

ГРУНТОЗНАВСТВО ТА ГЕОГРАФІЯ ҐРУНТІВ

УДК 631.4:504.06(477.83)

DOI: 10.18524/2303–9914.2024.1(44).305376

В. І. Михайлюк, д. геогр.н., професор
Одеський державний аграрний університет
кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру
вул. Пантелеймонівська, 13, м. Одеса, 65012, Україна
mykhailiukv@osau.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8526-0802>

ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ НА ВМІСТ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ І ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ В ҐРУНТАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Проаналізований вплив воєнних дій (бомбової ерозії ґрунтів і горіння бойових засобів) на вміст органічної речовини, рухомих сполук фосфору і калію та нітрифікаційної здатності у чорноземах південних, темно-каштанових ґрунтах та ґрунтах гідроморфних ландшафтів (лучних заплавної тераси р. Інгулець та каштаново-лучних) у межах Правобережної Херсонщини. Пошарово досліджені ґрунти у вирвах, утворених від підриву протитанкових (ТМ-62), проти-піхотних (ПМН-2) мін при розмінуванні території та обстрілу снарядами калібру 122, 152 мм.

Ключові слова: воєнна екологія, бомботурбація ґрунту, бомбова ерозія ґрунтів, органічна речовина бомбардованого ґрунту, біологічна активність ґрунтів війни.

ВСТУП

Численні дослідження показують значний вплив воєнних дій на ґрунти головним чином через порушення, ущільнення, вигорання, засмічення рештками бойових засобів, забруднення токсичними речовинами (Hamad et al., 2019; Maksym Solokha et al., 2023; Майданович та інш., 2023; Вплив війни, 2023). Окремо звертають увагу на віддалені наслідки впливу бойових засобів через попадання в ґрунт так званих «потенційно небезпечних елементів» – вибухових речовин, пластикових та металевих осколків, пуль тощо, які, маюче певну стійкість до біологічного розкладання, окиснення, видалення, довгий час залишаються в біосфері, стаючи джерелом забруднення у майбутньому (Broomandi et al., 2020). Погіршення властивостей ґрунту може бути тривалим і настільки значним, що може суттєво знизити продуктивність та інші важливі екологічні функції ґрунту (Certini et al., 2013; Hailemariam Meaza et al., 2024).

Найвиразнішим є фізичний вплив військових дій на ґрунти у результаті вибухів мін та артилерійських снарядів, які здатні виносити велику кількість зем-

лі, утворюючи вирви. Цей тип порушення ґрунту був названий бомботурбацією, яка порушує ландшафт, оскільки змішує горизонти ґрунту і призводить до значної трансформації рельєфу (Ніру et al., 2006).

При дослідженні так званих «ґрунтів війни» найбільшу увагу звертають на їхнє актуальне чи потенційне забруднення, хоча наш попередній аналіз впливу розмінування території методом підриву мін і артилерійського обстрілу (пошкодження ґрунтів) снарядами засвідчив відсутність перевищень гранично допустимих концентрацій важких металів, але наявність у ґрунті потенційно небезпечних елементів, що містять такі метали (Михайлюк, 2023). Практично відсутні публікації щодо змін гумусового стану ґрунтів, вмісту елементів живлення, особливо їхніх просторових параметрів на фоні фізичного впливу на ґрунти бойових засобів.

Метою роботи є дослідження впливу артилерійського обстрілу, підриву протитанкових (ТМ-62) та протипіхотних (ПМН-2) мін при розмінуванні території методом підриву, горіння бойових засобів на просторовий розподіл органічної речовини в ґрунтах, вміст і розподіл рухомих сполук фосфору і калію, а також потенційної біологічної активності ґрунтів.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відбір зразків ґрунту проведений у серпні 2023 року на правобережній частині Херсонської області поблизу сіл Правдине і Велика Олександрівка. Досліджені локації – вирви від розриву артилерійських снарядів калібру 122 чи 152 мм, протитанкових (ТМ-62) та протипіхотних (ПМН-2) мін, що утворилися під час бойових дій в осінній період 2022 року (локації 2, 7, 8) і розмінування території шляхом підриву мін (локації 1, 3–6) у літній період 2023 року (табл. 1).

Зазначена територія знаходиться в межах середньостепової підзони чорноземів південних та сухостепової підзони темно-каштанових ґрунтів. Ці ґрунти є найпоширенішими підтипами зональних автоморфних ґрунтів Херсонської області; чорноземи південні малогумусні займають тут 46,1%, а темно-каштанові залишково слабо- і середньосолонцюваті ґрунти – 31,6% від площі орних земель (Заїченко та інш., 2014). Дослідження проведені також в межах гідроморфних ландшафтів – сухій балці Білозерка із каштаново-лучними ґрунтами (локація 3) і на заплавіній терасі р. Інгулець з лучними (алювіальними) середньосуглинковими ґрунтами (локації 4, 5). Вибір конкретного місця дослідження і взяття зразків ґрунту здійснювався з урахуванням виду військового засобу, підриву якого спричинив пошкодження ґрунту, і можливості доступу до місця відбору ґрунту, яке репрезентувало би типові умови сільськогосподарських угідь. У більшості випадків через мінну небезпеку відбір зразків здійснювався близько до краю полів. В окремому випадку для характеристики впливу на ґрунти розриву протипіхотних мін зразки ґрунту відібрані на межі ріллі і по-

Таблиця 1

Характеристика локацій відбору зразків ґрунту

№ локації	UTM*: пн.ш. (N) сх.д. (E)	Розміри виври (діаметр × глибина, м); вид боєприпасу; строк і місце відбору зразків	Назва ґрунту (шифр агрогрупи ґрунтів)	Характеристика території дослідження
1	46°44'38,41" 32°11'59,59"	2,5×0,35; ТМ-62; біля 1–2 місяців після підриву	Темно-каштановий залишково-солонцюватий важкосуглинковий ґрунт (107е)	Рівне слабостічне плато; необроблені поля (перелогги) в межах не функціонуючої зрошувальної системи
2	46°44'34,91" 32°12'51,48"	5×0,9; ТМ-62; біля 10 місяців після підриву		
1К	46°44'36,99" 32°11'59,48"	Контрольна ділянка для локації 1		
2К	46°44'36,98" 32°12'46,73"	Контрольна ділянка для локації 1, 10		
7	46°45'03,07" 32°12'43,61"	0,8×0,3; артилерійський снаряд, калібру 122 чи 156 мм; біля 10 місяців після вибуху		
8	46°45'03,13" 32°12'42,43"	3,5×1,1; артилерійський снаряд, калібру 122 чи 156 мм; біля 10 місяців після вибуху		
9	46°45'03,66" 32°12'43,60"	Ґрунт із рештками від горіння запалювального чи пристрілювально-цілевказуючого снаряду; біля 1–2 місяців після горіння		
10	46°44'35,68" 32°12'43,17"	Горілий ґрунт поза кратером		
7К	46°45'04,34" 32°12'40,81"	Контрольна ділянка для локацій 7, 8, 9		
3	46°42'54,45" 32°24'27,30"	7×2; ТМ-62; біля 1–2 місяців після підриву		
3К	46°42'53,17" 32°24'25,80"	Контрольна ділянки для локації 3		
4	47°19'58,44" 33°15'26,36"	0,25×0,1; ПМН-2; біля 1–2 місяців після підриву	Лучний малогумусний середньосуглинковий ґрунт (133д)	Заплавна тераса річки Інгулець. Луг (галявина) на межі ріллі і полезахисної лісосмуги
4К	47°19'58,04" 33°15'27,17"	Контрольна ділянка для локації 4		
5	47°19'57,92" 33°15'27,92"	0,3×0,15; ПМН-2; біля 1–2 місяців після підриву		Заплавна тераса річки Інгулець. Дорога прокладена розміновувачем у лісовій посадці
5К	47°19'58,37" 33°15'27,47"	Контрольна ділянка для локації 5		
6	47°13'06,77" 33°27'05,82"	0,7×0,25; ПМН-2; біля 1 місяця після підриву	Чорнозем південний малогумусний важкосуглинковий на лесі (71е)	Рівне слабостічне плато; необроблене поле ріллі
6К	47°13'29,41" 33°27'21,87"	Контрольна ділянка для локації 6		

*координати місць відбору зразків ґрунту визначені в програмі Google Earth

лезахисної лісосмуги (локація № 4, 4К) і безпосередньо в лісовій посадці по сліду трактора-розміновувача (локація № 5, 5К).

Зразки ґрунту в окремих місцях підриву міни чи артилерійського снаряду відбиралися в центрі вирви, а також на відстані 1 м, 2 м і 3,5 м від центру вирви. У зв'язку із великим діаметром однієї з вирв (локація 3), відбір у її межах здійснювався на відстані 1 м, 2 м і 5–5,5 м від центру. При цьому в центрі кожної вирви відбирався одиничний зразок із шару ґрунту 0–15 см, а інші зразки, що відбиралися в шарі 0–15, 15–30 і 30–45 см, склалися із 6–8 одиничних зразків; вони відбиралися по колу на відповідній відстані. Загалом у кожній вирві і навколо неї відбиралися 1 одиничний і 9 змішаних зразків (рис. 1).

Окремо відбиралися зразки ґрунту на контрольних ділянках (1К-7К), що не зазнали впливу бойових засобів. Вибір місця розташування контрольних ділянок обумовлювався типом ґрунту, видом угіддя і можливостями доступу через мінну небезпеку. Загалом, відстань від вирв, утворених у результаті підриву протитанкових мін ТМ-62 та артилерійських снарядів, до контрольних ділянок складала 45–120 м. Відстань від вирв, утворених підривом протипіхотних мін ПМН-2, до контрольних ділянок становила 15–20 м (контрольні ділянки 4К і 5К) і 800 м (контрольна ділянка 6К).

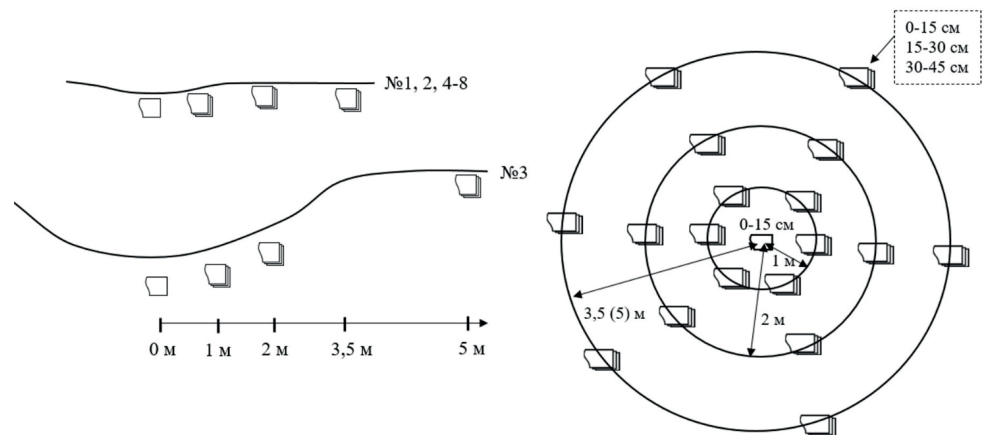


Рис. 1. Схема відбору зразків ґрунту у вирвах, що утворилися після підриву мін чи артилерійських снарядів (відстань відбору в вирвах №№ 1, 2, 4–8 і окремо у вирві № 3 на поперечному профілі; схема відбору змішаних зразків на горизонтальному плані)

Вміст органічної речовини визначали відповідно ДСТУ 4289:2004, рухомих сполук фосфору і калію – за модифікованим методом Мачигіна (ДСТУ 4114–2002), нітрифікаційну здатність ґрунту – методом Кравкова (ДСТУ 7538:2014). Всього проаналізовано 105 зразків, у тому числі 94 змішаних.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХНІЙ АНАЛІЗ

Вміст органічної речовини у досліджуваних ґрунтах закономірно відображає умови ґрунтоутворення, за яких вони сформувалися і функціонують. На контрольних ділянках темно-каштанові важкосуглинкові ґрунти (локації 1К, 2К, 7К) у поверхневому шарі містять 2,9–3,3% органічної речовини, каштаново-лучні важкосуглинкові (локація 3К) – 3,7–4% в шарі 0–30 см., а лучні середньосуглинкові ґрунти заплавної тераси річки Інгулець (локація 4К) під трав'янистою рослинністю 2,3% (там же у лісовій посадці на локації № 5К – 3,4–3,7% на всю глибину відбору); у чорноземах південних важкосуглинкових (локація 6К) вміст органічної речовини закономірно змінюється з глибиною від 4,1 до 3,1% (табл. 2).

Порушення ґрунтів у результаті підриву протитанкових мін і артилерійських снарядів змінює просторові характеристики розподілу органічної речовини. Кратери в ґрунтах відкривають глибші, менш гумусовані горизонти ґрунту. При цьому вміст органічної речовини на певній глибині по стінці кратера відповідає в цілому вмісту органічної речовини на цій же глибині природного профілю ґрунту (рис. 2).

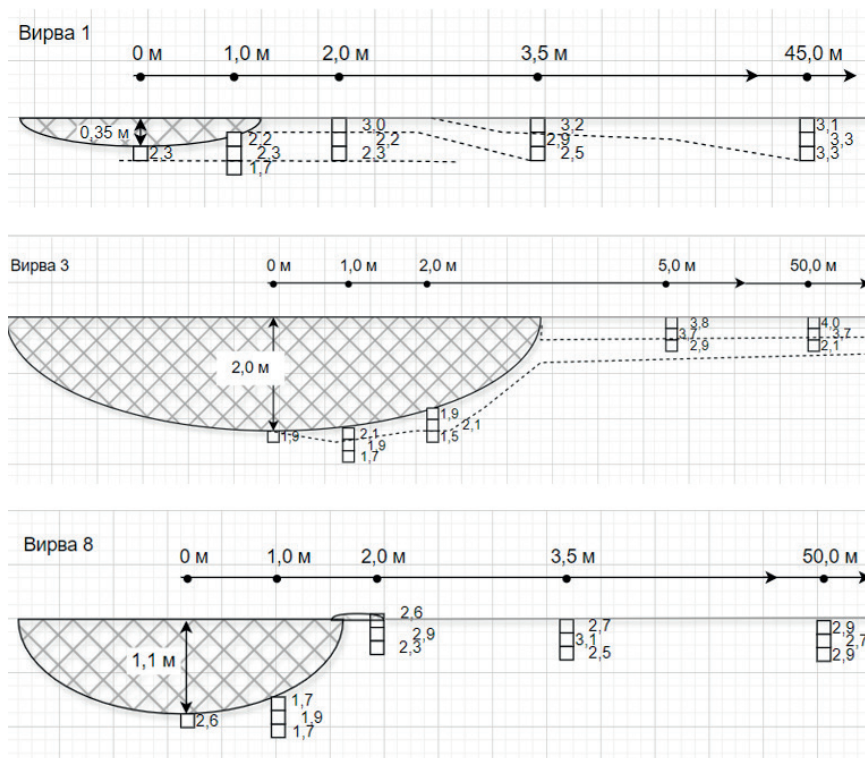


Рис. 2. Бомбова ерозія ґрунтів (вміст органічної речовини у відсотках в центрі вирви і на відповідній відстані від центру в шарі ґрунту 0–15, 15–30, 30–45 см.)

Таблиця 2

Вплив воєнних дій на вміст органічної речовини у ґрунтах, %

№ локації	Глибина, см	Місце відбору (відстань від центру вирви, м)								Контрольна ділянка
		0		1		2		3,5 (5 м для локації № 3)		
		%	К*	%	К	%	К	%	К	
1	0–15	2,32	-0,77	2,22	-0,87	2,99	-0,10	3,19	0,10	3,09
	15–30	-	-	2,32	-0,96	2,22	-1,06	2,88	-0,40	3,28
	30–45	-	-	1,74	-1,54	2,32	-0,96	2,51	-0,77	3,28
2	0–15	2,61	-0,67	2,22	-1,06	2,22	-1,06	3,96	0,68	3,28
	15–30	-	-	2,12	-0,30	2,51	0,09	2,88	0,46	2,42
	30–45	-	-	2,32	-0,77	1,93	-1,16	2,32	-0,77	3,09
3	0–15	1,93	-2,03	2,12	-1,84	1,93	-2,03	3,76	-0,20	3,96
	15–30	-	-	1,93	-1,74	2,12	-1,55	3,67	0,00	3,67
	30–45	-	-	1,74	-0,38	1,54	-0,58	2,88	0,76	2,12
4	0–15	2,70	0,38	2,88	0,56	3,38	1,06	3,67	1,35	2,32
	15–30	-	-	2,22	0,29	2,99	1,06	2,70	0,77	1,93
	30–45	-	-	2,22	0,10	2,61	0,49	2,88	0,76	2,12
5	0–15	4,67	1,00	4,22	0,55	4,31	0,64	4,40	0,73	3,67
	15–30	-	-	2,51	-1,16	4,22	0,55	3,86	0,19	3,67
	30–45	-	-	2,88	-0,50	3,86	0,48	2,70	-0,68	3,38
6	0–15	4,14	0,09	4,49	0,44	3,57	-0,48	4,22	0,17	4,05
	15–30	-	-	3,67	-0,19	3,67	-0,19	3,47	-0,39	3,86
	30–45	-	-	2,42	-0,67	2,42	-0,67	2,51	-0,58	3,09
7	0–15	3,28	0,40	3,47	0,59	3,09	0,21	3,09	0,21	2,88
	15–30	-	-	2,61	-0,09	3,19	0,49	2,32	-0,38	2,70
	30–45	-	-	2,70	-0,18	2,61	-0,27	2,42	-0,46	2,88
8	0–15	2,61	-0,27	1,74	-1,14	2,61	-0,27	2,70	-0,18	2,88
	15–30	-	-	1,93	-0,77	2,88	0,18	3,09	0,39	2,70
	30–45	-	-	1,74	-1,14	2,32	-0,56	2,51	-0,37	2,88
9	0–15	2,42	-0,46	-	-	-	-	-	-	2,88
	15–30	3,09	0,39	-	-	-	-	-	-	2,70
10	0–15	2,99	-0,29	-	-	-	-	-	-	3,28

К*: різниця ($\pm\%$) порівняно з контрольною ділянкою

Разом з тим, поверхневий шар стінок кратера і його днище можуть мати спорадично більш гумусований дрібнозем, який осипається з часом з верхніх горизонтів. Окрім цього, ложе кратера, невисокий і з малим об'ємом ґрунтового матеріалу його кільцевий вал, а також поверхня ґрунту на певній відстані від кратера містять викинуту з вирви ґрунтову масу, видимий обсяг якої набагато менший за об'єм вирви (рис. 3). Ця ґрунтова маса при різному вмісті органічної речовини в її окремосях переважно менш гумусована. Тобто, вміст органічної речовини в ґрунті вирви та розподіл різногумусованої ґрунтової маси навколо вирви пов'язані переважно із вибуховим зрізанням верхніх горизонтів ґрунту і, частково, із зсувом (осипанням) ґрунту в вирви та вибуховим розкиданням ґрунту далеко за межі вирви. Загалом, вирви і простір з викинутою ґрунтовою масою мають ознаки так званих «гранично-структурних елементів» – ареалів поверхневих утворень (ґрунтів), які у географії ґрунтів діагностуються як такі, що мають ґрунтові, але не ґрунтово-географічні межі. Їх наявність переводить гомогенні елементарні ґрунтові ареали у спорадично-плямисті.



Рис. 3. Бомбова ерозія ґрунту; вирви, утворені підривом протитанкових мін ТМ-62 на ділянках №№ 1, 2, 3

Підриви протитанкових мін і артилерійських снарядів формують ґрунтову плямистість із відслоненням в утворених вирвах менш гумусованих горизонтів ґрунту та призводять до переміщення і розсіювання ґрунтової маси за межі вирви. На наш погляд, таке явище (деструктивний процес) доцільно характеризувати не як бомботурбація, а як бомбова ерозія ґрунту.

Найвиразніша бомбова ерозія виявлена при обстеженні відносно більш вологих і слабоущільнених каштаново-лучних ґрунтів на локації № 3, де одночасний підрив декількох протитанкових мін ТМ-62 спричинило відслонення горизонтів, що містять органічної речовини на 2% менше, ніж у поверхневих горизонтах непорушеного ґрунту за межами вирви (на відстані 1,5–2 м від краю

вирви і на контрольній ділянці). У меншій вирві, діаметром 5 м і глибиною 0,9 м, на темно-каштанових ґрунтах (локація 2) відслонюються горизонти із вмістом органічної речовини 2,2%, що на 1,1% менше фонових значень. У ще меншій вирві, діаметром 2,5 м і глибиною 0,35 м, утвореній при підриві протитанкової міни ТМ-62 на сухій і твердій поверхні темно-каштанового ґрунту у липні 2023 року (локація 1), відслонюються горизонти із вмістом органічної речовини 2,2–2,3%, що на 0,8–1% менше порівняно з контрольною ділянкою.

Підрив артилерійських снарядів з утворенням середніх за розміром вирв (локації 7, 8) створило умови для більш хаотичного перерозподілу ґрунтового матеріалу. Але, так само, у вирвах відслонюються менш гумусовані горизонти; у вирві № 8 поверхнева ґрунтова маса містить 1,7%, дрібнозем по краю вирви з незначною кількістю викинутого матеріалу – 2,6%, контрольні ділянки – 2,7–2,9% органічної речовини.

Підрив протипіхотних мін (локації 4–5), у тому числі одночасно декількох (локація 6) із утворенням дрібних вирв суттєво не зменшує вмісту органічної речовини у вирві, хоча спостерігається деяка варіабельність значень по окремих місцях відбору ґрунту.

Горіння військових засобів (локації 9, 10) зменшує вміст органічної речовини у поверхневому (0–15 см) горизонті на 0,3–0,5%.

Вміст рухомого фосфору в досліджуваних ґрунтах виразно визначився особливостями їхнього попереднього господарського використання. Про це свідчать більші показники його вмісту в бідних на органічну речовину темно-каштанових ґрунтах (контрольні ділянки локацій 1, 2, 7 на полях сівозмін колишніх зрошуваних земель) і менший ступінь забезпеченості рухомих фосфором богарних чорноземів південних (локація 6) – табл. 3.

Є певні ознаки впливу бойових засобів на вміст рухомого фосфору у ґрунтах; його вміст виразно зменшується по усіх шарах ґрунту у межах великих за розміром вирв, утворених підривом протитанкових мін і артилерійських снарядів – по всіх горизонтах на локаціях №№ 1, 3 і в більшості горизонтів на локаціях №№ 2, 8.

Показовим є суттєве (у 2–3 рази) збільшення фосфору у ґрунтах що зазнали впливу засобів, що залишили ознаки інтенсивного горіння (локації 9, 10).

Подібна закономірність спостерігається також щодо вмісту обмінного калію у ґрунтах, що зазнали бомбової ерозії. Вміст калію виразно зменшується у великих вирвах у зв'язку із значним викиданням ґрунтового матеріалу; є виразне зменшення у всіх зразках ґрунтів на локаціях №№ 1, 3, 6 (табл. 4). У горілому ґрунті відсутні певні закономірності: на локації № 9 вміст обмінного калію у поверхневому горизонті менший, ніж на контролі; на локації № 10 вміст калію порівняно з контролем більший.

Певні закономірності є також по результатах визначення нітрифікаційної здатності ґрунтів, яка залежить від якісного та кількісного складу ґрунтової

Таблиця 3

Вплив воєнних дій на вміст рухомого фосфору в ґрунтах, мг/кг

№ локації	Глибина, см	Місце відбору (відстань від центру вирви, м)								Контр. ділянка мг/кг
		0		1		2		3,5 (5 м для локації № 3)		
		мг/кг	К*	мг/кг	К	мг/кг	К	мг/кг	К	
1	0–15	14,04	-69,81	36,28	-47,57	60,77	-23,08	59,38	-24,47	83,85
	15–30	-	-	17,50	-61,90	48,63	-30,77	49,89	-29,51	79,40
	30–45	-	-	15,68	-31,76	26,97	-20,47	39,29	-8,15	47,44
2	0–15	107,40	31,78	62,95	-12,67	73,29	-2,33	122,30	46,68	75,62
	15–30	-	-	13,68	-19,92	48,04	14,44	87,33	53,73	33,60
	30–45	-	-	54,91	33,77	26,88	5,74	56,44	35,30	21,14
3	0–15	16,58	-30,41	14,09	-32,90	25,56	-21,43	60,34	13,35	46,99
	15–30	-	-	19,22	-0,60	22,40	2,58	37,89	18,07	19,82
	30–45	-	-	21,77	4,52	47,36	30,11	20,92	3,67	17,25
4	0–15	44,46	16,85	82,23	54,62	59,49	31,88	43,87	16,26	27,61
	15–30	-	-	46,75	15,81	28,83	-2,11	31,53	0,59	30,94
	30–45	-	-	42,59	7,71	23,97	-10,91	27,70	-7,18	34,88
5	0–15	57,70	10,28	49,77	2,35	59,93	12,51	48,98	1,56	47,42
	15–30	-	-	45,66	3,42	44,97	2,73	44,43	2,19	42,24
	30–45	-	-	24,49	-13,78	37,26	-1,01	24,41	-13,86	38,27
6	0–15	28,79	-0,61	44,02	14,62	42,70	13,30	31,76	2,36	29,40
	15–30	-	-	15,46	-16,29	16,13	-15,62	19,67	-12,08	31,75
	30–45	-	-	11,39	-9,68	13,04	-8,03	13,16	-7,91	21,07
7	0–15	81,21	49,83	37,79	6,41	95,51	64,13	94,91	63,53	31,38
	15–30	-	-	74,86	50,54	57,30	32,98	84,29	59,97	24,32
	30–45	-	-	64,99	37,76	29,52	2,29	61,66	34,43	27,23
8	0–15	19,86	-11,52	13,55	-17,83	21,18	-10,20	23,78	-7,60	31,38
	15–30	-	-	8,83	-15,49	26,46	2,14	12,70	-11,62	24,32
	30–45	-	-	11,80	-15,43	12,51	-14,72	18,59	-8,64	27,23
9	0–15	94,31	62,93	-	-	-	-	-	-	31,38
	15–30	82,47	58,15	-	-	-	-	-	-	24,32
10	0–15	140,60	64,98	-	-	-	-	-	-	75,62

К*: різниця (\pm мг/кг) порівняно з контрольною ділянкою

Таблиця 4

Вплив воєнних дій на вміст обмінного калію в ґрунтах, мг/кг

№ локації	Глибина, см	Місце відбору (відстань від центру вирви, м)								Контр. ділянка мг/кг
		0		1		2		3,5 (5 м для локації № 3)		
		мг/кг	К*	мг/кг	К	мг/кг	К	мг/кг	К	
1	0–15	202,8	-401,7	261,6	-342,9	504,1	-100,4	495,2	-109,3	604,5
	15–30	-	-	192,3	-220,5	303,2	-109,6	292,5	-120,3	412,8
	30–45	-	-	174,1	-171,2	216,4	-128,9	241,6	-103,7	345,3
2	0–15	830,8	117,3	583,5	-130,0	638,1	-75,4	1044,0	330,5	713,5
	15–30	-	-	402,0	100,3	422,2	120,5	834,0	532,3	301,7
	30–45	-	-	499,7	247,6	484,9	232,8	606,8	354,7	252,1
3	0–15	273,5	-225,3	197,1	-301,7	233,4	-265,4	561,0	62,2	498,8
	15–30	-	-	250,3	-101,7	203,0	-149,0	421,0	69,0	352,0
	30–45	-	-	201,7	-8,8	193,2	-17,3	252,5	42,0	210,5
4	0–15	597,5	288,7	682,1	373,3	632,3	323,5	516,6	207,8	308,8
	15–30	-	-	521,4	170,1	409,2	57,9	374,1	22,8	351,3
	30–45	-	-	506,5	341,8	325,7	161,0	233,6	68,9	164,7
5	0–15	418,6	134,7	453,6	169,7	371,0	87,1	415,2	131,3	283,9
	15–30	-	-	383,7	77,4	408,2	101,9	412,8	106,5	306,3
	30–45	-	-	266,0	-23,0	325,2	36,2	235,7	-53,3	289,0
6	0–15	541,7	-108,9	552,4	-98,2	401,3	-249,3	621,9	-28,7	650,6
	15–30	-	-	250,2	-283,2	237,6	-295,8	284,2	-249,2	533,4
	30–45	-	-	208,3	-178,6	234,2	-152,7	232,4	-154,5	386,9
7	0–15	427,2	100,7	670,9	344,4	659,6	333,1	651,2	324,7	326,5
	15–30	-	-	369,0	146,9	318,4	96,3	314,7	92,6	222,1
	30–45	-	-	252,6	32,8	216,5	-3,3	267,5	47,7	219,8
8	0–15	286,9	-39,6	225,4	-101,1	389,0	62,5	392,4	65,9	326,5
	15–30	-	-	199,7	-22,4	228,6	6,5	245,9	23,8	222,1
	30–45	-	-	179,8	-40,0	212,7	-7,1	227,1	7,3	219,8
9	0–15	278,9	-47,6	-	-	-	-	-	-	326,5
	15–30	390,4	168,3	-	-	-	-	-	-	222,1
10	0–15	927,7	214,2	-	-	-	-	-	-	713,5

К*: різниця (\pm мг/кг) порівняно з контрольною ділянкою

біоти, кількості органічної речовини, реакції ґрунтового середовища і характеризує, таким чином, потенційну біологічну активність ґрунту.

У досліджуваних ґрунтах контрольних ділянок нітрифікаційна здатність виразно відображає ґрунтові умови. У короткопрофільних каштанових ґрунтах і чорноземах південних вона закономірно змінюється вниз по профілю від підвищеної-високої до низької. У лучних ґрунтах гідроморфних ландшафтів (локації 3, 4, 5) такої закономірності немає; більш того, в їх нижніх горизонтах нітрифікаційна здатність часто вища, ніж у поверхневих (табл. 5).

Бомбова ерозія ґрунтів та трансформація їхніх фізичних, хімічних та фізико-хімічних властивостей змінюють біологічну активність ґрунтів. Нітрифікаційна здатність зменшується у ґрунтах (ґрунтових зразках) центральної частини усіх вирв окрім однієї (локація № 4 із невеликою вирвою після підриву протипіхотної міни). На відстані 1, 2, 3,5 м (5 м для локації № 3) від центру вирв зменшення нітрифікаційної здатності спостерігається практично по усіх горизонтах великих кратерів від підриву протитанкових (ТМ-62) мін чи артилерійських (122 чи 156 мм) снарядів на локаціях №№ 1, 3, 8.

При дії протипіхотних мін (локації 4–5 на лучних ґрунтах і № 6 на чорноземах південних), які мало порушують ґрунтовий профіль, немає чітких закономірностей щодо зменшення-збільшення нітрифікаційної здатності у просторі (навколо центру вирви) і за глибиною відбору ґрунтових зразків.

ВИСНОВКИ

Підриви протитанкових мін при розмінуванні території, а також артилерійських снарядів під час бойових дій спричиняють утворення вирв з вибуховим зрізанням верхніх горизонтів ґрунту і розкиданням та розсіюванням ґрунту далеко за межі вирви. У вирві відслонюються більш глибокі ґрунтові горизонти із меншим вмістом органічної речовини при незначному перемішуванні ґрунтової маси через зсуви і осипання ґрунту в вирві. Об'єм ґрунтового матеріалу в кільцевому валі по краю великих вирв і у викинутих окремосях на певній відстані від вирви набагато менший за об'єм вирви. Таке явище (деструктивний процес) доцільно характеризувати не як бомботурбація (перемішування ґрунтових горизонтів), а як бомбова ерозія ґрунту – вибухове зрізання ґрунту з утворенням вирв та відповідного кавернозного рельєфу з переміщенням і розсіюванням ґрунтової маси.

Особливості прояву бомбової ерозії ґрунту залежать від типу бойового засобу і властивостей самого ґрунту; при розмінуванні території способом підриву мін найменше пошкоджуються сухі ґрунти в літній період, що мають більшу щільність і твердість.

Вирви і простір з викинутою ґрунтовою масою мають ознаки так званих «гранично-структурних елементів» – невеликих ділянок, утворених бомбовою

Таблиця 5

N-NO₃ за нітрифікаційною здатністю після компостування, мг/кг ґрунту

№ локації	Глибина, см	Місце відбору (відстань від центру вирви, м)								Контр. ділянка
		0		1		2		3,5 (5 м для локації № 3)		
		мг/кг	К*	мг/кг	К	мг/кг	К	мг/кг	К	
1	0-15	10,70	-35,21	37,16	-8,75	20,40	-25,51	50,77	4,86	45,91
	15-30	-	-	8,36	-20,65	22,01	-7,00	15,34	-13,67	29,01
	30-45	-	-	8,94	1,48	9,26	1,80	11,69	4,23	7,46
2	0-15	17,98	-3,48	10,79	-10,67	35,15	13,69	59,07	37,61	21,46
	15-30	-	-	20,92	6,45	18,14	3,67	22,68	8,21	14,47
	30-45	-	-	21,43	16,22	19,16	13,95	14,63	9,42	5,21
3	0-15	2,03	-9,50	3,49	-8,04	3,08	-8,45	2,74	-8,79	11,53
	15-30	-	-	9,52	-34,21	7,55	-36,18	30,61	-13,12	43,73
	30-45	-	-	1,52	-21,51	4,74	-18,29	27,75	4,72	23,03
4	0-15	34,64	23,54	33,91	22,81	53,82	42,72	38,33	27,23	11,10
	15-30	-	-	19,52	-35,49	24,70	-30,31	29,13	-25,88	55,01
	30-45	-	-	30,79	8,66	21,62	-0,51	30,23	8,10	22,13
5	0-15	12,43	-12,70	36,94	11,81	27,68	2,55	23,12	-2,01	25,13
	15-30	-	-	31,59	4,39	48,77	21,57	38,42	11,22	27,20
	30-45	-	-	13,46	-10,99	29,77	5,32	23,72	-0,73	24,45
6	0-15	16,07	-0,07	28,44	12,30	25,54	9,40	32,04	15,90	16,14
	15-30	-	-	16,39	2,79	13,30	-0,30	15,77	2,17	13,60
	30-45	-	-	3,11	-8,33	4,84	-6,60	7,55	-3,89	11,44
7	0-15	26,22	-15,96	14,76	-27,42	16,69	-25,49	23,71	-18,47	42,18
	15-30	-	-	24,08	5,50	10,96	-7,62	13,36	-5,22	18,58
	30-45	-	-	10,30	-3,34	9,43	-4,21	14,29	0,65	13,64
8	0-15	13,98	-28,20	4,15	-38,03	29,94	-12,24	12,48	-29,70	42,18
	15-30	-	-	1,46	-17,12	13,91	-4,67	9,97	-8,61	18,58
	30-45	-	-	1,99	-11,65	4,22	-9,42	6,52	-7,12	13,64
9	0-15	31,17	-11,01	-	-	-	-	-	-	42,18
	15-30	31,69	13,11	-	-	-	-	-	-	18,58
10	0-15	52,89	31,43	-	-	-	-	-	-	21,46

К*: різниця (\pm мг/кг) порівняно з контрольною ділянкою

ерозією, що змінюють гомогенні елементарні ґрунтові ареали на спорадично-плямисті.

Спорадично-плямисті елементарні ґрунтові ареали темно-каштанових ґрунтів та чорноземів південних, а також лучних ґрунтів, утворені підривами протитанкових мін (ТМ-62) та артилерійських (122 чи 152 мм) характеризуються виразною закономірною неоднорідністю за вмістом органічної речовини, рухомого фосфору, обмінного калію та нітрифікаційною здатністю.

При підриві протипіхотних мін, які мало порушують ґрунтовий профіль, немає чітких закономірностей щодо зменшення-збільшення вмісту органічної речовини, елементів живлення і потенційної біологічної активності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Вплив війни Росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу / О. Голубцов, Л. Сорокіна, А. Сплодитель, С. Чумаченко. Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. 32 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary.pdf>

Заїченко А. А., Шукайло С. П., Рибін Р. М. Агрохімічний стан ґрунтів Херсонської області. *Зрошуване землеробство. Збірник наукових праць*. 2014. Вип. 61. С. 120–122. URL: <http://www.izpr.ks.ua/archive/2014/61/43.pdf>.

Майданович Н., Шустік Л., Майданович В., Сидоренко С. Забруднення угідь унаслідок бойових дій: огляд рішень для подолання кризи. *Технікотехнологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. пр. УкрНДППВТ*. 2023. Вип. 33 (47). С. 112–122. DOI: [https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-2-33\(47\)-10](https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-2-33(47)-10)

Михайлюк В. І. Вплив воєнних дій і розмінування території шляхом підриву мін на властивості ґрунтів і структуру ґрунтового покриву. *Актуальні аспекти розвитку науки і освіти. III Міжнародна науково-пр. конф. науково-пед. працівників та молодих науковців (09–10 листопада 2023 року, Одеський державний аграрний університет)*. Одеса, 2023. С. 379–381.

Broomandi P, et al. Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review. *Sustainability*, 2020; 12 (21): 9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002>

Certini, Giacomo & Scalenghe, Riccardo & Woods, William. The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*, 2013. 127. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.009>.

Hailemariam Meaza, Tesfaalem Ghebreyohannes, Jan Nyssen, Zbelo Tesfamariam, Biadiglign Demissie, Jean Poesen, Misgna Gebrehiwot, Teklehaymanot G. Weldemichel, Seppe Deckers, Desta Gebremichael Gidey, Matthias Vanmaercke. Managing the environmental impacts of war: What can be learned from conflict-vulnerable communities? *Science of The Total Environment*, 2024, 171974, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171974>.

Hamad, R., Balzter, H. & Kolo, K. Assessment of heavy metal release into the soil after mine clearing in Halgurd-Sakran National Park, Kurdistan, Iraq. *Environ Sci Pollut Res*, 2019. 26. 1517–1536. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3597-3>

Hupy, Joseph & Schaetzl, Randall. Introducing «Bomburbation,» A Singular Type of Soil Disturbance and Mixing. *Soil Science*, 2006. 171. 823–836. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000228053.08087.19>.

Maksym Solokha, Paulo Pereira, Lyudmyla Symochko, Nadiya Vynokurova, Olena Demyanyuk, Kateryna Sementsova, Miguel Inacio, Damia Barcelo. Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidence from the field on soil properties and remote sensing. *Science of The Total Environment*, 2023. Volume 902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122>

REFERENCES

Vplyv viiny Rosii proty Ukrainy na stan ukrainskykh gruntiv. Rezultaty analizu (The Impact of Russia's War against Ukraine on the State of Ukrainian Soils. Analysis results) / O. Holubtsov, L. Sorokina, A. Splodytel, S. (2023). *Chumachenko. Ecoaction – Centre for Environmental Initiatives*. 32 p. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary.pdf> [in Ukrainian].

Zaichenko A.A., Shukailo S.P., Rybin R.M. (2014). Ahrokhimichniy stan gruntiv Khersonskoi oblasti (Agrochemical condition of soils in the Kherson region). *Irrigated agriculture*. Edition 61. 120–122. URL: <http://www.izpr.ks.ua/archive/2014/61/43.pdf> [in Ukrainian].

Maidanovych N., Shustik L., Maidanovych V., Sidorenko S. (2023). Zabrudnennia uhid unaslidok boiovykh dii: ohliad rishen dlia podolannia kryzy (Combat land pollution: a review of solutions to overcome the crisis). *Technical and technological aspects of development and testing of new machinery and technologies for agriculture in Ukraine*. Edition 33 (47). 112–122. DOI: [https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-2-33\(47\)-10](https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-2-33(47)-10) [in Ukrainian].

Mikhaylyuk V.I. (2023). Vplyv voiennykh dii i rozminuvannia terytorii shliakhom pidryvu min na vlastyvoli gruntiv i strukturu gruntovoho pokryvu (Impact of military operations and mine clearance on soil properties and soil cover structure). *Actual aspects of the development of science and education. III International Scientific and Practical Conference of Scientific and Pedagogical Workers and Young Scientists (09–10 November 2023, Odesa State Agrarian University)*. 379–381 [in Ukrainian].

Broomandi P, et al. (2020). Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review. *Sustainability*. 12 (21): 9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002>.

Certini, Giacomo & Scalenghe, Riccardo & Woods, William. (2013). The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*. 127. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.009>.

Hailemariam Meaza, Tesfaalem Ghebreyohannes, Jan Nyssen, Zbelo Tesfamariam, Biadiglign Demissie, Jean Poesen, Misgna Gebrehiwot, Teklehaymanot G. Weldemichel, Seppe Deckers, Desta Gebremichael Gidey, Matthias Vanmaercke. (2024). Managing the environmental impacts of war: What can be learned from conflict-vulnerable communities? *Science of The Total Environment*, 171974, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171974>.

Hamad, R., Balzter, H. & Kolo, K. (2019). Assessment of heavy metal release into the soil after mine clearing in Halgurd-Sakran National Park, Kurdistan, Iraq. *Environ Sci Pollut Res*. 26, 1517–1536. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3597-3>.

Hupy, Joseph & Schaetzl, Randall. (2006). Introducing «Bombturbation», A Singular Type of Soil Disturbance and Mixing. *Soil Science*. 171. 823–836. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000228053.08087.19>.

Maksym Solokha, Paulo Pereira, Lyudmyla Symochko, Nadiya Vynokurova, Olena Demyanyuk, Kateryna Sementsova, Miguel Inacio, Damia Barcelo. (2023). Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidence from the field on soil properties and remote sensing. *Science of The Total Environment*. Volume 902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122>.

Надійшла 10.05.2024 р.

V. I. Mikhaylyuk

Odesa State Agrarian University,
Department of Geodesy, Land Management and Land Cadastre,
13 Panteleimonivska St, Odesa, 65012, Ukraine

INFLUENCE OF MILITARY ACTIONS ON THE CONTENT OF ORGANIC MATTER AND NUTRIENTS IN SOILS OF SOUTHERN UKRAINE

Abstract

Problem Statement and Purpose. As a result of hostilities, soils are degraded due to disturbance, compaction, burning, contamination with munitions remnants, and toxic contamination. There are long-term consequences of the impact of munitions due to the ingress of so-called “potentially hazardous elements” into the soil. The most obvious is the violation of soil integrity as a result of mine and shell explosions, which has been called bombturbation. The purpose of the study is to determine the impact of artillery shell bursts, detonation of anti-tank (TM-62) and anti-personnel (IIMH-2) mines during demining of the territory by detonation, and combustion of munitions on the content and distribution of organic matter in soils, mobile phosphorus and potassium, as well as the potential biological activity of soils.

Data & Methods. 17 sites were surveyed, including 3 sites each with craters from anti-tank and anti-personnel mines, two craters from 122- or 152-mm artillery shells, 2 sites with burnt soil, and 7 control sites. The study was carried out in August 2023 on the front line in the right-bank part of Kherson region on Calcic Chernozems, dark chestnut soils (Calcic Kastanozems) and soils of hydromorphic landscapes (Gleyic Kastanozems and Gleyic Fluvisol). Soil samples were collected in the centre of the crater, as well as at a distance of 1 m, 2 m and 3.5 (5) m from the centre of the crater. In the centre of each crater, a single sample was taken from the 0–15 cm soil layer, and the rest were mixed (6–8 single samples) from the 0–15, 15–30 and 30–45 cm horizons.

Results. In craters caused by the detonation of anti-tank mines and artillery shells, deeper soil horizons with a lower (by 34–51%) organic matter content are exposed, with little mixing of the soil mass due to landslides and soil shedding. Such a destructive process should be described not as «bombturbation», but as «bomb erosion soils» – explosive cutting of the soil with the formation of sinkholes (cavernous relief) and the movement and dispersal of soil mass. Craters form so-called “limited structural element” – areas with bomb erosion soils that change homogeneous elemental soil habitats into sporadically patchy ones. Craters and sporadically patchy soil habitats in general are characterised by a distinct and regular heterogeneity in terms of organic matter, mobile phosphorus, exchangeable potassium and nitrification capacity. When detonating anti-personnel mines, there are no clear patterns of decrease or increase in the content of organic matter and nutrients. When demining an area by detonating mines, dry soils in the summer, which have a relatively higher density and hardness, are least damaged.

Keywords: military ecology, bombturbation on soils, bomb soil erosion, organic matter in bombed soil, biological activity of war soils.