

ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ ЗА ВПЛИВУ БОЙОВИХ ДІЙ

О.В. Дмитренко¹, О.С. Дем'янюк², Л.П. Погоріла¹, Н.Л. Свидинок¹,
В.В. Рожа¹, П.М. Кирилюк¹, В.М. Романенко¹

¹Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України» (м. Київ, Україна)

e-mail: ecolab23071964@ukr.net; ORCID: 0000-0002-6945-7637

e-mail: liudmilapogorila@gmail.com; ORCID: 0009-0006-8649-6267

e-mail: natasha06102019@gmail.com; ORCID: 0009-0007-2385-6337

e-mail: vasyarozha@ukr.net; ORCID: 0009-0007-9990-1480

e-mail: petrokyryluk2020@gmail.com; ORCID: 0009-0008-9754-419X

e-mail: strekitsa@ukr.net; ORCID: 0009-0000-1144-6321

²Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4134-9853

Представлено результати досліджень зміни еколого-токсикологічних параметрів дерново-підзолистого ґрунту, який зазнав деградації внаслідок ведення бойових дій на території Бучанського р-ну Київської обл. у лютому–березні 2022 р. під час вторгнення російських військ. Унаслідок застосування артилерійської зброї, зокрема мінометів, на території с. Торф'яне виявлено пошкодження ґрунтового покриву на землях сільськогосподарського та лісового призначення, а також деградацію ґрунту внаслідок застосування мінометів, що підтверджено підвищенням вмісту важких металів (Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb) у шарі ґрунту 0–20 см через рік після артилерійських обстрілів. На відстані 2,5 м від краю вирв (№ 1 і № 2) зазначено підвищення валового вмісту Zn, Ni, Cr – в 1,1–1,2 раза, Pb – в 1,1–1,6 раза, Cu в 1,5–1,8 раза. Підвищення вмісту Cd кадмію в 1,1–1,2 раза на відстані 2,5 м зафіксовано лише в межах вирви № 2. На відстані 30 м від вирв виявлено високий валовий вміст цинку (151–155 мг/кг), свинцю (43–44), хрому (39–41), нікелю (24–28), міді (17–18), кадмію (2–3 мг/кг). Відмічено перевищення вмісту рухомих форм важких металів безпосередньо у кратері вирв та на відстані до 30 м у середньому в 3–9 разів. Найвищі показники коефіцієнта концентрації важких металів у ґрунті встановлено в середньому для цинку – 6–14 кларків від фону, хрому – 7–9 кларки, свинцю – 4–8 кларків. Виявлено перевищення ГДК у ґрунті на-вколо вирв за вмістом хрому на 7–26%, нікелю – на 15–21%. Зафіксовано незначне перевищення рівня ГДК за вмістом свинцю в ґрунті на 3–6%. За вмістом у ґрунті міді (0,1–0,3 ГДК), цинку (0,2–0,4 ГДК), кадмію (0,4–0,6 ГДК) і свинцю (0,5–1 ГДК) через рік після обстрілу цих територій відсутнє перевищення ГДК.

Ключові слова: деградація ґрунту, важкі метали, забруднення ґрунту, вирва.

ВСТУП

На території України з 24 лютого 2022 р. відбуваються повномасштабні бойові дії, які мають руйнівний вплив не лише на соціальну та економічну сфери життя українців, а й спричиняють потужний вплив на екологічний стан навколишнього природного середовища, що порушує екологічний баланс планети та матиме невизначені наслідки у майбутньому. Через застосування

зброї різного виду, зокрема крилатих ракет та артилерійських снарядів та ін., у навколишнє природне середовище потрапляють численні хімічні сполуки та газу, металеві фрагменти снарядів, які безпосередньо або через хімічні реакції з елементами довкілля спричиняють забруднення повітря, ґрунтового покриву, водних об'єктів і втрату біорізноманіття. Тому зони військових дій, військові навчальні зони, зони стрільб, а також місця виробництва утилізації вибухових речовин і боєприпасів вважають одними з основних джерел забруднення

наземних екосистем [1–3] і потребують моніторингових досліджень для розроблення заходів реабілітації та усунення екологічних ризиків.

Мета — визначити зміни еколого-токсикологічного стану дерново-підзолистого ґрунту в зоні ведення активних бойових дій на території Київської обл.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Війна, яка ведеться на території України з 2014 р., спричинила й продовжує здійснювати негативний вплив на ґрунтові та земельні ресурси, що є національним багатством України [4; 5]. Вченими Національного наукового центру «Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» введено новий тип деградації ґрунтів — деградація, спричинена збройною агресією, що включає в себе механічну, фізичну, хімічну, фізико-хімічну й біологічну деградацію, а також інші напрями впливу на ґрунти та земельні ділянки [4]. Ґрунт приймає основний удар під час ведення бойових дій, зазнає найбільшого забруднення і як інертний компонент ландшафту тривалий час зберігає наслідки війни. Оцінка ступеня руйнування та пошкодження ґрунтів дає змогу оцінити наслідки екоцидів РФ на території України [4; 6].

Наразі дослідження з визначення пошкоджень ґрунтового покриву, його екологічного стану, втрати екосистемних послуг унаслідок війни проводяться в різних регіонах як на територіях, де велися активні бойові дії, так і на постраждалих унаслідок ракетних атак, у т. ч. для визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії РФ [4; 6–9].

Механічні та фізичні порушення ґрунту виникають через зведення фортифікаційних споруд, рух військ і техніки, утворення кратерів або вирв від бомб (бомбардування) та артилерійських снарядів, пожеж, які змінюють рельєф ландшафту, структуру ґрунту, водні й ін. властивості, що може в подальшому призвести до зсувів та ерозії [5; 10; 11]. Так, визначено, що в зоні бомбтурбації ґрунт зазнає перевідкладення,

переміщення, ущільнення, деформації і сильного забруднення [6].

Аналіз наукової літератури з питань деградації ґрунтів під час воєнних конфліктів та унаслідок застосування зброї засвідчив, що поряд із механічним руйнуванням ґрунтової поверхні, до найпоширеніших небезпечних наслідків належить хімічне забруднення ґрунтів [1–3; 12; 13]. Зокрема, під час ведення бойових дій у ґрунт потрапляє низка токсичних сполук, які містяться в боєприпасах різного калібру, продукти від руйнування та горіння важкої техніки, розливи палива, технічних мастил, органічних розчинників тощо. Поведінка більшості з них у ґрунтах України недостатньо досліджена та відсутні нормативи гранично допустимих концентрацій у ґрунтах [4]. Водночас дедалі більше результатів досліджень підтверджує потенційні джерела викидів різних забруднювачів у навколишнє природне середовище, пов'язаних із військовою діяльністю, забруднення важкими металами, а також шляхи їх міграції та небезпеку для здоров'я людини і біоти [12; 14].

Встановлено, що ґрунти на території військових об'єктів упродовж багатьох десятиліть залишаються значною мірою забрудненими токсичними сполуками від боєприпасів і їх залишків, що містять шкідливі речовини, включаючи свинець (Pb), стибій (Sb), уран (U), 2,4-динітротолуол, 2,4,6-тринітротолуол та ін. [15; 16]. Переважна більшість цих сполук є стійкими до біологічного розкладання або обробки і, отже, залишаються в біосфері, стаючи джерелом забруднення, потенційно шкідливим для здоров'я людини та навколишнього середовища через їх можливий токсичний вплив [3].

Важливо зазначити, що оцінка воєннотехногенного навантаження на ґрунти визначається рівнем інтенсивності бойових дій із врахуванням типів забруднень. Викиди важких металів у навколишнє природне середовище під час наземних бойових дій і бомбардувань відбуваються із залишків зброї, що містять Pb, Cu, Cd, Sb, Cr, Ni, Zn, із подальшою їх міграцією у водні джерела,

у такий спосіб збільшуючи ризик впливу на людину. Біомоніторингові дослідження показали накопичення важких металів у рослинах, безхребетних і хребетних видах [15; 17; 18].

Результати переважної більшості досліджень показують значні забруднення ґрунту внаслідок застосування зброї свинцем (Pb) та його супутніх забруднювачів, включаючи Sb, Cu, Zn, Ni та As. Так, на території Сумської обл. (Сумський, Охтирський р-ни) в місцях падіння авіабомб та розбитої військової техніки фіксували перевищення фонового рівня за вмістом свинцю у ґрунті в 5,4 раза, мангану — в 4,8, міді — в 4,6, цинку — в 3,9, кадмію — в 1,4, нікелю та заліза — в 1,2 і 1,1 раза відповідно [9]. На території Харківської обл. (Вільхівська громада) визначено перевищення фонового рівня і ГДК кадмію в 5,6 раза, міді — 5–6,4 раза, цинку — 2,6 раза. Вміст марганцю перевищував фонове значення в 25 разів, але не перевищував ГДК [5]. На території Харківської обл. (с. Мала Рогань і Новий Коротич), де відбулися активні бойові дії, уміст рухомих форм марганцю перевищував ГДК у 2,3 раза, свинцю — у 2,8 раза. В інших випадках вміст важких металів був нижчим за ГДК, але переважав їх фонову концентрацію: нікелю — в 3–4 рази, міді — 2,4–2,8 раза у ґрунті на місці падіння авіабомб. У ґрунті утворених вирв: міді — в 3,6–12,8 раза, нікелю — в 3,9 раза залежно від виду снаряду та боєприпасу [19]. Результати досліджень забруднення ґрунту внаслідок ракетних ударів на території м. Львів показали перевищення за вмістом кадмію у 10–40 разів допустимого значення міжнародного стандарту. Аналогічне перевищення рівня

міжнародних стандартів виявлено за вмістом у ґрунті свинцю, міді, хрому, нікелю та титану, що спричиняє високі екологічні ризики [7].

Подальша міграція забруднювачів у ґрунті, надходження їх у водні джерела, акумуляція фіто-, зоо- та мікробіотою регулюється як абіотичними, так і біотичними чинниками, зокрема залежить від фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту та кліматичних чинників [20]. Так, швидкість міграції та трансформації важких металів залежить типу ґрунту, його гранулометричного складу, вмісту органічної речовини, реакції середовища (рН) тощо [2; 20–22]. Тому для визначення потенційних екологічних ризиків для екосистем від забруднення ґрунту внаслідок застосування зброї і ведення бойових дій потребує комплексних моніторингових досліджень.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проведено в Державній установі «Інститут охорони ґрунтів» та Інституті агроєкології і природокористування НААН у межах виконання моніторингових досліджень стану ґрунтів у зонах військових дій.

Зразки ґрунту було відібрано у квітні 2023 р. біля с. Торф'яне Бучанського р-ну Київської обл., де в лютому-березні 2022 р. велися активні бойові дії та наявне пошкодження ґрунтового покриву від артилерійських та мінометних обстрілів (табл. 1). Тип ґрунту дерново-середньопідзолистий неоглеєний, глеюватосупіщаний.

Вирви, утворені внаслідок мінометного обстрілу, знаходяться на території лісових екосистем (рис. 1).

Таблиця 1. Характеристика об'єктів досліджень

Об'єкт досліджень	Географічні координати*	Глибина вирви, м	Діаметр вирви, м
Вирва № 1	50°41'51,3" пн. ш. 29°48'25,6" сх. д.	0,85	3,2
Вирва № 2	50°41'42,9" пн. ш. 29°48'30,9" сх. д.	1,2	3,2

Примітка: * координати наведено у Всесвітній системі координат WGS 84.



Рис. 1. Вирви від мінометних обстрілів (Київська обл., Бучанський р-н, квітень 2023 р.)

Відбір зразків ґрунту проведено відповідно чинних стандартів: ДСТУ ISO серії 10381, зокрема: ДСТУ ISO 10381-1:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT); ДСТУ ISO 10381-2:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT); ДСТУ ISO 10381-5:2009 Якість ґрунту. Пробовідбирання. Частина 5. Настанови з процедури дослідження міських та промислових ділянок щодо забруднення ґрунту (ISO 10381-5:2005, IDT).

Зразки ґрунту вирви № 1 відбирали на глибині 0–20 см з дна, бокових стінок та внутрішнього краю вирви (Т1/1), а також від краю вирви на відстані 2,5 м (Т1/2) і 30 м (Т1/3). Зразки ґрунту вирви № 2 відбирали на глибині 0–20 см з дна, бокових стінок, внутрішнього краю вирви (Т2/1). А також на відстані 2,5 м від краю вирви в північно-західному напрямі, де виявлено опалені дерева (Т2/2), та в протилежному напрямі (Т2/3), та на відстані і 30 м (Т2/4).

Формували змішаний зразок із 30-ти проб ґрунту з кожної точки відбору і визначали вміст важких металів (Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb) (за ДСТУ 4770.6:2007, ДСТУ 4770.2:2007, ДСТУ 4770.7:2007, ДСТУ 4770.8:2007, ДСТУ 4770.3:2007, ДСТУ 4770.9:2007) в буферній амонійно-

ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії.

Результати експериментальних досліджень були проаналізовані за використання програмного пакета Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Ґрунти в зоні проведення досліджень (Бучанський р-н, Київська обл.) представлені переважно дерново-середньо- і слабо-підзолистими супіщаними і суглинковими. Вони характеризуються підвищеною кислотністю, яка варіює в межах від кислої до слабокислої (рН 5,4–6,0), не насиченістю обмінного комплексу основами, незначною буферністю та низькою біологічною активністю [23; 24]. Низький вміст органічної речовини у дерново-підзолистому ґрунті підвищує рухомість важких металів та їх перехід у ґрунтовий розчин та міграцію у нижчі шари.

Валовий вміст важких металів розглядають як індикатори воєнно-техногенного навантаження [5]. Наші дослідження показали, що за межами кратера вирви на відстані 2,5–30 м зростає валовий вміст усіх досліджуваних хімічних елементів (табл. 2). Так, на відстані 2,5 м від краю вирв (№ 1 і № 2) виявлено підвищення валового вмісту цинку, хрому і нікелю – в 1,1–1,2 раза, свинцю – в 1,1–1,6 раза, міді в 1,5–1,8 раза. Підвищення вмісту кадмію

Таблиця 2. Вміст важких металів (валові форми) у дерново-підзолистому ґрунті в зоні влучання артилерійських снарядів, 0–20 см, мг/кг ґрунту (Київська обл., Бучанський р-н, с. Торф'яне)

Об'єкт досліджень	Cu	Zn	Ni	Cr	Cd	Pb
<i>Вирва № 1</i>						
Кратер вирви (Т1/1)	9,18	75,95	20,48	32,62	2,00	25,16
На відстані 2,5 м від краю вирви (Т1/2)	16,59	92,13	24,21	36,45	1,63	27,90
На відстані 30 м від краю вирви (Т1/3)	17,67	150,57	28,12	40,77	2,36	43,54
НІР _{0,5}	1,3	2,0	1,8	2,1	0,4	1,3
<i>Вирва № 2</i>						
Кратер вирви (Т2/1)	10,04	92,54	22,37	35,21	1,92	28,89
На відстані 2,5 м від краю вирви, пн.-зх. (Т2/2)	15,60	102,32	26,02	38,22	2,01	41,02
На відстані 2,5 м від краю вирви, пд.-сх. (Т2/3)	14,45	93,12	19,00	36,15	2,29	45,13
На відстані 30 м від краю вирви (Т2/4)	16,79	154,97	24,38	38,88	2,63	44,45
НІР _{0,5}	1,1	1,6	1,5	1,5	0,4	1,5

в 1,1–1,2 раза на відстані 2,5 м зафіксовано лише в межах вирви № 2 (Т2/2, Т2/3).

Натомість в усіх випадках на відстані 30 м від вирв (№ 1 і № 2) виявлено підвищення валового вмісту нікелю, хрому, кадмію — в 1,1–1,4 раза, свинцю — в 1,5–1,7 раза, міді і цинку — в 1,6–2,0 рази. Це свідчить про потужну вибухову хвилю і роз-

сіювання на значні відстані від епіцентру вибуху потенційно токсичних елементів складових артилерійських снарядів.

Аналіз вмісту рухомих форм важких металів у шарі ґрунту 0–20 см у кратері вирв та навколо них засвідчив перевищення фонового рівня в середньому в 3,1–9,0 разів (табл. 3). Безпосередньо в кратері

Таблиця 3. Вміст важких металів (рухомі форми) у дерново-підзолистому ґрунті в зоні влучання артилерійських снарядів, мг/кг ґрунту (Київська обл., Бучанський р-н, с. Торф'яне)

Об'єкт досліджень	Cu	Zn	Ni	Cr	Cd	Pb
ГДК	3,0	23,0	4,0	6,0	0,7	6,0
Фон (0–20 см)	0,21	0,64	0,70	0,84	0,07	0,81
<i>Вирва № 1</i>						
Кратер вирви (Т1/1)	0,43	3,57	2,95	6,27	0,31	2,94
На відстані 2,5 м від краю вирви (Т1/2)	0,79	4,24	4,60	6,75	0,27	3,85
На відстані 30 м від краю вирви (Т1/3)	0,84	7,01	4,74	7,55	0,39	6,22
НІР _{0,5}	0,09	0,51	0,90	0,31	0,03	0,87
<i>Вирва № 2</i>						
Кратер вирви (Т2/1)	0,46	5,38	4,22	6,15	0,32	3,27
На відстані 2,5 м від краю вирви, пн.-зх. (Т2/2)	0,64	5,71	4,82	6,43	0,37	5,89
На відстані 2,5 м від краю вирви, пд.-сх. (Т2/3)	0,57	5,42	3,50	7,03	0,34	6,15
На відстані 30 м від краю вирви (Т2/4)	0,76	9,01	4,60	7,20	0,44	6,35
НІР _{0,5}	0,09	0,03	0,84	0,09	0,03	0,09

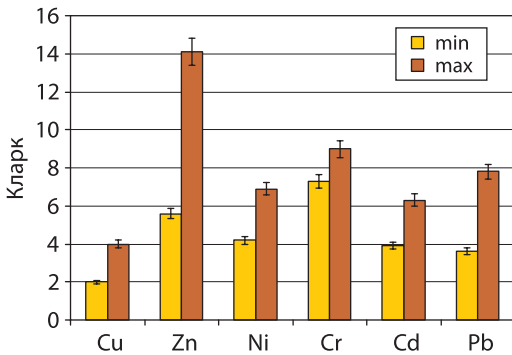


Рис. 2. Коефіцієнти концентрації вмісту важких металів у дерново-підзолистому ґрунті в зоні влучання артилерійських снарядів (Київська обл., Бучанський р-н, кларки)

вирви перевищення фонового рівня вмісту рухомих форм важких металів становило: Cu – 2,0–2,2 раза, Pb – 3,6–4,0 раза, Ni – 4,2–6,0 разів, Cd – 4,4–4,6 раза, Zn – 5,6–8,4 раза, Cr – в 7,3–7,5 раза.

На відстані 2,5 м і 30 м від вирви № 1 (Т1/2, Т1/3) перевищення фонового рівня вмісту важких металів виявлено для: Cu – в 2,8 і 4 рази, Cd – в 3,9 і 5,6 раза, Pb – в 4,8 і 7,7 раза, Ni – в 6,6 і 6,8 раза, Zn – в 6,6 і 11 разів, Cr – в 8 і 9 разів, відповідно.

На відстані 2,5 м і 30 м від вирви № 2 (Т2/2, Т2/3, Т2/4) перевищення фонового рівня вмісту важких металів зафіксовано для: Cu – в 3,0 і 2,7–3,6 раза, Cd – в 5,3 і 4,9–6,3 раза, Pb – в 7,3 і 7,6–7,8 раза, Zn – в 8,9 і 8,5–14,1 раза, Ni – в 6,9 і 5,0–6,6 раза, Cr – в 7,7 і 8,4–8,6 раза, відповідно.

Встановлено відсутність перевищень межі ГДК за вмістом у ґрунті міді (0,1–0,3 ГДК), цинку (0,2–0,4 ГДК), кадмію (0,4–0,6 ГДК) і свинцю (0,5–1 ГДК) через рік після обстрілу цих територій.

Зазначено перевищення ГДК у ґрунті навколо вирв № 1 і № 2 за вмістом хрому на

7–26%, нікелю – на 15–21%. Незначне перевищення рівня ГДК за вмістом свинцю в ґрунті фіксували на відстані 30 м від вирви № 1 (Т1/3) на 4%, на відстані 2,5 м і 30 м від вирви № 2 (Т2/2, Т2/3, Т2/4) – на 3% і 6% відповідно.

Найвищі показники коефіцієнта концентрації в середньому встановлено для цинку – 6–14 кларків від фону, хрому – 7–9 кларки, свинцю – 4–8 кларків (рис. 2). Привнесення рухомих форм важких металів відзначається на відстані 30 м від вирв.

ВИСНОВКИ

Встановлено підвищення вмісту валових і рухомих форм важких металів (Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb) у дерново-підзолистому ґрунті у шарі 0–20 см через рік після артилерійських обстрілів. На відстані 30 м від вирв виявлено високий валовий вміст цинку (151–155 мг/кг), свинцю (43–44), хрому (39–41), нікелю (24–28), міді (17–18), кадмію (2–3 мг/кг). Зафіксовано перевищення вмісту рухомих форм важких металів безпосередньо у кратері вирв та на відстані до 30 м у середньому в 3,1–9,0 разів. Найвищі показники коефіцієнта концентрації важких металів у ґрунті встановлено в середньому для цинку – 6–14 кларків від фону, хрому – 7–9 кларки, свинцю – 4–8 кларків.

Виявлено перевищення ГДК у ґрунті навколо вирв за вмістом хрому на 7–26%, нікелю – на 15–21%. Зафіксовано незначне перевищення рівня ГДК за вмістом свинцю в ґрунті на 3–6%. За вмістом у ґрунті міді (0,1–0,3 ГДК), цинку (0,2–0,4 ГДК), кадмію (0,4–0,6 ГДК) і свинцю (0,5–1 ГДК) через рік після обстрілу цих територій відсутнє збільшення ГДК.

ЛІТЕРАТУРА

1. Broomandi P., Guney M., Kim J.R. and Karaca F. Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability*. 2020. Vol. 12 (21). 9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002>.
2. Pichtel J. Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review. *Appl. Environ. Soil Sci.* 2016. Vol. 2012. 617236.
3. Fayiga A.O. Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges. *Environ. Chem.* 2019. Vol. 16. P. 81–91.
4. Балюк С.А., Кучер А.В., Солоха М.О. та ін. Вплив

- збройної агресії та воєнних дій на сучасний стан ґрунтового покриву, оцінка шкоди та збитків, заходи з відновлення: наук. доп. Харків: ФОП Бровін О.В., 2022. 102 с.
5. Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. Київ: ГО Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. 32 с.
 6. Bonchkovskiy O.S., Ostapenko P.O., Shvaiko V.M. and Bonchkovskiy A.S. Remote sensing as a key tool for assessing war-induced damage to soil cover in Ukraine (the case study of Kyivska territorial hromada). *Journal of Geology Geography and Geoecology*. 2023. Vol. 32(3). P. 474–487. DOI: <https://doi.org/10.15421/112342>.
 7. Petrushka K., Petrushka I. and Yuhman Y. Assessment of the impact of military actions on the soil cover at the explosion site by the Nemerov method and the Pearson Coefficient case study of the city of Lviv. *J. Ecol. Eng.* 2023. Vol. 24 (10). P. 77–85. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/170078>.
 8. Solokha M., Pereira P., Symochko L., Vynokurova N., Demyanyuk O. et al. Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidences from the field and remote sensing. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 902. 166122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122>.
 9. Зайцев Ю.О., Грищенко О.М., Романова С.А., Зайцева І.О. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського районів Сумської обл. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 3. С. 136–149.
 10. Certini G., Scalenghe R. and Woods W.I. The impact of warfare on the soil environment. *Earth Sci. Rev.* 2013. Vol. 127. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.009>.
 11. Perkins D.B., Haws N.W., Jawitz J.W. et al. Soil hydraulic properties as ecological indicators in forested watersheds impacted by mechanized military training. *Ecol. Indic.* 2007. Vol. 7. P. 589–597.
 12. Schwenk M. Chemical warfare agents. Classes and targets. *Toxicol. Lett.* 2018. Vol. 293. P. 253–263.
 13. Alhasan M., Lakmes A., Alobaidy M.G. et al. A baseline survey of potentially toxic elements in the soil of north-west Syria following a decade of conflict. *Environ. Sci.: Adv.* 2023. Vol. 2. P. 886–897. DOI: <https://doi.org/10.1039/D2VA00333C>.
 14. Zwiijnenburg V., Hochhauser D., Dewachi O. et al. Solving the jigsaw of conflict-related environmental damage: Utilizing open-source analysis to improve research into environmental health risks. *J. Public Health*. 2020. Vol. 42. P.352–360. DOI: <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdz107>.
 15. Shukla S., Mbingwa G., Khanna S. et al. Environment and health hazards due to military metal pollution: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2023. Vol. 20. P. 100857. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100857>.
 16. Tomic N.T., Smiljanic S., Jovic M.P. et al. Examining the Effects of the Destroying Ammunition, Mines and Explosive Devices on the Presence of Heavy Metals in Soil of Open Detonation Pit; Part 2: Determination of Heavy Metal Fractions. *Water Air Soil Pollut.* 2018. Vol. 229. P. 303.
 17. Skalny A.V., Aschner M., Bobrovnikitsky I.P. et al. Environmental and health hazards of military metal pollution. *Environ Res.* 2021. Vol. 201. P. 111568. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111568>.
 18. Tovar-Sánchez E., Hernández-Plata I., Martínez M.S. et al. Heavy Metal Pollution as a Biodiversity Threat. *In Tech*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.74052>.
 19. Солоха М.О., Смірнова К.Б., Винокурова Н.В., Семеновца К.О. Варіабельність геохімічного та гранулометричного складу ґрунтів Лісостепу України під впливом бойових дій. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 14. С. 109–116.
 20. Velayatzadeh M. Heavy metals in surface soils and crops. *IntechOpen*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.108824>.
 21. Kicińska A., Pomykała R. and Izquierdo-Díaz M. Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*. 2022. Vol. 73(1). P. 13203. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.13203>.
 22. Singh R., Ahirwar N.K., Tiwari J. and Pathak J. Review on sources and effect of heavy metal in soil: its bioremediation. *Int. J. Res. Appl. Nat. Soc. Sci.* 2018. P. 1–22.
 23. Demyanyuk O., Symochko L. and Shatsman D. Structure and dynamics of soil microbial communities of natural and transformed ecosystems. *Environmental Research, Engineering and Management (EREM)*. 2020. Vol. 76 (4). P. 97–105. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.erem.76.4.23508>.
 24. Еколого-економічні основи збалансованого розвитку агросфери Київської області: моногр. / за ред. О.І. Фурличка. Київ: ДІА, 2015. 736 с.

REFERENCES

1. Broomandi, P., Guney, M., Kim, J.R. & Karaca, F. (2020). Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability*, 12 (21), 9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002> [in English].
2. Pichtel, J. (2016). Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review. *Appl. Environ. Soil Sci*, 2012, 617236 [in English].
3. Fayiga, A.O. (2019). Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges. *Environ. Chem*, 16, 81–91 [in English].
4. Baliuk, S.A., Kucher, A.V., Solokha, M.O. et al. (2022). *Vplyv zbroynoi ahresii ta voiennykh dii na suchasnyi stan ґruntovoho pokryvu, otsinka shkody ta zbytkiv, zakhody z vidnovlennia: naukova dopovid [Impact of armed aggression and hostilities on the current*

- state of the soil cover, assessment of damage and losses, restoration measures: scientific report]. Kharkiv [in Ukrainian].
5. Splodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, S. & Sorokina, L. (2023). *Vplyv viiny rosii proty Ukrainy na stan ukraïnskykh gruntiv [The impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soils]*. Kyiv [in Ukrainian].
 6. Bonchkovskiy, O.S., Ostapenko, P.O., Shvaiko, V.M. & Bonchkovskiy, A.S. (2023). Remote sensing as a key tool for assessing war-induced damage to soil cover in Ukraine (the case study of Kyinska territorial hromada). *Journal of Geology Geography and Geoecology*, 32 (3), 474–487. DOI: <https://doi.org/10.15421/112342> [in English].
 7. Petrushka, K., Petrushka, I., Yuhman, Y. (2023). Assessment of the impact of military actions on the soil cover at the explosion site by the Nemerov method and the Pearson Coefficient case study of the city of Lviv. *J. Ecol. Eng.*, 24 (10), 77–85. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/170078> [in English].
 8. Solokha, M., Pereira, P., Symochko, L., Vynokurova, N., Demyanyuk, O. et al. (2023). Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidences from the field and remote sensing. *Science of the Total Environment*, 902, 166122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122> [in English].
 9. Zaitsev, Yu.O., Hryshchenko, O.M., Romanova, S.A. & Zaitseva, I.O. (2022). Vplyv boiovykh dii na vmist valovykh form vazhkykh metaliv u gruntakh Sums'koho ta Okhtyrs'koho rayoniv Sums'koi oblasti [The impact of warfare on the content of gross forms of heavy metals in the soils of Sumy and Okhtyrka districts of Sumy region]. *Ahroekolohichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 3, 136–149 [in Ukrainian].
 10. Certini, G., Scalenghe, R. & Woods, W.I. (2013). The impact of warfare on the soil environment. *Earth Sci. Rev.*, 127, 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.009> [in English].
 11. Perkins, D.B., Haws, N.W., Jawitz, J.W. et al. (2007). Soil hydraulic properties as ecological indicators in forested watersheds impacted by mechanized military training. *Ecol. Indic.*, 7, 589–597 [in English].
 12. Schwenk, M. (2018). Chemical warfare agents. Classes and targets. *Toxicol. Lett.*, 293, 253–263 [in English].
 13. Alhasan, M., Lakmes, A., Alobaidy, M.G. et al. (2023). A baseline survey of potentially toxic elements in the soil of north-west Syria following a decade of conflict. *Environ. Sci.: Adv.*, 2, 886–897. DOI: <https://doi.org/10.1039/D2VA00333C> [in English].
 14. Zwiijnenburg, V., Hochhauser, D., Dewachi, O. et al. (2020). Solving the jigsaw of conflict-related environmental damage: Utilizing open-source analysis to improve research into environmental health risks. *J. Public Health*, 42, e352–e360. DOI: [10.1093/pubmed/fdz107](https://doi.org/10.1093/pubmed/fdz107) [in English].
 15. Shukla, S., Mbingwa, G., Khanna, S. et al. (2023). Environment and health hazards due to military metal pollution: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 20, 100857. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100857> [in English].
 16. Tomic, N.T., Smiljanic, S., Jovic, M.P. et al. (2018). Examining the Effects of the Destroying Ammunition, Mines and Explosive Devices on the Presence of Heavy Metals in Soil of Open Detonation Pit; Part 2: Determination of Heavy Metal Fractions. *Water Air Soil Pollut.*, 229, 303 [in English].
 17. Skalny, A.V., Aschner, M., Bobrovitsky, I.P. et al. (2021). Environmental and health hazards of military metal pollution. *Environ Res.*, 201, 111568. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111568> [in English].
 18. Tovar-Sánchez, E., Hernández-Plata, I., Martínez, M.S. et al. (2018). Heavy Metal Pollution as a Biodiversity Threat. *In Tech*. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.74052> [in English].
 19. Solokha, M.O., Smirnova, K.B., Vynokurova, N.V. & Sementsova, K.O. (2022). Variabelnist heokhimichnoho ta hranulometrychnoho skladu gruntiv lisostepu Ukrainy pid vplyvom boiovykh dii [Variability of the geochemical and granulometric composition of the soils of the forest steppe of Ukraine under the influence of combat actions]. *Ahrarni innovatsii — Agrarian innovations*, 14, 109–116 [in Ukrainian].
 20. Velayatzadeh, M. (2023). Heavy metals in surface soils and crops. *InTechOpen*. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.108824> [in English].
 21. Kicińska, A., Pomykała, R. & Izquierdo-Diaz, M. (2022). Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*, 73 (1), e13203. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.13203> [in English].
 22. Singh, R., Ahrwar, N.K., Tiwari, J. & Pathak J. (2018). Review on sources and effect of heavy metal in soil: its bioremediation. *Int. J. Res. Appl. Nat. Soc. Sci.*, 1–22 [in English].
 23. Demyanyuk, O., Symochko, L. & Shatsman, D. (2020). Structure and dynamics of soil microbial communities of natural and transformed ecosystems. *Environmental Research, Engineering and Management (EREM)*, 76 (4), 97–105. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.erem.76.4.23508> [in English].
 24. Furdychko, O. (Ed.). (2015). *Ekoloho-ekonomichni osnovy zbalansovanoho rozvytku ahrosfery Kyivskoi oblasti: monohrafiia [Ecological and economic foundations of the balanced development of the agricultural sphere of the Kyiv region: monograph]*. Kyiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 16.09.2023