модельного рівняння має вигляд:

НУБіП України

$$\square\, c^* \square (t)^* \square (x \square x_1)^* \square (y \square y_1)\,.$$

де c =35,7 кг (згідно наведених вище розрахунків); x_1, y_1 – координати центру підриву артилерійського боєприпасу; t_1 – умовний час виконання вогневого завдання (t_1=0).

Значення для гідродинамічних параметрів води беруться з Таблиця 13.

Таблиця 13. В'язкість і щільність основних забруднюючих рідин та води

Речовина	Коефіцієнт динамічної в'язкості (μ), сП	Щільність (ρ), г/см^3
Бензин		
Гас		
Дизельне паливо	≈ 4,0	≈ 0,9
Вода		

Початкові умови дорівнюють 0. На границі водоносного шару задаються граничні умови другого роду, оскільки відбувається вільне перетікання рідини від шару ґрунту з малою проникністю до підземних вод. На бокових границях задаються граничні умови першого роду. На верхній границі на ділянці котла артилерії задаються граничні умови другого роду, на інших ділянках границі – граничні умови першого роду.

На Рисунок 4 наведені значення промодельованої швидкості розповсюдження забруднення та показані зони розповсюдження, які утворилися. Швидкість вимірюється в см/г.

а) швидкість розповсюдження забруднення при T=1 год після виконання вогневого завдання

б) швидкість розповсюдження забруднення при Т=10 год після виконання вогневого завдання

в) швидкість розповсюдження забруднення при Т=20 год після виконання вогневого завдання

НУБіП України

Рисунок 4. Швидкість розповсюдження забруднення після виконання вогневого завдання

Аналіз результатів моделювання свідчить, що виконання вогневих завдань призвело до утворення значної зони забруднення та збереження достатньо високої швидкості розповсюдження забруднення. Після закінчення його виконання зона розповсюдження продовжувала розширюватися і лише за добу відбулося значне зниження швидкості фільтрації, і, відповідно, зменшення навантаження на грунтове середовище.

Порівнюючи результати моделювання при виконанні лише одного завдання та при виконанні комплексу вогневих завдань, можна сказати, що:

начення швидкості фільтрації при виконанні двох вогневих завдань більше, ніж при виконанні одного, що свідчить про накопичення впливів бойових стрільб;
она забруднення навколо котла артилерії при виконанні всіх запланованих вогневих завдань формується швидше, ніж при виконанні одного, однак їх розмір майже не відрізняється;
повільнення швидкості фільтрації і установлення її на низькому рівні відбудеться лише тоді, коли на повний обсяг вогневих завдань затрачуватиметься утричі більше часу, ніж при виконанні одного вогневого завдання (за умови, що після їх закінчення не здійснюється жодного впливу на уражену територію).

Узагальнені результати моделювання наведені на Рисунок 5, де показано, що скорочення інтервалів між періодами застосування озброєння та військової техніки може призвести до появи кумулятивного ефекту, тобто зростання швидкості проникнення забруднення в глибину грунту до рівня підземних вод.

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

Аналіз наведених результатів свідчить, що основною причиною виникнення загрозливої ситуації є: довготривале ведення бойових дій на одній території, постійне використання потужних засобів ураження, неврахування специфіки території, відсутність реабілітаційних заходів для її відновлення. Зрозуміло, що виконання реабілітаційних заходів під час ведення бойових дій не є можливим, а щодо інших причин, то за умови раціонального планування операції (бойових дій) деяких негативних наслідків для довкілля можна, якщо не уникнути, то хоча б їх зменшити.

Так, використовуючи різні види озброєння та військової техніки можна до певної міри зменшити рівень екологічних загроз, що утворюються під час їх застосування. Наявність перерв у використанні однотипного озброєння зменшує швидкість розповсюдження забруднень і запобігає виникненню кумулятивного ефекту. Однак, якщо ці умови не виконуються, то єдиним можливим способом запобігання екологічної загрози від неконтрольованого розповсюдження забруднення виступають заходи з реабілітації території, які можливі лише після закінчення бойових дій, що не запобігає розповсюдженню забруднення повною мірою.

За результатами комп'ютерного моделювання та прогнозування розповсюдження рідких забруднень внаслідок ведення бойових дій наведемо приклади періодів відновлення території у відповідності до видів використаного озброєння.

Так, у районі артилерійського обстрілу мінімально необхідний термін перерви між стрільбами для відновлення стану системи становить 2 тижні. При проведенні повномасштабних бойових дій (з використанням артилерії, танків, ПТКР) цей термін зростає вдвічі. Для районів пересування та застосування танків такий термін складає до 3 тижнів. Тобто, за результатами моделювання, виникнення таких перерв дає змогу шару забруднення, який утворюється внаслідок ведення бойових дій, розсіятися у великому обсязі середовища (таким чином, концентрація зменшується до рівня ГДК). Зменшення термінів перерви призводить до появи кумулятивного ефекту внаслідок чого через 43–62 доби до підземних вод може потрапити значна кількість забруднюючих речовин (Таблиця 14).

Таблиця 14. Узагальнені результати оцінки впливу наслідків бойових дій на екологічний стан

грунтів отримані під час моделювання

Характеристика поширення забруднення	Об'єкт ураження		
	Район артилерійського обстрілу	Район застосування танків	Район застосування спеціальної техніки
Максимальне значення швидкості розповсюдження забруднення	2,2 см/г	2,7 см/г	1,3 см/г
Середній термін зниження рівня швидкості розповсюдження забруднення	17 діб	20 діб	15 діб
Максимальне значення швидкості розповсюдження забруднення за недостатнього терміну перерви між впливами ОВТ	3,5 см/г	5,4 см/г	1,9 см/г
Мінімальний необхідний термін перерви у використанні об'єкта	2,5 тижні	3 тижні	2 тижні
Прогнозований час проникнення забруднення до рівня грунтових вод (глибина до 6 м) при відсутності перерви між впливами ОВТ або реабілітаційних заходів	52 доби	45 діб	60 діб

НУБіП України

Дотримання умов щодо перерв у застосуванні озброєння та військової техніки у ході бойових дій практично неможливе, тому єдиним способом зменшення екологічних загроз від неконтрольованого розповсюдження забруднення виступають заходи з реабілітації території, які потрібно проводити після закінчення бойових дій та звільнення території. Це звичайно не дозволить повністю уникнути забруднення ґрунтів і ґрунтових вод зони ураження та прилеглих територій, але значно скоротить період їх відновлення та дасть можливість безпечного їх використання у подальшому.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ І

Війни, які велися по всьому світу у XX-XXI століттях, завдали надзвичайно тяжкої шкоди для навколишнього середовища, зокрема для ґрунтів. Наявність потужної військової техніки і застосування величезних обсягів боєприпасів призвели до пошкодження ґрунтів на значних площах. Негативні наслідки для ґрунтів пов'язані не лише із безпосередніми боями, а й з діями, спрямованими на знищення ресурсної бази противника. Це – руйнування інфраструктури (напр., іригаційних каналів у Кореї) і промисловості (напр., нафтопереробних заводів і підприємств енергетики у Сербії, Хорватії, Кувейті, Іраку та інших країнах), знищення продовольчої бази та можливостей її підтримки через навмисне механічне пошкодження ґрунтів і внесення хімікатів (В'єтнам, Нікарагуа, Афганістан), спричинення пожеж, знищення лісів. Негативні наслідки для ґрунтів загалом подібні у всіх країнах, у яких велись бойові дії, - забруднення хімічними речовинами (важків метали, нафтопродукти та інші), механічне пошкодження природньої структури ґрунтів. Вторинні впливи – активація водної і вітрової ерозії, пилові бурі, підтоплення, забруднення поверхневих і підземних вод, залучення до сільськогосподарського використання цінних заповідних земель. Відновлення ґрунтів у багатьох країнах ще й досі триває (Франція, В'єтнам та інші країни).

Російсько – українська війна, зокрема після повномасштабного вторгнення у лютому 2022 року, характеризується застосуванням всього можливого арсеналу систем озброєння, військової техніки та боєприпасів. Всі типи воєнотехногенного навантаження спричиняють потужне забруднення та руйнування ґрунтового покриву. Для всіх видів боєприпасів, які застосовуються на війні (фугасні, осколково-фугасні, бронебійні, кумулятивні снаряди та міни), характерним є утворення ударної хвилі та продуктів вибуху, які розповсюджуються в середовищі. Перш за все, відбувається деформація ґрунту в усіх напрямках розповсюдження ударної хвилі. В результаті горіння, вибуху та детонації боєприпасів утворюються різноманітні похідні продукти, більшість з

яких є або токсичними, або небезпечними забруднювачами. Основним джерелом забруднення при проведенні вогневих стрільб є продукти вибуху, що представляють собою дрібнодисперсні частючки та іони важких металів, які проникають у грунт разом з водою, та уламки боєприпасів. Характер розповсюдження та вплив боєприпасів на навколишнє середовище залежить від швидкості вибухового перетворення вибухової речовини, маси вибухової речовини снаряду.

Застосування бойової техніки призводить до високих ступенів забруднення території нафтопродуктами, свинцем та ароматичними вуглеводнями. В ході перманентної бойової діяльності в ґрунтах накопичують свинець, кадмій, оксид вуглецю, нафтопродукти.

У ґрунті відбувається первинне накопичення забруднювачів із подальшим перерозподілом як у самому ґрунті, так і переходом у інші середовища – поверхневі і підземні води, рослинність, рух по трофічному ланцюгу ґрунт-рослина-людина. Прогнозування міграції забруднювачів у такій системі як ґрунт є складним через

2 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОПИС ЗАБРУДНЕНЬ ҐРУНТІВ

2.1. Типи порушень ґрунтів у зв’язку із бойовими діями

Наслідки воєнних дій для ґрунтового середовища часто недооцінюються в співставленні з втратою людських життів та об’єктів інфраструктури. Однак, погіршення якісних властивостей ґрунту є довготривалим, що суттєво знижує його продуктивні функції. З іншого боку, ґрунтам характерно відновлювати свої функціональні властивості та нарощувати продуктивність взаємозалежну в часі від типу ґрунту, типу воєнно-техногенного впливу та ландшафтних умов території. Відновлення та навіть інтенсифікація педогенезу часто нівелює спадщину воєнно-техногенного навантаження. Гіпотеза гетерогенного збурення внаслідок воєнно-техногенного навантаження припускає, що біорізноманіття є максимальним там, де існують різні типи та інтенсивності порушень, різнорідні за тривалістю та обсягом впливів, що відбуваються в ландшафті. Пришускається, що ландшафт, сформований гетерогенним порушенням, забезпечує середовище існування, придатне для видів, стійких до таких порушень та видів, поява яких у ландшафті зумовлена такими порушеннями[96].

Оцінка воєнно-техногенного навантаження на ґрунти постсенних ландшафтів здійснюється за рівнями інтенсивності бойових дій із врахуванням типів бойових забруднень. Одним із завдань екологогеохімічної оцінки ґрунтів

територій бойових дій є ідентифікація складу та структури факторів воєннотехногенного навантаження та причинно-наслідкових зв'язків між ними.

В Україні з 24 лютого 2022 року відбуваються повномасштабні бойові дії з порушеннями ґрунтового покриву. 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, пірогенна деградація, дегуміфікація тощо.

Воєнні дії спричиняють ряд механічних, фізичних та хімічних впливів на ґрунтовий покрив. Такі впливи призводять до руйнування структури та функцій ґрунтової екосистеми, ведуть до погіршення фізикогеохімічних властивостей. Для різних типів військових об'єктів комплекси порушень можуть різнитись від виду і типів бойових дій, порушень рельєфу поверхні, ґрунтів (вороки вибухів, наслідки руху бойової техніки), захисних споруд (окопів, бліндажів, вогневих точок, протитанкових споруд тощо), забруднення верхніх горизонтів ґрунтового покриву продуктами бойової діяльності, захаращенням поверхні (залишками бойової техники, захисних споруд, осколками тощо). Знищення рослинності, порушення ґрунтового покриву, дефіцит природного зволоження, опустелювання є поширеними наслідками воєнно-техногенного навантаження. Внаслідок цього різко скорочуються біологічні популяції та види, а втрата біорізноманіття посилюється зміною структури та функцій ландшафтів. Види впливів і наслідки для ґрунтів представлені у наступних підрозділах.

Розділ 2.2. Механічний вплив та наслідки для ґрунтів

Механічний вплив при воєнно-техногенному навантаженні полягає у механічній деформації ґрунтового покриву під час пересування колісної та гусеничної військової техніки, безпосереднього руху військ, будівництва приповерхневих та підземних споруд, бомбгурбації, 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.

Рух військ включає маневри гусеничної та колісної техніки, яка є важкою. Основним впливом руху на ґрунт є ущільнення з пошкодженням гумусового горизонту[97], що має прямі негативні наслідки такі як порушення водного балансу ґрунту, та спричинює розвиток вітрової та водної ерозії. При зниженні ступеня щільності підвищується розрідження водонасичених дисперсних ґрунтів.

відбувається їх перехід у текучий стан внаслідок руйнування структурних зв'язків під дією динамічного навантаження[98]. Цей процес протікає в кілька стадій (Рисунок 6): 1) руйнування структури ґрунту; 2) власне розрідження незв'язного (пилуватої відміни) ґрунту; 3) ущільнення ґрунту[99].

Рисунок 6. Перехід незв'язних водонасичених ґрунтів у розріджений стан (умовна модель)

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[100].

В результаті *ущільнення ґрунтів* погіршується адаптація рослин до змін клімату, посушливих умов і нестачі вологи[102]. Разом з тим, ущільнений в результаті механічного впливу ґрунт стає більш стійким до подальших воєнно-техногенних впливів в умовах постійної нестачі продуктивної вологи.

На трасах пересування бойової техніки утворюються *колії та багатоколійні шляхи значної глибини*, які часто заповнюються водою, що стає причиною перезволоження місцевості. Через пошкодження ґрунтового покриву також утворюються значні за площею ареали дефляції та вторинного пилового підйому, що розповсюджуються на значні території[103].

На військовій базі армії США в Форт-Райлі (Канзас)[104] моніторинг ущільнення колії, викликаного бойовими танками M1A1 Abrams показав, що щільність ґрунту збільшується в умовах підвищеної вологості, повторюваності руху та відновлюється до рівня без порушень протягом 1-3 років. Ефект ущільнення може бути вищим в перехідних до підстильної породи ґрунтових горизонтах, ніж у гумусових та гумусово-елювіальних. Дослідження механічних впливів на ґрунт в пустелі Мохаве (Каліфорнія) викликаних бойовими маневрами на початку 1940-х років[105] виявили, що рівень ущільнення у 10 см шарі ґрунту внаслідок одного проходу 27-тонного танка М3 і в непорушених ґрунтах були подібними, тоді як значні фізичні зміни відбулися на глибині 25 см. Встановлено[106], що рівень ущільнення ґрунту суглинкового гранулометричного складу, викликаного 70-тонним танком M1A2 Abrams, був однаковий в коліях і поза ними на всіх глибинах, коли вони утворювалися на сухих ґрунтах. Те ж саме спостерігається і у вологих ґрунтах, але лише в приповерхневому шарі (до 5 см).

Рівень ущільнення є значно вищий в проміжку 20-25 см, що додатково демонструє чітку кореляцію ступеня ущільнення ґрунту з вмістом вологи.

Для посилення військових маневрів в США ґрунт додатково стабілізують природними або штучними зв'язувальними речовинами (вапно, бітум, цемент). Прискорений процес консолідації за допомогою каталізаторів високого екзотермічного твердіння заснований на розпиленні полімербетонних композитів. Він є ефективним методом для будівництва і ремонту фортифікаційних споруд, вертолітних майданчиків, ракетних стартових майданчиків та інших військових споруд[107][108].

Деформації ґрунтового покриву (перемішування шарів ґрунту тощо), відбуваються внаслідок *формування приповерхневих та підземних фортифікаційних споруд* (бліндажі, окопи, траншеї, тунелі, сховища паливно-мастильних матеріалів, сховища бойових матеріалів) (Рисунок 7). Це інтенсифікує ряд небезпечних геоморфологічних процесів: зсуви, заболочування, осідання ґрунту тощо. Тому під час побудови фортифікаційних споруд слід враховувати глибину залягання ґрунтових вод та умови ґрунтового зволоження.

а б

Рисунок 7. Приповерхневі фортифікаційні споруди – траншеї : а) поблизу м. Київ; б) поблизу

м. Тростянець Сумської області (Фото: Анастасії Сплодитель)

Навмисне заболочування ґрунту з метою створення труднощів для пересування противника відбувається шляхом штучного впливу на зміни погодних умов. Відомою в цьому аспекті є операція «Попай», розроблена армією США. З метою подовження сезону дощових літніх мусонів в Лаосі, В'єтнамі та Камбоджі хмари засіювали йодистим сріблом. Використання цієї програми дозволило перманентно зривати постачання зброї та особового складу у В'єтнамі[109].

Експериментом з дестабілізації ґрунту для створення непрохідного заболочування на лініях комунікацій противника шляхом штучного формування дощів стала операція Commando Lava, де використовувалися паперові мішки, наповнені сумішшю тринатрій нітрило-триоцтової кислоти та триполіфосфату натрію, які були скинуті літаками над районами Лаосу [110].

Прикладом таких оборонних дій в Україні є навмисне затоплення заплави річки Ірпінь (березень, 2022) з метою зупинки наступальних дій рф на північних околицях Києва (Рисунок 8).

Рисунок 8. Заплава річки Ірпінь в районі Демидова — Козаровичів після підриву греблі (Фото Олександра Дмитрієва (Тихохода)

Утворення кратерів під час воєнних дій спричинене бомбардуванням. Наслідком вибухової дії є швидке вивільнення енергії, яке утворює кругову ударну хвилю, що оточує точку удару – воронку. Вибухова хвиля провокує *руйнування послідовності ґрунтових горизонтів* з очевидним порушенням повітряно-водного режиму. В результаті вибуху ґрунт частково видаляється, формуючи котлован (Рисунок 9). Ґрунт, що залишається на місці удару турбулізується, піддається динамічному ущільненню, а також містить численні металеві уламки з залишками вибухових токсичних речовин. Воронка вибуху стає місцем локалізації листового опаду з прискореними процесами вивітрювання та вилуговування[111].

Такий тип порушення ґрунту був визначений як «бомбтурбація»[112]. Під час цього процесу відбувається змішування генетичних горизонтів ґрунту, що призводить до трансформації мікрорельєфу з формуванням специфічних типів поствоєнних ландшафтів. Відкладення за межі безпосереднього валу кратеру настільки розсіяне, що рідко досліджується.

Потрапляння боєприпасів в ґрунт під гострим кутом, утворює круглу воронку з піднятим бортиком або валом, що складається з тонкого шару осколків. Вибухова дія боєприпасів під меншим кутом призводить до утворення яйцеподібних або продовгуватих кратерів, а вибухова хвиля поширюється на значну відстань за його межі. Ґрунтоутворні відклади при цих типах вибуху руйнуються та виносяться вибуховою хвилею.

Поверхня ґрунту внаслідок вибухової дії припіднімається та утворює низький вал, половину якого складають викинуті уламки. Основна частина валу є структурним підняттям підстильної поверхні, яка існувала тут перед зіткненням. Краї воронки внаслідок гравітаційного впливу та великої кількості уламків опускаються на днище. Глибина сформованої воронки залежить від складу ґрунтотвірних порід та глибини їх залягання. Якщо ґрунтотвірні породи володіють високою пористістю, формується більш глибокий кратер, ніж у щ і л ь н и х п

Найбільші за розмірами продукти вибуху залишаються на дні кратеру або переважно щільно прилягають до нього. Розмір уламків стає меншим пропорційно відстані від валу кратера. Такі уламки іменуються «ковдрою

викиду». Основні уламки поширюються переважно на один радіус від краю кратера. Із збільшенням відстані від валу вони стають неоднорідними.

Рисунок 9. Типовий кратер, утворений бомбардуванням

У сценарії **В** бомбардування порушило ґрунтовий покрив. Глибина і ширина кратера змінюється залежно від типу ґрунту та типу використаних снарядів, а також від глибини залягання ґрунтових вод. Дно кратерів, як правило, сприяє накопиченню рослинних решток, поряд із прискореними процесами вітрової та водної ерозії[114].

Місця бомбтурбації стають осередками накопичення води та органічної речовини. Невдовзі на дні кратеру або воронки вибуху формується гідрофільна рослинність, що є відмінною від типового рослинного покриву місцевості, і яка свідчить про підвищену вологість ґрунту (Рисунок 10 і Рисунок 11). Формування більш товстих шарів дернової повсті є першою ознакою нового педогенезу. Однак, якщо кратери були утворені в місцях з близьким до поверхні рівнем ґрунтових вод розвиток ґрунту та вегетація рослин сповільнюється.

Рисунок 10. Кратер, утворений авіабомбардуванням і заповнений ґрунтовими водами.
Тростянецька громада, Сумська область. (Фото Анастасії Сплодитель)

Рисунок 11. Кратер, утворений артилерійським бомбардуванням боєприпасом калібру 122 мм.
Середино-Будська громада, Сумська область (Фото Анастасії Сплодитель)

Військові фахівці США виділяють три типи кратерів, що утворюються внаслідок різної потужності та механізму вибуху боєприпасів[115]:

- *Кратерний або некратерний тип порушення* - утворені боєприпасами, що вибухнули безпосередньо над земною поверхнею. Кратери переважно неглибокі, уламки на схилах та днищі переважно відсутні. Осколкові пошкодження є значними в безпосередній близькості від місця удару.
- *Кратери, утворені боєприпасами, що вибухнули* на незначній глибині - відрізняються добре помітною «платформою зсуву», що знаходиться під кутом 45 градусів та добре сформованим навколо кратерним валом.

Утворюються звичайними артилерійськими снарядами та авіаційними боєприпасами. Утворені уламки переважно великих розмірів і можуть частково засипати кратер. Внаслідок подвійного механізму вибухової дії (вглиб ґрунту та назовні) ударні пошкодження очевидні в безпосередній близькості від місця вибуху.

- *Кратери, утворені боєприпасами, що вибухнули на значній глибині під земною поверхнею*, з майже вертикальною платформою зсуву. Оцінити реальні розміри цих кратерів важко через велику кількість уламків всередині. За їх межами спостерігається мало уламків внаслідок повністю витраченої енергії під земною поверхнею. Порушення різного типу просторово обмежуються тим, що знаходиться безпосередньо над точкою вибуху.

Бомбардування завдало ґрунтам В'єтнаму шкоди в масштабах, яких раніше не було можливості оцінити. Авіація США практикувала «килимові бомбардування» в районах, які, як вважалося, були окуповані ворожими силами. В'єтнамський кордон і є одним із прикладів багатьох територій у східній частині країни, який зазнав важких бомбардувань.

Розсекречені записи Військово-повітряних сил США свідчать, що 3205 бомб загального призначення були скинуті на цю територію площею 100 км^2. Бомбардування було частиною кампанії блокування та безпосередньої авіаційної підтримки 7-ї авіації США з травня 1970 року по серпень 1973, також відома як операція «Угода про свободу». Хоча спочатку кампанія була обмежена територією у 50 кілометрів від кордону з Південним В'єтнамом, через два місяці операцію перенесли на захід від річки Меконг[116]. «Килимові бомбардування» спричинили суттєві порушення ландшафтів регіону на смугах шириною приблизно 500 м і довжиною понад 1 км[117]. За консервативними оцінками кількість кратерів, що залишилася після цих бомбардувань, становить близько 26 мільйонів118. Втрата лісового покриву призвела до деградації ґрунтів з посиленими процесами внутрішньо-ґрунтового озалізнення та утворенням потужних конкреційних прошарків[119 120].

Вивчення довгострокових наслідків бомбардування проводилося на полі битви Першої світової війни під Верденом (Франція), де в 1916 р. під час перших артилерійських обстрілів німці випустили близько 80 000 снарядів на площі 1000 на 800 метрів. Більш ніж через століття після створення кратерів тут спостерігається потужна рослинність з накопиченням органічної речовини на їхньому дні, яка сприяла потовщенню гумусового та гумусово-елювіального горизонтів та їх швидкому закисленню[121]. Це може бути передумовою підвищеної рухливості важких металів та їх інтенсивній транслокації в суміжні

середовища (рослинність, ґрунтові води). У місцях бомбтурбації, де переважає неглибоке залягання ґрунтових вод, днища багатьох кратерів знаходяться нижче рівня ґрунтових вод протягом значної частини року. Вологість тут перешкоджає деяким довоєнним процесам розвитку ґрунту, але дає змогу започаткувати нові ґрунтові процеси, наприклад, оглеєння[122].

У місцях де ґрунтові води знаходяться не в безпосередній близькості від поверхні, а ґрунти мають низький вміст органічної речовини, кратери сприяють вегетативному росту і, як спостерігалося у В'єтнамі, містять більшу кількість органічної речовини123. У дослідженнях[124] проведених в місцях бомбтурбації на Алясці виявлено більш високі концентрації органічного вуглецю, азоту, калію та фосфору. Таким чином, формування котлованів в результаті бомбтурбації може слугувати «каталізатором» педогенезу.

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 (Рисунок 12).

Рисунок 12. Забруднення ґрунтів продуктами бойової діяльності. Харківська область (Фото Павла Волкова)

Знищення боєприпасів, мінно-вибухових речовин, пристроїв відкритого підриву є екологічно найменш сприятливим варіантом усунення їхнього надлишку. За даними Міністерства оборони Боснії і Герцеговини, у 2016 р. 322 т вибухових пристроїв (30% від запасів) знищено відкритим способом на полігоні Гламоч. З моменту заснування полігону до кінця 2016 року було знешкоджено 3,298 тонни нестійких боєприпасів та мінно-вибухових речовин. Дослідження, які проводились на полігоні виявили, що кадмій (Cd), нікель (Ni), мідь (Cu) і цинк (Zn) в ґрунтах перевищували гранично допустимі концентрації, свинець (Pb) зафіксований в межах максимально допустимих меж. Результати послідовної екстракції показують, що кадмій (Cd) і цинк (Zn) переважно зв'язані з оксидами, а свинець (Pb) і нікель (Ni) з оксидами та органічною речовиною125.

Під час *розмінування* територій руйнується гумусовий горизонт, втрачаються фізико-хімічні властивості ґрунту та відбуваються зміни гранулометричного та агрегатного стану. В свою чергу це впливає на потенційну родючість та водоутримуючу здатність ґрунту. Встановлення мін саме по собі передбачає в майбутньому турбулентність ґрунту (Рисунок 13). Вибухова детонація

забруднює грунт металевими фрагментами та залишками вибухової речовини126. Операції з очищення від наземних мін часто складні і дороговартісні, тому в бідних країнах такі наслідки можуть розглядатися як абсолютна втрата грунтових ресурсів.

Рисунок 13. Території мінування. Охтирський район Сумської області (Фото Костянтина Чирви)

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 (Рисунок 14).

Рисунок 14. Горільник поблизу с. Куповате (Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний

заповідник) (Фото Дениса Вишневського)

Дослідження воєнно-техногенного впливу на лісовий покрив Сирії виявило зменшення загальної площі лісів (31 116,0 га, 24,3%), що супроводжується зниженням їх щільності. За період 2010-2020 рр площа лісів зменшилася на 11 778,0 га (9,2%). Часті лісові пожежі, спричинені бомбардуваннями, а також відсутність стратегії відновлення лісів сприяло зменшенню лісового покриву127.

За час окупації території зони відчуження Чорнобильської АЕС у період з 24.02.2022 по 01.04.2022 було завдано шкоду грунтовому покриву на площі 14074 га внаслідок пожеж спричинених окупантами. Після звільнення зони відчуження внаслідок дії вибухонебезпечних предметів було зафіксовано пожежі на площі 18132 га.

Цілком очікуваними для грунтів територій, що пройдені пожежами, є зміна кислотно-лужних умов у бік нейтральної реакції pH, що пояснюється проникністю зольних водорозчинних сполук у грунтовий профіль та насичення поглинаючого комплексу лужноземельними елементами, що і викликає зміщення реакції середовища.

Згідно з отриманими результатами ICP-аналізу з індуктивно зв'язаною плазмою, у пробах грунту 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.

Поширеним явищем є виникнення потоків сміття та неглибоких зсувів (Рисунок 15). Додатковим негативним впливом пожеж, незалежно від їхнього походження, є забруднення ґрунтів під час горіння токсичними сполуками такими як поліароматичні вуглеводні.

Рисунок 15. Зсувні порушення ґрунту. Місто Тростянець Сумської області (Фото Анастасії Сплодитель)

Хімічний вплив та наслідки для ґрунтів

Хімічний вплив воєнних заходів призводить до зміни природних параметрів ґрунтового покриву під дією забруднюючих речовин, що утворюються внаслідок використання систем зброї та військової техніки. Довготривала військова діяльність призводить до утворення локальних воєнно-техногенних геохімічних аномалій з різним спектром вибухових та інших токсичних речовин, що може накласти на невизначений термін заборону на використання земель.

До хімічного забруднення воєнно-техногенного походження належать: пальне транспортних засобів, мастильні матеріали, сольвенти, відходи гальванічного виробництва, залишки вибухових речовин, дезактиваційні речовини, важкі метали та їхні сполуки, радіоактивні речовини. Небезпечними речовинами фізико-хімічного типу є вибухонебезпечні матеріали.

При здійсненні стрільб використовуються боєприпаси з різним складом пороху та вибухових речовин, при горінні яких утворюються такі речовини як азот, сажа, вуглеводні, свинець, двоокис марганцю та інші похідні, що негативно впливають на здоров'я людини та навколишнє природне середовище. Так, при вибуху одного 115 мм осколково-фугасного боєприпасу, спорядженого гексогеном, утворюється близько 4000 л газу, який містить продукти згоряння цієї вибухової речовини. До 30% газів розсіюється в повітрі, а більша їхня частина (важкі фракції та важкі метали) осідає на ґрунт[128129].

Вибухові речовини також відіграють значну роль у викидах металів у ґрунтове середовище. Було виявлено, що частки, викинуті від артилерійських ударів,

містять високий рівень свинцю (Pb) і міді (Cu), які можуть належати до артилерійських снарядів та стволів гармат[130]. Вибухові гранати також вважалися значним джерелом високих концентрацій свинцю (Pb)[131].

Сучасні вибухові речовини або енергетичні матеріали є азотовмісними органічними сполуками з високим потенціалом самоокислення до малих газоподібних молекул (N_2, H_2O і CO_2). Вибухові речовини засекречені як первинні або вторинні залежно від їхньої схильності до ініціації. Первинні вибухові речовини часто використовуються для запалювання вторинних вибухових речовин, таких як тротил, гексоген, октоген і тетрил.

Вважається, що масове забруднення ґрунтів протипіхотними мінами (що визначається як понад 100 км^2) існує лише в Афганістані, Боснії та Герцеговині, Камбоджі, Туреччині та в Іраку.

Ґрунтовий покрив Іраку є одним з найбільш забруднених у світі. На територію країни було скинуто 50 мільйонів касетних бомб, в результаті чого постраждалі землі займають приблизно 1730 км^2. Території мінування складають 20 мільйонів мін, численні місця замінованих територій та багато покинутих місць зберігання боєприпасів. Наземні міни зосереджені в Іракському Курдистані, в межах основної нафтової інфраструктури та в районах, що межують з Іраном, тоді як вибухонебезпечні предмети завдають шкоди районам у південних та центральних мухафазах[132].

Значне забруднення протипіхотними мінами (від понад 20 км^2 і до 100 км^2) зафіксовано також в Анголі, Азербайджані, Хорватії, Таїланді та Зімбабве. Наземні міни залишаються серйозною проблемою на кордонах Китаю та Камбоджі. Багато вибухонебезпечних речовин трапляються також на кордоні з Лаосом133. У період з 1964 по 1973 рік над Лаосом було здійснено понад 580 000 бомбардувань, при цьому було скинуто понад 2 мільйони тонн боєприпасів. Сюди входить понад 270 мільйонів касетних суббоєприпасів, які є найпоширенішою формою небезпечних боєприпасів, що залишилися. Підраховано, що 30% боєприпасів не вдалось здетонувати[134].

За даними Міністерства оборони В'єтнаму, уражені вибухонебезпечними речовинами та наземними мінами землі становлять близько 7-8% території країни135. Незважаючи на масштабні операції з розмінування в 1990-х роках, в ґрунтах досі залишається три мільйони протипіхотних мін.

Підраховано, що південний Ліван був усіяний мільйоном нерозірваних касетних бомб, скинутих силами оборони Ізраїлю в останні дні війни Ізраїлю та Лівану 2006 року[136]. Під час війни між Вірменією та Азербайджаном (1988–1994) фронтові лінії часто змінювалися, в результаті чого постраждало 37 млн. м^2 ріллі

та 35 млн. м ^{2} пасовищ Нагірного Карабаху, а 80 тис. м ^{2} виноградників стали непридатними для використання[137].

У Камбоджі мільйони мінометних бомб, реактивних і гвинтівкових гранат, артилерійських снарядів, суббоєприпасів для касетних бомб, авіаційних бомб, протипіхотних і протитанкових мін повністю покривають два райони країни. Лише невеликий відсоток території був очищений[138].

Більшість територій США та Канади, які є забрудненими вибухонебезпечними речовинами, є результатом випробувань зброї та навчальної військової підготовки. Загальна площа постраждалих земель становить близько 10 мільйонів акрів[139]. Деякі боєприпаси використовувалися ще з часів громадянської війни в США та Першої світової війни[140141].

Військова підготовка проводиться з використанням різноманітних боєприпасів, що містять набір вибухових сумішей. Основним джерелом вибухового та вуглеводневого забруднення на полігонах є залишки від детонації військових боєприпасів, включаючи снаряди (наприклад, мінометні та артилерійські снаряди), гранати, наземні міни, авіабомби та ракети. Виявлено високий ступінь просторової неоднорідності залишків[142143.] Розподіл за дальністю впливу (наприклад, від протитанкових і артилерійських стрільб і скидання бомб) описується як випадково розподілені точкові впливи[144145]. Коли відбуваються детонації артилерійських снарядів, мінометів і ручних гранат високого порядку, більша частина вибухівки витрачається і лише відносно невеликий відсоток (10 порядку не впливають на сумарні залишки забруднюючих речовин на значній відстані від позицій стрільби. В результаті детонацій низького порядку вихідний склад боєприпасів розсіюється по поверхні ґрунту[148 149].

Під час еколого-геохімічних досліджень на 23 військових полігонах у США та Канаді було виявлено, що концентрації тротилу та гексогену переважно складали сотні або тисячі мг/кг у ґрунтах поруч із детонаціями низького порядку[150].

Найбільш детально дослідженим навчальним районом США є Кемп Едвардс, де військові дії відбувалися з 1938 року. Ґрунтовий покрив мав високі показники вмісту перхлорату, гексогену, октогену та продуктів аміно трансформації тротилу. Було зафіксовано забруднення підземних вод компонентами боєприпасів[151] внаслідок вертикальної міграції.

Нерозірвані боєприпаси та наземні міни становлять серйозну шкоду для ґрунтів протягом десятків років. Загроза полягає у викидах токсичних речовин внаслідок корозії боєприпасів, а також низки ризиків, пов'язаних з випадковою

детонацією152. Під час заходів з біоремедіації[153] використовували ґрунт із заводу боєприпасів штату Луїзіана (LAAP), забруднений 10 000, 1900 і 900 мг/кг тротилу. Ці високі рівні забруднення були результатом нерелевантної санації - спалювання забруднених вибуховими речовинами ґрунтів та мулу. На іншому об'єкті армії США, на Абердинському полігоні, випробування боєприпасів призвело до осадження понад 70 000 кг урану на місцевих ґрунтах і донних відкладах[154]. Найбільше забруднення було зосереджено на глибині 10 м, вище зони насичення, але локально досягало глибини до 85 м.

Вибухові небезпеки, включно із наземними мінами та касетними боєприпасами, завдають непоправних втрат цивільному населенню під час збройних конфліктів і можуть чинити тривалий вплив після їх завершення через прямі наслідки випадкової детонації. Забруднення ґрунту наземними мінами позбавляє місцевих громад доступу до землі та природних ресурсів. В 1994 році від наземних мін постраждало 12% всіх домогосподарств Афганістану, починаючи з 1995 по 2001 рік середня кількість жертв сягала 50 осіб на тиждень[155]. Протягом шести десятиріч внаслідок таємного бомбардування Камбоджі, було вбито або поранено від нерозірваних боєприпасів понад 64 000 людей, і сьогодні кількість травм в середньому становить одну людину щотижня[156].

Значне місце в забрудненні ґрунтів займають *важкі метали*. За даними наших досліджень зони антитерористичної операції (Донецька та Луганська області) впродовж 2016-2020 рр., виявлено у ґрунтах високий вміст свинцю, міді, миш'яку, цинку, хрому, кадмію, молібдену, барію, калію, магнію та вольфраму. Вищезазначені елементи характеризують домінуючий спектр воєнно-техногенного забруднення і є провідними індикаторами для прогнозування змін екологічного стану територій із забрудненими ґрунтами та територій, що суміжні з ними.

Значне забруднення токсичними речовинами ґрунту також є результатом інтенсивних боїв у Хорватії. Вміст ртуті (Hg), арсену (As) та кадмію (Cd) перевищує тут допустимі національні законодавчі норми. У той же час у ґрунті виявлено підвищений вміст міді (Cu), цинку (Zn), нікелю (Ni), свинцю (Pb), фосфору (P) та барію (Ba) порівняно з фоновими ділянками157. Воєнні дії на Балканах та в Перській затоці призвели до значного забруднення ґрунту вуглеводнями в Кувейті, Іраку, Лівані, Єгипті, а також у Косові, Боснії та Герцеговині[158] [159].

Хоча наразі немає достовірних наукових даних, які б вказували на те, що нафтові пожежі в Кувейті мали довгостроковий вплив на ґрунтовий покрив країни, однак ніхто не ставить під сумнів їхній потужний місцевий і навіть регіональний вплив. Було зафіксовано близько 610 нафтових пожеж, що охопили сім нафтових

родовищ на північ і південь від міста Кувейт. Пожежі поглинули понад 6 мільйонів барелів сирої нафти, 70 млн м^3 нафти і 70 млн м^3 супутніх газів. Шлейфи диму шириною 15-150 км простягалися на відстані від 0 до 1000 км від пожеж[160].

Навіть при відсутності досліджень, ґрунти Кувейту очевидно зазнали негативного впливу від пірогенного та вуглеводневого забруднень.

При обслуговуванні та ремонті зразків озброєння і військової техніки в польових таборах ґрунти забруднюються *пально-мастильними матеріалами, відпрацьованими маслами, антифризами та органічними розчинниками*. В місцях збереження паливно-мастильних матеріалів, технічного обслуговування військової техніки відзначається найбільша концентрація нафтопродуктів. Найчастіше в місцях значних проливів нафтопродуктів в польових пунктах заправки за рахунок зміни хімічного складу ґрунту порушується важлива властивість ґрунту – здатність до самовідновлення та відбувається зниження біологічної активності ґрунту (Рисунок 16).

Рисунок 16. Забруднення ґрунту пально-мастильними матеріалами. Харківська область (Фото Павла Волкова)

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

Забруднення вуглеводневого походження може бути представлене як нафтопродуктами, так і складовими нафти і нафтопродуктів – парафінами, нафтенами, ароматичними вуглеводнями, їхніми похідними – бензолом, толуолом, а також поліциклічними вуглеводнями (нафталіном, периленом). Окрему групу становлять хлорвуглеводневі сполуки – діхлоретан, трихлоретан, хлорбензол тощо. Вони так само, як і толуон та інші гомологи бензолу, являють собою більшу частину сольвентів. Забруднення трихлоретаном пов’язане також із залишками ракетного пального.

Ґрунти, забруднені вуглеводнями, є джерелом токсичних газів і пилу, що переносяться повітрям та мають гострий токсичний вплив на ґрунтове біорізноманіття[161]. Бензол, толуол, етилбензол і ксилол, що виділяються зі свіжозабруднених ґрунтів можуть спричинити хронічний вплив на стан здоров’я населення. Після потрапляння в ґрунт вуглеводні можуть повністю або частково займати поровий простір ґрунту, що блокує потік повітря та води. Це впливає на

дихання коренів рослин, на ґрунтові мікроорганізми, а також на забезпечення цих біот вологою[162].

Використання білого фосфору у застосуванні запальних бомб складає загрозу продуктивному використанню ґрунтів протягом тривалого періоду часу[163]. З часом фосфор виконує роль добрива[164], хоча має тенденцію випадати в осад у вигляді апатиту в нейтральних і лужних ґрунтах або Fe- та Alфосфатів у кислих ґрунтах. Широкий набір таких ксенобіотиків включає також важкі метали, органічні розчинники, поверхнево-активні речовини, синтетичні феноли, ціаніди, діоксини, радіонукліди. Шкідливий вплив деяких з них на рослини та організми, що живуть у ґрунті, може тривати відносно довго165 166.

2.3. Фізичний вплив та наслідки для ґрунтів

Під фізичним впливом слід розуміти зміну фізичних властивостей ґрунтового покриву внаслідок застосування систем зброї та військової техніки. Розглянемо компоненти фізичного впливу різної природи на середовище від застосування систем зброї і військової техніки під час проведення воєнних заходів.

Вібраційний вплив характеризується більш низькими частотами коливань і передачею їх через тверді предмети, що безпосередньо стикаються з працюючими механізмами. Вібраційний вплив пов'язаний із генерацією під час заходів бойової підготовки енергетичних імпульсів. Разові імпульси виникають від вибухів боєприпасів на мішеневих полях та від стрільби з різних систем зброї, а періодично повторювані − це шум і вібрація від роботи військової техніки.

Джерелами вібрації на військовому полігоні можуть бути військова автомобільна та бронетехніка, а також дизельні, газодинамічні та вентиляційні установки різного призначення.

Вібрація, яка передається у ґрунті здатна призводити до його ущільнення, витискання води, просідання поверхні, утворення порожнин, зміни мікрорельєфу.

Радіоактивний вплив обумовлений підвищенням вмісту радіоактивних речовин через застосування боєприпасів із збідненим ураном, засобів та приладів із джерелами іонізуючого випромінювання. На сьогодні в Україні не зареєстровано використання такого типу зброї.

Тепловий вплив обумовлений локальним підвищенням температури внаслідок викидів нагрітого повітря, порохових газів, газоподібних продуктів вибухового перетворення боєприпасів та вихлопних газів. 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.

Під час воєнних дій з боку рф використання фосфорних боєприпасів (температура горіння білого фосфору сягає 2760°С[167]) спричиняє перепалювання ґрунту з вихідними властивостями, що сприяють злитогенезу (Рисунок 17). Зокрема, спостерігається наявність блокової структури та великої тріщинуватості в сухому стані (Рисунок 18).

Рисунок 17. Кратер, утворений фосфорним бомбардуванням. Вільнянська територіальна громада Запорізької області (Фото Анастасії Сплодитель

Рисунок 18. Середня частина профілю чорнозему звичайного малогумусного глибокого легкосуглинкового з ознаками термічного впливу, Вільнянська територіальна громада Запорізької області (Фото Анастасії Сплодитель)

Склад та взаємозв’язок воєнно-техногенних факторів впливу на ґрунти представлений на Рисунок 19 у вигляді причинно-наслідкової схеми. Запропонована схема є інструментом виявлення типів порушень ґрунту та встановлення підпорядкованості порушень основним воєнно-техногенним факторам впливу. Підходи і критерії оцінювання рівня пошкодження земель представлені у Таблиця 15 та проілюстровані на Рисунок 20.А

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

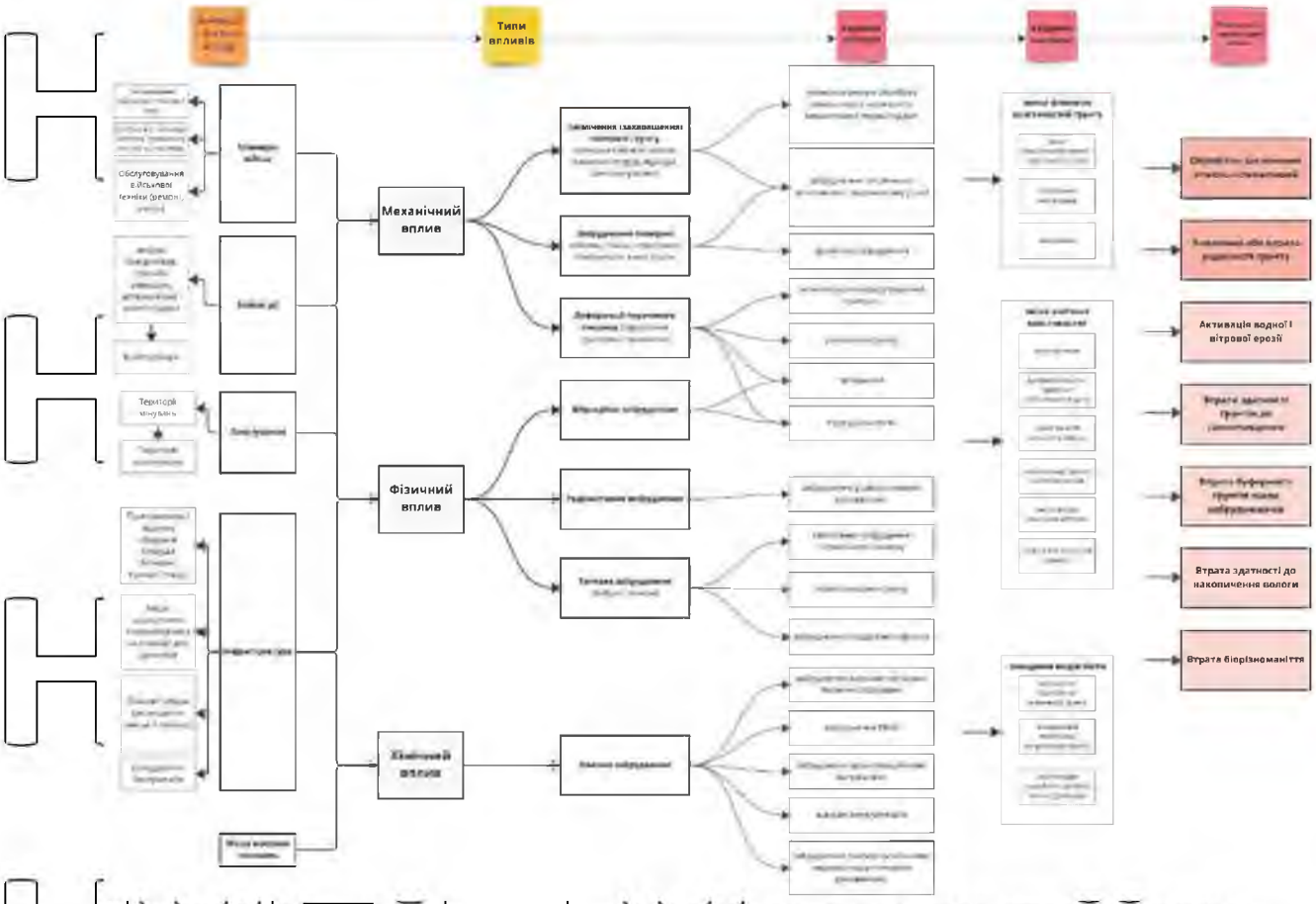

Рисунок 19 Причинно-наслідкова схема факторів впливу воєнно-техногенного навантаження на ґрунтовий покрив

Таблиця 15. Критерії рівня пошкодження земель

Рівень пошкодження (% площі ділянки)	Категорії придатності земель	Характеристика забруднення ґрунтів	Ємність буферизації, фільтрації та розкладання	Змешення потужності ґрунтового профілю	pH ґрунту	P, K вміст поживних речовин	Проникність ґрунту	Змешення запасів гумусу, % від вихідних значень	Рівень ґрунтових вод (гідроморфність	Глибина промоїн відносно поверхні, см	Площа «викинутої» ґрунтотвірної породи, % від загальної площі	Використання	Необхідні заходи
Пошкодження дуже невелика (до 10% площі ділянки)	**Безумовно придатні**	Вміст хімічних речовин у ґрунті знаходиться в межах фонових значень	Висока буферність		Слабкислa (pH 4-5)	Оптимальний вміст доступних речовин	Швидка і дуже швидка проникність (>15 см/год)		Негідроморфні			Ведення сільськогосподарської діяльності. Вирощування будь-яких культур	Не потрібні

НУБіП України

Пошкодження низького рівня 10-25% площі ділянки	**Придатні**	Вміст хімічних речовин у ґрунті перевищує фонове значення, але не вище ГДК	Середня –низька буферність	(pH 3,5–4) або (pH 4,5–5)	Достатній вміст поживних речовин	Помірно швидка проникність (5–<15 см/год)		Низька гідроморфність			Використання під будь-які культури за умови контролю за якістю сільськогосподарської продукції	Проведення агротехнічних заходів по зменшенню надходження металів у продукцію (вапнування, застосування органічних і мінеральних добрив)
Пошкодження середнього рівня 25-50% площі ділянки	**Мало придатні**	Вміст хімічних речовин у ґрунтах перевищує ГДК, але лімітуючому трансло кацій-ному показнику.	Середня буферність	(pH 3– або (pH 5–	Середній вміст поживних речовин	Помірна проникність (1,5–<5 см/год)		Гідроморфний			Використання під технічні культури без отримання них продуктів харчування та кормів Використання під сіножаті і пасовища з нормованим випасом	Фіторемедіація підбір сільськогосподарських культур, що не накопичують забруднюючі речовини. Проведення агротехнічних заходів.

Рівень пошкодження (% площі ділянки)	Категорії придатності земель	Характеристика забруднення ґрунтів	Ємність буферизації, фільтрації та розкладання	Зменшення потужності ґрунтового профілю	pH ґрунту	P, K вміст поживних речовин	Проникність ґрунту	Зменшення запасів гумусу, % від вихідних значень	Рівень ґрунтових вод (гідроморфність)	Глибина промоїн відносно поверхні, см	Площа «викинутої» ґрунтотвірної породи, % від загальної площі	Використання	Необхідні заходи

Пошкодження високого рівня 50-75% площі ділянки	**Умовно придатні**	Вміст хімічних речовин у грунтах перевищує ГДК по більшості досліджуваних забруднюючих речовинах	Низька буферність	(pH < 3) або (pH 5,5–	Низький вміст поживних речовин	Повільна і помірно повільна проникність (0,15–<1,5 см/год)		Середні гідроморфні			Використання під культурні пасовища; вирощування ефіроолійних культур	Протиерозійні, гідротехнічні, фізичні та хімічні рекультивації. Виключити вирощування культур для продовольчих цілей.
Пошкодження катастрофічного рівня 75-100% площі ділянки	**Непридатні**	Вміст хімічних речовин у грунтах перевищує ГДК по всім показникам	Дуже низька буферність	(pH >	Дуже низький вміст поживних речовин	Непроникний; дуже повільна проникність (<0,15 см/год)		Дуже гідроморфний			Вилучення із сільськогосподарського використання Консервація	Природне відновлення

Рисунок 20. Візуальне визначення рівнів пошкодження земель (використані ілюстративні зображення)

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ ІІ

Для різних типів військових об’єктів комплекси порушень можуть різнитись від виду і типів бойових дій, їх поєднання. Порушення ґрунтового покриву внаслідок бойових дій за часом прояву поділяються на дві групи: первинні (виникають безпосередньо під час бойових дій; це – прямі механічні деформації ґрунтового покриву; теплове забруднення; захаращення поверхні ґрунту) та вторинні (ті, що проявляються у поствоєнний час - підтоплення, засолення, ерозійні процеси, пірогенна деградація, дегуміфікація тощо; їх виникнення – відсутність або невиконання стратегічних заходів поствоєнного відновлення).

Воєнно-техногенне навантаження виражається у механічному, фізичному та хімічному впливах на ґрунти, що зумовлює особливі, притаманні певним діям наслідки. Механічний вплив виражається у механічній деформації ґрунтового покриву, що призводить до руйнування структури ґрунтового покриву,

ущільнення, заболочування тощо; засмічені продуктами бойової діяльності. Хімічний вплив виражається у зміні природних фізико-хімічних параметрів ґрунтового покриву (pH, ЄКО, вмісту гумусу), зростання концентрації токсичних хімічних речовин. У результаті можуть утворюватися локальні воєнно-техногенні геохімічні аномалії з різним спектром вибухових та інших токсичних речовин, що унеможливлює на невизначений термін використання земель. Фізичний вплив виражається у зміні фізичних властивостей ґрунтового покриву внаслідок застосування систем зброї та військової техніки. Зазвичай, спостерігається комплексне поєднання різних чинників, що призводить до підсилення кожного із них і виникнення кумулятивного ефекту. Про це свідчать також результати моделювання поширення забруднювачів. Для оцінювання рівня пошкодження ґрунтів слід також застосовувати комплексний підхід спряженого урахування характеру пошкодження ґрунту та змін його фізико-хімічних властивостей.

Основні наслідки для ґрунтів механічних, фізичних та хімічних впливів такі: унеможливлення обробітку земель, забруднених хімічними речовинами, засмічених уламками і відходами; зниження або втрата родючості ґрунту; втрата здатності ґрунтів до самоочищення; втрата буферності ґрунтів щодо забруднювачів; втрата здатності до накопичення вологи; активація водної і вітрової ерозії, підтоплення і заболочування, опустелювання; втрата біорізноманіття.

Вплив воєнної діяльності є настільки нищівним, що його наслідки провокують ряд процесів, які призводять до повної деградації ґрунтових ресурсів. Така загроза потребує розроблення програмних заходів з рекультивації та / або консервації земель порушених внаслідок воєнних дій.

Розділ 3 Приклад відновлення земель в інших країнах

1.1 Приклад відновлення земель у Франції

Перша світова війна суттєво змінила ґрунтово-рослинний покрив Європи, особливо в Франції, де проходила основна частина бойових дій на західному фронті. Ґрунти часто було забруднено важкими металами, такими як мідь (Cu) і свинець (Pb), а також боєприпасами, що не розірвалися. В основному на формування ґрунту вплинули такі процеси як бомбардування та утворення кратерів, а ґрунтові горизонти зачасту були перемішаними[215].

У досліджуваних ґрунтах часто трапляються латунні металеві фрагменти, що є найбільш стійкими до корозії[216]. Рівень забруднення ґрунту залежав від кількості

артилерійських снарядів, випущених артилерійських обстрілів на різних ділянках. Під час дослідження місцевості навколо Іпра (місце Першої битви за Іпр у 1914 році, Другої битви за Іпр у 1915 році та Третьої битви за Іпр у 1917 року), Мейрвенн і його колеги виявили великі концентрації міді і свинцю в грунті. Фоновий вміст міді в ґрунтах становить 17 мг/кг, але коли вони вивчили землі навколо Іпра, виявили, що третина їхніх аналітичних даних містила рівні міді, що перевищують фоновий порогового рівня 17 мг/кг, а 1,2 % їхніх даних перевищували 200 мг/кг[217]. Однак, кількість забруднення залежала від місця розташування, причому деякі райони мали значно більший вміст свинцю та міді, присутніх у ґрунті. Згідно з дослідженням, ґрунт всередині зон бойових дій демонструє підвищену частоту зразків з концентрацією міді від 10 до 60 мг/кг, тоді як за межами території зони бойових дій трапляються ділянки, на яких спостерігається значно вища кількість зразків із ще більшим вмістом Cu[218].

Дослідження показало, що «збільшена кількість миш'яку», який використовувався для виготовлення хімічної зброї, було виявлено в ґрунтах навколо полів битв Першої світової війни, особливо в місцях спалювання боєприпасів. Це продовжує впливати на людей, які живуть у цих районах, і те ж дослідження виявило, що ґрунти, забруднені іпритом, продовжують «протягом багатьох десятиліть становити як гострі, так і хронічні ризики для здоров'я людей, а також ризики для ґрунтових вод»[219,220].

Окрім забруднення ґрунтів, Перша світова війна також призвела до порушення ґрунтового покриву через оборонні/наступальні дії, такі як будівництво окопів та артилерійські обстріли, які порушували ґрунтові горизонти. За дослідженнями «значні людські порушення ґрунту в оборонних цілях були пов'язані з широкими траншейними системами на Західному фронті»[221]. В результаті ґрунтові горизонти порушувалися і перемішувалися, перериваючи педогенез (ґрунтоутворення). Порушення ґрунтового покриву відбувалося також під дією артилерійського вогню. Існували різні калібри артилерії, починаючи від 70-мм снарядів, які утворювали невеликі воронки діаметром менше метра, до масивних 420-мм снарядів, які утворювали величезні воронки діаметром десять метрів і часто щонайменше п'ять метрів завглибшки[222]. Щоб уявити собі, наскільки сильно був порушений ґрунт артилерійським вогнем, розглянемо пагорб 304 у Вердені. На початку Першої світової війни висота пагорба 304 становила 434 м над рівнем моря. Після війни висота цього пагорба знизилася на чотири метри до 430 м над рівнем моря[223].

Служба з відновлення Західної Фландрії є однією з перших організацій, що займалася питанням відновлення сільськогосподарських земель. Ця організація консультувала місцевих фермерів та допомагала відновлювати орні землі. Значне

зростання Французького союзу сільськогосподарських синдикатів Єни на початку 1920-х років також пояснюється післявоєнною відбудовою. Переважно в регіонах, де були засновані сільськогосподарські підприємства, виникали нові кантональні синдикати. Їхніми цілями було через акції протесту змінити державний інтервенціонізм.

Відновленням поствоєнних територій частково займалися вітчизняні та іноземні некомерційні організації. Відомий приклад – Комітет зруйнованої Франції (Comite Americain pour les Regions Devastees) сприяв не лише соціальній реконструкції села в Єні, а роздавав сільськогосподарський ремонтент, посівне насіння та худобу[224].

На якому рівні міжнародні благодійні організації брали участь у післявоєнному відновленні сільської місцевості достеменно не досліджено. За десятиліття після закінчення війни було відновлено більшу частину колишньої прифронтової зони: ліси заново висаджені, сільськогосподарські угіддя повернуто в обробіток. Виняток становила «Червона зона», що простягалася від Лілля на півночі Франції на південний захід від Нансі. Уряд Франції оголосив цю територію непридатною для проживання через хімічне забруднення та наявність боєприпасів, що не розірвалися (Рисунок 21)[225]. Це були райони, де вартість меліорації перевищила економічну вартість землі, тому перевагу було надано лісонасадженням.

Рисунок 21. Зонування поствоєнних територій Франції

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

Мета зонування поствоєнних територій полягала в оцінці можливостей їхнього відновлення до нормальної економічної активності. До критеріїв небезпеки місць додалися економічні міркування: вартість окремих земель була надто низькою для «зачистки», враховуючи вартість робіт з розмінування.

До 1919 року Міністерство звільнених територій Франції розділило постраждалі території на три зони залежно від ступеня руйнування:

- «Зелені зони» з мінімальними пошкодженнями,
- «Жовті зони», з важкими, але обмеженими пошкодженнями; і
- «Червоні зони», зазвичай найближчі до колишніх ліній фронту, які були повністю знищені.

НУБіП України

Зелена і жовта зони порівняно рано були повернуті в цивільне користування. Червоні зони переважно мали високий відсоток порушень ландшафту. Вони очищувалися лише поверхнево, здебільшого їх просто консервували.

У 1919 році ці червоні зони займали близько 690 квадратних миль (1800 км^2). Тут земля залишалася насиченою нерозірваними боєприпасами. Високі концентрації важких металів і хімікатів у ґрунті ще робили ще більшим ризик для життя та здоров'я. З міркувань безпеки та санітарії ці території були суворо заборонені для будівництва житла, сільського господарства та навіть лісництва.

Французька служба Securite Civile, яка відповідає за відновлення земель, вважає, що за нинішніми темпами може знадобитися до 700 років, щоб повністю очистити всі залишки снарядів і гранат Першої світової війни з землі Франції[227].

Близько 120 000 гектарів спочатку були віднесені до червоної зони, території, «замороженої» державою, яка купила відповідну землю. Хоча консолідація земель заохочувалась французьким урядом, лише 120 050 га було перерозподілено між 50 французькими фермерами з метою швидкого відновлення сільськогосподарських угідь. Починаючи з 1928 р 90 % довоєнної орних земель знову були у використанні. У Франції Міністерство Звільнених регіонів підрахувало, що від війни постраждало 3,5 мільйона гектарів сільськогосподарських угідь пошкодження[228]. У Франції було створено три державні служби для відновлення спустошених регіонів. Державна служба надзвичайних ситуацій виконувала заходи з розчистки та вирівнювання колишньої зони бойових дій. Моторизована сільськогосподарська служба та Управління відновлення сільського господарства проводили меліоративні та культиваційні роботи[229]. Підготовчі роботи було здебільшого завершено до кінця 1921 року.

У 1919 році Служба відновлення земельної власності була заснована у Франції для сприяння та проведення консолідації земель. Можливість компенсації власникам земель була зафіксована на початку війни. Однак, місцеві фермери уникали перерозподілу, побоювалися, що їх нововиділені землі були б нижчої якості. Не маючи довгострокового бачення, вони віддали перевагу самостійному відновленню своїх земель.

Великі фермери лобіювали повернення цих багатих сільськогосподарських угідь в обробіток. Внаслідок опору місцевих землевласників (особливо Па-де-Кале,) червона зона скоротилася майже на 70 % з 178 511 га в 1918 році до 48 820 га в 1928 р. 200 га було врешті залісено; інші землі були повернено в обробіток або було передано уряду, щоб стати місцями пам'яті[230].

Незважаючи на неоднозначні погляди щодо лісонасадження протягом 1920-х років, озеленення червоної зони на півночі Франції сприяло збільшенню площі її лісів на 11 527 гектарів231. Це призвело до реконструкції червоної зони, за допомогою якої було відновлено близько 4000 га в Маасі і врештірешт перепродано державою, тоді як 14 000 га було залісено232.

Розділ 4 Стратегі відновлення ґрунтів

4.1 Відновлення ґрунтів по агротехнології

Перед тим як відновлювати ґрунти потрібно розмінувати і зачистити території навіть якщо ця територія не буде використовуватися для сільського господарства, а чому не буде використовуватися причиною є забрудненість ґрунтів є токсичність їх, і вище згадано є приклад Франції, а за допомогую моніторингу будуть визначатись які території можуть використовуватися для сільського господарства, і одним із прикладів є рекультивація.

Рекультива́ція — штучне відновлення родючості ґрунтів і рослинного покриву після техногенного порушення природи.

Вибір технології рекультивації значною мірою залежить від характеру та ступеня забруднення, цільового призначення або використання ділянки, що відновлюється, а також від наявності результативних та економічно ефективних технологій. Фізико-хімічні характеристики ґрунту та кліматичні умови також є важливими питаннями при виборі методів рекультивації

Сівозміна. Хімічне забруднення ґрунтів безпосередньо впливає на умови росту і розвитку кореневої системи рослин. На забруднених ґрунтах особливу агрономічну цінність мають культури, які можуть давати врожай за підвищеного вмісту важких металів та радіонуклідів, але при цьому їх концентрація у зерні не перевищує максимально допустимі рівні. Одна із таких культур — кукурудза. А от соняшник — навпаки, має природну властивість накопичувати цезій та кадмій, причому концентрація останнього може перевищувати діючі обмеження.

Фіторемедіація. Це комплекс методів очищення стічних вод, ґрунтів і атмосферного повітря з використанням зелених рослин. Забруднений ґрунт можна поступово відновити, висіваючи культури, які мають високий винос забруднювача і бажано значну біомасу.

Наприклад, коноплі виносять із ґрунту багато свинцю, кадмію, міді та цинку. За вмістом важких металів горох на забруднених ґрунтах близький до конопель, але

їх винос менший (біомаса конопель більша). Ще один варіант, про який останнім часом часто згадують, — вирощування такої енергетичної культури як міскантус гігантський. Загалом перелік культур для фіторемедіації досить широкий, проте залишається відкритим питання подальшої утилізації рослинних решток із високим вмістом забруднювача.

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.

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.

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.

Хімічна меліорація. На кислих ґрунтах можна зменшити рухомість важких металів і радіонуклідів за рахунок внесення вапнякових матеріалів. При pH 6,5 спостерігається найменша розчинність і, відповідно, доступність важких металів. Кальцій є антагоністом не тільки для забруднювачів, тому при вапнуванні можуть блокуватися рухомі сполуки макро- і мікроелементів (фосфор, цинк, марганець тощо), що варто враховувати при побудові системи удобрення.

На лужних ґрунтах для боротьби із забруднювачами варто проводити гіпсування.

Для детоксикації надлишку важких металів також можна використати цеоліти. Так при їх застосуванні на кислих ґрунтах, забруднених свинцем, вдавалося знизити вміст цього металу на 30%. Серед інших матеріалів доведена ефективність базальтових туфів, які, як сорбенти, очищують ґрунти від радіонуклідів і важких металів.

Система удобрення. Найдієвіші добрива на порушених ґрунтах в ході воєнних дій — органічні. На ділянках, що забруднені важкими металами

внаслідок вибухів, органічні сполуки утворюють із забруднювачами комплекси, які є малорухомими.

На полях, які вигоріли, відбувається зниження вмісту гумусу, знищення мікробіоти і рослинних решток, а концентрації рухомих форм важких металів підвищуються. Органічні добрива можуть поступово виправити негативні наслідки пожеж.

Фосфорні добрива мають здатність до детоксикації важких металів. В результаті взаємодії у грунті утворюються фосфати металів (свинцю, цинку та ін.), які є важкорозчинними сполуками і малодоступні для рослин. На кислих ґрунтах економічно доцільніше використання фосфоритного борошна.

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.

Вибір технології очищення, що дає змогу оптимально компенсувати вплив забруднювачів на грунти, потребує комплексного розгляду сукупності різних чинників. Головними з цих чинників є: потенційні можливості технології вирішити основне завдання – зниження вмісту забруднюючих речовин; витрати на здійснення процесу; доступність і готовність до застосування технології; вплив на навколишнє середовище; тривалість процесу; громадська думка; оцінка масштабності та вартості.

Нарязі методи обробки забрудненого грунту включають фізичну, хімічну та біологічну ремедіацію
(очищення) (Рисунок 22). Порівняння переваг, обмежень і процедури цих практик наведені у

Таблиця 19 і
Таблиця 20.

Таблиці можливостей технологій рекультивації грунтів внаслідок хімічного впливу (Таблиця 21) і фізичного та механічного впливу (Таблиця 22) містять зв'язок пропонованої практики з аналізом її переваг та обмежень, типом забруднення, сценарієм використання території та переліком зацікавлених стейкхолдерів. Таблиця 21 і Таблиця 22 підготовлені на основі опрацювання досліджень

Рисунок 22. Методи рекультивації забруднених земель

Таблиця 19. Показники, що характеризують технології відновлення ґрунтів

Масштаб застосування	**Експлуатаційна надійність - ЕН**	**Термін застосування -ТЗ**	**Загальна вартість – ЗВ (затрати на експлуатацію технології)**
Регіональний (Р)	Природне відновлення	Залежно від природи забруднення	
Локальний (Л)	Низька, високі експлуатаційні затрати	Більше 2-3 років	> 500 USD за тонну
	Середня надійність, Середні затрати при експлуатації	1-2 роки	200 – 500 USD за тонну
	Висока надійність, низькі затрати при експлуатації	0,5-1 рік	< 200 USD за тонну

Таблиця 20. Орієнтовна вартість використання технологій відновлення ґрунтів

№	**Технологія**	**Орієнтовна вартість**
	Землеробство	Лабораторні дослідження від 20 000 USD(1 м^3), пілотні дослідження від 100 000 Обробка 1 м^3 ґрунту до

	Стабілізація	Вартість технології з реагентами складає (за 1 м^3) від 50 USD до 120 USD – для поверхневих забруднень, від 200 USD для глибинних. Окремо закладається вартість на обладнання від 200000 USD залежно від особливостей території, вартості електроенергії
	Фітосанація	Вартість 1 га потужністю 0,5 м грунту складає від 150 USD до 250000 USD
	Компостування	Вартість технології залежить від кількості обробленого грунту, доступності добавок, типу забруднюючих речовин і складає 200 USD за 1 м^3 при обробці 20000 м^3 грунту
	Хімічне вилуговування (промивання)	Вартість технології складає від 30 USD до 300 USD за 1 м^3 грунту з урахуванням типу та концентрації речовин, що входять в склад розчину
	Термічна десорбція	Вартість обробки складає від 10 до 70 USD за 1 м^3 грунту. Пілотні дослідження сягають затрат від 10000 USD. Концентрація забруднень, ландшафтно-геохімічні умови визначають верхню межу вартості

НУБіП України

	Хімічна екстракція	Вартість технології оцінюється від 150 USD до 500 USD за 1 $м^3$ ґрунту
	Хімічне окислення/відновлення	Вартість всього процесу оцінюється в межах від 200 до 500 USD за тонну обробленого ґрунту без врахування затрат на аналітичні дослідження
	Захоронення	Вартість 1 т складає від

Таблиця 21. Технології рекультивації ґрунтів внаслідок хімічного впливу

ЕН – експлуатаційна надійність; **МЗ** – масштаб застосування; **ТЗ** – термін застосування; **ЗВ** – загальна вартість)

Категорія	**Технологія**	**Зміст**	**Переваги**	**Обмеження**	**Тип забруднення**	**Сценарії використання ділянок**	**Залучення стейкхолдерів**	**ЕН**	**МЗ**	**ТЗ**	**ЗВ**

	Технологія видалення забрудненого шару	Використання методів перевертання грунту та видалення поверхневого шару	Підходить для ділянок з невеликими забрудненими площами	Високий обсяг інвестицій; руйнування структури грунту; ризик вторинного забруднення	Важкі метали	Залісення (Клен гостролистий	Інвестори, міжнародні донори	ОО Р
Фізична рем едіація									

НУБіП України

Стабілізація	Передбачає фізичне зв'язування забруднюючих речовин в межах стабілізованої маси (інк	Низька вартість установки; утворені та стабілізовані матеріали є стабільними	Сумнівна результативність затверділих/стабілізованих матеріалів; необхідність подальшого моніторингу вмісту важких металів; економічна недоцільність, лише у випадку, коли сорбенти є місцевою сировиною	Важкі метали	Виключення із сільськогосподарського використання, створення буферних зелених зон	Місцева влада, громада, користувачі	Р

НУБіП України

апсуляція) або індукування хімічних реакцій між стабілізуючим агентом і забруднюючими речовинами з метою зменшення їх рухливості та токсичних ефектів.

НУБіП України

ті (стабіліза ція). Використання природних (цеоліти — клиноптилоліт) і штучних (комплексоутворювачі, іонообмінні смоли, активоване вугілля, відходи деяких виробництв) сорбентів

	Технологія термодесорбції	Використання високочастотних електромагнітних хвиль, що провокує підвищення температури ґрунту та випаровування забруднюючих речовин. Їхні	Відносно безпечний, можевидалити 99,8% елементів забру	Високе споживання енергії; ризик знищення поживних речовин (висока температура) та	На фтопродукти, важкі метали ртуть нервовопаралітичні речовини	Вирощування бобових культур з періодичним контролем якості ґрунтів	Інвестори, державні органи		Р		

НУБіП України

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

Категорія	Технологія	Зміст	Переваги	Обмеження	Тип забруднення	Сценарії використання ділянок	Залучення стейкхолдерів	ЕН	МЗ	ТЗ	ЗВ
		пари транспортуються в	найбільш забруднених рай	порушення властивостей ґрунту; використовується в							

НУБіП України
НУБіП України

сис тем у очи стк и під вак уум ом або про кач ують ся інер тни м газо м із вик ори ста ння м обр обк и збо ру кон ден сату для ути ліза ції еле мен тів з

	абруднювачів.					
Електрокінетична технолргія	Видалення забруднювачів з ґрунту за рахунок електрохімічних і електрокінетичних пр	Простаекс плуатація; очевидний ефект і відсутність вторинного забруднення ґрунту	Використання від разу після виявлення забруднення ґрунту; невелика площа	Важкі метали, нафтопродукти	Залісення (Тополя) sp.) для миш’яку As і кадмію	Інвестори, державні органи, місцева влада

осесів, що протікають під впливом постійного електричного поля

Захоронення	Механічне видалення ґрунту, розміщення його на спеціально відведених майданчиках, які вистилаються поліетиленовою мем	Мите очищення; високий рівень безпеки; довгострокова	Висока вартість, що вимагає додаткової землі для зберігання забрудненого ґрунту; не підходить для ґрунтів із сильною водо	Важкі метали	Використання під будь-які культури за умови контролю якості сільськогосподарської продукції	Інвестори, державні установи	Р

НУБіП України

бра
ною
в
и
с
о
к
о
ї
щ
і
л
ь
н
о
с
т
і
т
а
і
н
ш
и
м
и
п
р
о
т
и
ф
і
л
ь
т
р
а
ц
і
зчи
нні
ст
ю
або
вис
око
ю
про
ник
ніс
тю
заб
руд
нюю
чих
реч
ови
н, а
так
ож
діля
нок
з
час
то
ю
гео
лог
ічн
ою
акт
ивн
іст
ю
та
вис
ки
м

ічним речовинами, реагентами та іншими рідинами або газами, здатними знищити забруднення з ґрунту. Важкі метали

ґрунту; низька вартість

нтів; можливе забруднення ґрунтових вод; велике споживання води, необхідної для приготування промивного розчину

соняшнику звичайного (Helianthus annuus) для кадмію (Cd), хрому (Cr) і нікелю (Ni), цезію (Cs) і стронцію періодичним

	в грунті переводяться в рідку фазу шляхом опадів, іонного обміну, хелатування та адсорбції					
Хімічна екстракція	Додавання реагентів або матеріа	Важкі метали фіксуються в грунті	Непостійне рішення, оскіль	Галогеновані розчинники, нафтопродукт	Створення буферних зелених зон	Державні органи, місцева влада, гро

НУБіП України

	нок	лів у забруднений ґрунт для утворення слаборозчинних матеріалів	шляхом адсорбції, в результаті чого стають найменш доступним для вирощуваних рослин	ки важкі метали потрапляють у ґрунт за сприятливих умов для вивітрювання	и, свинець	оля, береза, верба)	мада, екологічні НУО				
	Хімічне окислення	Застосування хімічних окислювачів дл	Очищення території за короткий період час	Ризик неповного окислення та утворення ток	Важкі метали	Залісення: акація віль	Державні органи, місцева влада, громада,		Л		

НУБіП України

я трансформації забруднювачів в меншотоксичні аналоги, що мають більшу стійкість та меншу мобільність	у, економічно ефективний	сичних проміжних речовин, зменшення проникності ґрунту	хаклен гостролистий	екологічні

Окислювача

	ми найчастіше є озон, перекис водню, перманганат, хлор або двоокис хлору					
Хімічне відновлення	Трансформація забруднювачів	Застосування в широкому діапазоні; здатність обробляти	Відновники є неселективними і можуть реагувати з гру	Вибухові речовини та окислені неорганічні	Використання під будь-які культури за умови контролю якості	Місцева влада, громада, користувачі	Л

НУБіП України

НУБіП України

Категорія	Технологія	Зміст	Переваги	Обмеження	Тип забруднення	Сценарії використання ділянок	Залучення стейкхолдерів	ЕН	МЗ	ТЗ	ЗВ
		дієвідновникі валізонульової валентності тощо	високі концентрації	нтовим							

забруднюючих речовин	матеріалом. грунти з низькою проникністю обмежують ефективність; наімм обілізацію металів можуть вплинути зміни у фізико-хімічних вла	речовини (перхлорати тощо)	сільськогосподарської продукції

НУБіП України

				сти вос тях гру нту			
Вне сення міне рал ьни х добр ив	Рух ливі сть заб руд нюю чих реч ови н змі нюю ється ся під діє ю мін ера льн их доб рив Спр ияє зни же нн ю	Від тво рен ня орг аніч ної реч ови ни гру нту; збі ль ше ння біол огіч ної акт ивн ості	Виб ірко вість дії; зале жні сть від тип у гру нту	Важ кі мета ли	Вик орис тання під будь -які куль тури за умов и конт рол ю якос ті сільс ького оспо дарс ь кої прод укції	Міс цева влад а, гром ада, кори стув ачі	Л

		концентрації важких металів у рослинах за рахунок прояву ефекту «біологічного розбавлення»							
Біологічна ремедіація	**Біовентиляція**	Використання мікроорганізмів для роз	Економічно ефективний; посилює акт	Довготривалий; залежний від характерис	Вуглеводні зол, етилбензол, толуол	Посівдюцерни посівної (Medicago sativa) та сої	Інвестори, громада, користувачі	Л	

НУБіП України

кладання органічних сполук з метою адсорбції. Ця технікапередбачає стимуляцію повітряного потоку для підвищення рівня кисню та пос

ивність мікробів

тик ґрунту (водопроникність тощо)

звичайної

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

	илення біорекомедіації за рахунок підвищення біоактивності мікрофлори					
Вермікомпостування	Використання доцільних черв’яків для видалення забруднювачів із ґру	Збільшення доступності поживних речовин; підвищення шв	Складність практичного застосування (дощові черв’яки потребують	Нафтопродукти	Вирощування кормових культур	Інвестори, громада, користувачі

НУБіП України

Категорія	Технологія	Зміст	Переваги	Обмеження	Тип забр	Сценарії	Залучення	ЕН	МЗ	ТЗ	ЗВ
		нту, нафтопродукти можуть адсорбуватися. Транзит кишківника дощового черв’яка може змінювати структуру ґрунту шляхом	ідкості біодеградації забруднюючих речовин	ь чітко визначених умов, щоб вижити, і це може бути дорогим							

НУБіП України

					удне ння	**вик орис тан ня діля нок**	**стей кхол дері в**				
		руй нув анн я та утв оре ння орг ано мін ера льн их ком пле ксів		у вип адк у вел ики х тер ито рій, які під ляга ють рек ульт ива ції)							
	Фіто сана ція унок	Обр обк а заб руд нен ої тер ито рії рос лин ами кон цен трат ора	Рос лин и пер ено сять вис окі кон цен тра ції мет алів у кор	Пот реб а в зна чни х за пло щею тер ито ріях ; три валі сть	Текс оген , важ кі мета ли, хлор овані розч инн ики вибу хові	Пос адка дере в, що фікс ують азот та мож уть пок ращ ити фор мува	Міс цева влад а, гром ада, кори стув ачі				Л

НУБіП України

ми для усунення забруднювачів шляхом розщеплення забруднювача корінням рослин до менш токсичного елемента або поглинання забруднювача	ені, стеблата листя	обробки; залежність від кліматичних умов	вини, нафтопродукти	нням гумусового горизонту акація віль ха (Alnus), лох		

	накопичення його в стеблах і листі рослини.						
Фітостабілізація рослинами	Рослини стабілізують ґрунти, отже, забруднюючі речовини, що містяться в ньому	Економічно ефективний; прискорення росту рослин; поглинання та перемішення	Обмежується невеликими неглибокими ділянками забруднення; довготривалий результат	Нафтопродукти, Цинк, миш'як (As), хром (Cr), кадмій (Cd), свинець (Pb), мідь	Залісення для As і підтримує високий потік,	Місцева влада, громада, користувачі	Л
					щоб запобігти низхідному вимиван		

НУБіП України

		(на приклад, Cu, Zn). Запобігає ерозії та зменшує вимивання забруднюючих речовин.	металу	тивності, має низьку ефективність		ню). Вирощування Міскантуса велетенського (Miscanthus) та насадження Верби енергетичної					
	Фітоекстракція	унок	Рослини з високою біомасою, які поглинають і нак	Поглинання та транслокація забруднюючих реч	Довготривалий щодо результативності; економ	Нафтопродукти, розчинники, тротил, радіонукліди	Посів: Череда волосиста (Hill) для евин	Місцева влада, громада, користувачі		Л	

НУБіП України

		опи чу ють важ кі мет али (на прик лад, As, Cd, Zn), над ли шо к кат іон ів (нап рик лад, Na) або пож ивні реч ови ни (на прик лад,	ови н	ічна ефе кти вніс ть неп ере кон лив а;	цю і цин ку						
Кат егор ія	**Тех нол огія**	**Зміс т**	**Пер еваг и**	**Обм еже ння**	**Тип забр**	**Сце нарі ї**	**Залу чен ня**	**ЕН**	**МЗ**	**ТЗ**	**ЗВ**

					удне ння	**вик орис тан ня діля нок**	**стей кхол дері в**				
		) у паг она х. Пот ім їх збир аю ть і без печ но ути лізу ють		може мобіліз увати токсини в біоті		Сон яшни к звич айни й (Heli ánth us ánnu us) для кадм ію (Cd), хро му (Cr) і ніке лю (Ni), Айс тров і (Ast erac eae або Com posit ae) для ніке лю					

НУБіП України

					(Ni), Яри й ріпа к (Brassica napus L.) для (цинку)		
Фітовипарування	Рослини поглинають неорганічні забруднюючі речовини і виділяють їх з листя в атмосферу	Відсутність вторинних відходів	Обмежене лет кими забруднювачами, забруднення повітря	Hg, As, важкі метали	Залісення верб ою енергетичною (Salix) та тополею s) для As і	Інвестори, громада, користувачі	Л

НУБіП України

	газоподібній (легкій) формі (наприклад, Se і						
Біопаливо	Насипання викопаного забрудненого ґрунту на підкладку над землею та змішування з від	Економічно ефективний; вимагає незначних площ	Перехаження ґрунту; примусова аерація; вимагає спеціальних заходів	Нафтопродукти, тротил	Вирощування технічних культур, саджанців плодових і ягідних культур, квітникарство	Інвестори, громада, користувачі	Л

НУБіП України

	повідними поправками (поживними речовинами, хімічними речовинами для регулювання pH, наповнювачами)						
Біологічне природне осл	Вибухові речовини зме	Простота використання;	Довготривалий щодо	Нафтопродукти	Буферні зелені зони	Інвестори, громада, кори	Л

Категорія	Технологія	Зміст	Переваги	Обмеження	Тип забруднення	Сценарії використан	Залучення стейкхол	ЕН	МЗ	ТЗ	ЗВ
	аблення	ншуються природними мікробами, які використовують забруднення як джерело для отримання енергії та росту	економічно ефективний, можливість поєднання з іншими техніками	результативності; слабо ефективна технологія для сильно забруднених територій			стувачі				

НУБіП України

						ня ділянок	**дерів**			
Біостимуляція	Постачання лімітуючих поживних речовин, таких як вуглець, азот і фосфор, у ґрунт	Рентабельність; покращення вмісту поживних речовин у ґрунті та біодоступність вибухової речовини для мікробного співтова	Довготривалий щодо результативності	Нафтопродукти	Посів трав осумішші	Інвестори, громада, користувачі		Л		

НУБіП України

		рис тва					
Ком пос тув анн я	Усу нен ня заб руд нюв ачів шля хом зми шув анн я заб руд нен ого гру нту з біо мас ою, тако ю як відх оди сіль сько го гос под арст	По ліп шен ня гру нт ов ої ро дю чо сті (зб іль шу єть ся зап ас по жи вн их еле ме нті в, єм ніс ть кат іон но	Не одн озн ачн іст ь рез уль тат ів що до імо біл ізу юч ого впл иву на рух лив іст ь ва жк их мет алі в, вна слі док різ	Наф топр одук ти, хро м (Cr), цинк, (цин к), (Cu), кадм ій	Вик орис танн я під будь -які куль тури за умо ви пост ійно го конт рол ю якос ті сіль ськ о госп одар сь кої прод укції Посі в гірч иці саре пськ ої та	Міс цева влад а, гром ада, кори ст увач і	Л

НУБіП України

ва, харчові відходи та органічні вторинні матеріали	го обміну, поліпшуються водно фізичні властивості ґрунтів); підвищення стійкості ґрунтів до вплив забру	ного стуненю розкладання органічних добрив Вимоги до великого простору; кропітка і трудомістка практика	сорго

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

			дню чих ре чо ви н				
Зем лер обс тво	Заб руд нені гру нти роз коп ують ся та роз кла дають на вис теле них гря дках	Низ ький тех нол огіч ний слід; мен ш тру дом істкий	Вин икн енн я вип аро вув анн я, що пот реб ує бага то час у; вим ива нн я заб руд ню ючи х реч ови н	Наф топр одук ти, полі цикл ічні аром атич ні вугл евод ні, пент ахло рфе нол	Вик орис танн я під будь -які куль тури за умов и конт рол ю якос ті сільс ьког оспо дарс ь кої прод укції	Гро мада , кори стув ачі	Л

НУБіП України

НУБіП України

	Припинення чи обмеження господарського використання земель на визначений термін	Природне відновлення	Довготривалий щодо результативності	Важкі метали	Виключення із сільськогосподарського використання; заліснення; залуження	Державні органи, місцева влада
Консервація						

Рисунок 23. Схема хімічної екстракції

Рисунок 24. Різновиди фітосанації

Таблиця 22. Технології рекультивації ґрунтів внаслідок фізичного та механічного впливу

№	Технологія	Зміст	Переваги	Обмеження	Тип забруднення	Сценарії використання ділянок	Залучення стейкхолдерів	ЕН	МЗ	ТЗ	ЗВ
	Осушувальна меліорація	Дренажні роботи для відведення ґрунтових вод з наступним очищенням	Низька вартість, мінімальне порушення ґрунту	Робити неможливо врахувати ландшафтно-геохімічні умови території та глибину залягання	Просідання; підтоплення	Вирощування багаторічних трав, кормових культур; поєднання перезволоженої частого боронування й	Місцева влада, громада, користувачі		Р		

НУБіП України

грунтових вод

лункування разом із щілюванням та кротуванням; мульчування (гноєм, соломою, лісовою підстилкою, торфом, стернею та післяжнивними реш

						тка ми)			
	Зро шу вал ьна мел іора ція	Во лог озб еріга ючі зах оди та гід рот ехн ічн і при йом и под ачі вод и і пер етв оре ння її в гру нто ву вол огу	Акт иві зац ія дія льн ост і мік роо рга ніз мів ; під ви ще ння роз чин нос ті	Вто рин не зас оле ння ; зми тіст ь; осі дан ня,	Вис ушу ван ня; ущі льн енн я	Чер гув ання кул ьтур у сіво змін ах, регу ляр не вне сен ня гно ю, ком пос тів, сол ом и, інш их орга нічн их доб рив, відк рит их про торі в,	Міс цев а вла да, гро мад а, еко логі чні НУ О	Р	

НУБіП України

						рих лення і полив					
	Агротехнічна меліорація	Послаблення поверхневого стоку і переведення його у внутрішньогрунтовий	Регулювання водно-повітряного, поживного, температурного режимів, підвищення	Засолення, осідання; необхідний моніторинг за станом кисло-лужної реакції	Водна ерозія, вторинне засолення, осолонцювання і злитизація виснаження і поруше	Відновлення природним шляхом або залісення. При неглибоких кратерах до 0,5-1 м засипання грунтовою масою, близьк	Місцева влада, громада, екологічні НУО		Л		

НУБіП України

			ак ум ул ю ючої і во до по гл ин аю чої зда тн ос ті ґру нті в інт ен си фі ка ція пе до ге не зу		ння ор ган оп ро фі лю (кр ате ри ви бу ху) заб ру дн ен ня пр од ук та ми пр олі зу	ою до при род них гор изо нті в. Вне сен ня гіп су, зас тос ува ння фізі оло гіч но кис лих і сір ков міс них доб рив , вве ден ня в сів озм іну баг ато річ них					

НУБіП України

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
трав
Тер
асув
анн
я,
кон
тур
на
ора
нка,
вибі
р
сіль
ько
гос
под
арсь
ких
кул
ьтур
,
пра
вил
ьни
й
сіль
ько
гос
под
арсь
кий
обр
обіт
ок
під
час
ора
нки

Лісотехнічна меліорація	Зменшення швидкості вітру в приземному шарі, повернення в ґрунтвтрачених поживних елементів	Покращення кліматичних умов; зниження дефіциту вологи; скорочення витрат на випаровування, вагомий протиерозійний	Трудомісткість виконання меліоративних робіт	Вітрова дефляція і видування	Задерніння, ґрунтозахисні сівозміни в різноглибинному обробітку (просапні культури і посіви багаторічних трав); обробіток ґрунту ілоскоріза	Місцева влада, громада, екологічні НУО	Л

НУБіП України

	ефект				ми і сівоа зернових культур спеціальними стерньовими сівалками		
Прибирання території	Механічне очищення поверхні, підтримання санітарного	Шкідливе видалення відходів бойової діяльності	Загроза геохімічного забруднення та створення смітєзвалищ	Засмічення (захаращення)	Захід з очищення токсичних відходів; використання під будь-які кул	Державні органи, місцева влада, громада, екологічні НУО	Л

НУБіП України

ста ну		ктур и за умо ви кон тро лю яко сті сіль сько гос под арсь кої про дук ції

4.2. Відновлення ґрунтів природнім шляхом

Природнє відновлення ґрунтів з певної точки зору є вигідний, якого не потрібно великих капіталовкладень але дуже довго відновлюються ґрунти, і один із прикладом є Франція, в якої зробили червону зону на яких заборонили сільськогосподарську діяльність через високу забрудненість ґрунтів, і навіть після ста років все одно забрудненість дуже висока.

За допомогою моніторингу будуть визначатись рівень забрудненості ґрунту і поділятись на зони, які найбільше забруднені і будуть передані на відновлення природним шляхом, і нажаль такі території є одними які використовувались в сільському господарстві, і це вдарить по економіці але є можливість на територіях які не засіваюця створити парк або заповідник, але все одно буде територія яку потрібно буде роками розміновувати, і забрудненість грунтів дуже висока. Одні з комплексів які потрібно на важко забруднюючих територіях це залісення площі для відновлення ґрунтового біоценозу, і для того щоби це прискорити ефект можна вносити добрива, бо коли будуть засаджуватись дерева то не всі зможуть прижитись, тому комплексне збагачення ґрунтів пришвидчить відновлення ґрунтів. А що робити із сільськими господарствами які втратили свої землі? Через те що ґрунт сильно забруднений, такі площі перейдуть в зону законсервованих ґрунтів, і тому таким аграріям компенсовувати за втрачені землі, або виділяти землі які не забруднені, або менш забруднені. Відновлення

природним шляхом є довгим, але рекультивація є більш бистріший але є затратний.

Загальні висновки

Війни які велися по всьому світі у XX-XXI століттях, завдали великої шкоди навколишньому середовищу, а особливо для ґрунтів. Наявність потужної військової техніки, і застосування великої кількості снарядів, призвело до пошкодження великої кількості земельних угідь. Війна в Україні завдає дуже великої шкоди навколишньому середовищу, і спираючись на досвід інших країн, і за допомогою моніторингу навколишнього середовища, і будуть розробляти стратегію відновлення земель. Надавши варіанти із відновлення ґрунтів, можна зрозуміти що кожен з варіантів відновлення, можна використовувати залежності від того наскільки ця площа забруднена, бо можливо рекультивація не є дуже ефективним на сильно забруднених ґрунтах, і в таких випадках відновлення природнім шляхом є більш доцільним.

Висновки такі, що наші родючі землі потребують їх відновлення, а стратегію відновлення ґрунтів потрібно вже розробляти, для того щоби після перемоги могли робити заходи відновлення, бо сільське господарство є однією із галузей нашої країни.

Список літератури

Чумаченко С.М., Яковлєв Є.О. Еколого-техногенні загрози для відновлення Донбасу на засадах збалансованого розвитку. Матеріали конференції Перспективи відновлення Сходу України на засадах збалансованого розвитку. м. Слов'янськ. 2017. С. 24–25.

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

Бардик Ю. В. Еколого-гігієнічні та токсикологічні проблеми життєдіяльності /

НУБіП України

Ю. В. Бардик, О. О. Бобильова // Сучасні проблеми токсикології. – 2005. – № 4. – С. 33-36.

Лисенко О.І., Чумаченко С.М., Чеканова І.В., Турейчук А.М. Використання спостерігача Л'юінбергера для оцінки та прогнозування стану ускладненої агроекосистеми із застосуванням математичного та комп'ютерного імітаційного моделювання // Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади. Книга 2. – Київ: ЗАТ «Нічлава». – 2005. – С. 86-139.

Кріль Т.В. Явище розрідження у грунтах та фактори, що на нього впливають / Т.В. Кріль // Зб. наук. пр. Інституту геологічних наук НАН України. — 2009. — Вип. 2. — С. 261-264

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України