

ВПЛИВ БОЙОВИХ ДІЙ НА ВМІСТ ВАЛОВИХ ФОРМ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ СУМСЬКОГО ТА ОХТИРСЬКОГО Р-НІВ СУМСЬКОЇ ОБЛ.

Ю.О. Зайцев¹, О.М. Грищенко¹, С.А. Романова¹, І.О. Зайцева²

¹ Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України» (м. Київ, Україна)
e-mail: info@iogu.gov.ua; ORCID: 0000-0001-8368-8127
e-mail: grischenkoel@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1241-7183
e-mail: svkiev07@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3051-1077

² Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (м. Дніпро, Україна)
e-mail: irinza.ldfr@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5789-7240

У статті висвітлено екологічну небезпеку військових дій на території України. Наведено результати експериментальних досліджень вмісту валових форм важких металів у десяти пробах ґрунтів, відібраних на землях сільськогосподарського призначення Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл. Три проби відібрано з місць падіння авіабомб, сім — із місць розбитої військової техніки. У результаті проведених досліджень встановлено перевищення фонових рівнів за вмістом свинцю в усіх зразках ґрунту, середній вміст елемента на забруднених територіях у 5,4 раза перевищував фонове значення. Перевищення фонових рівнів за вмістом цинку відмічено у дев'яти з десяти зразків ґрунту, середній вміст елемента на забруднених територіях у 3,9 раза перевищував фонове значення. Середній вміст кадмію на забруднених територіях у 1,4 раза перевищував фонове значення (перевищення відмічено у восьми пробах ґрунту). У восьми пробах ґрунту встановлено перевищення фонових значень валового вмісту міді, в середньому по досліді — вміст міді в 4,6 раза перевищує фонове значення. Перевищення фонових значень за вмістом нікелю та заліза відмічено лише в трьох пробах ґрунту, а середній вміст елементів в 1,2 і 1,1 раза перевищував фонове значення. Середній вміст марганцю на забруднених територіях у 4,8 раза був вищий за фонове значення (перевищення відмічено у шести пробах ґрунту). За результатами досліджень встановлено перевищення ГДК валового вмісту свинцю (у шести пробах ґрунту), цинку та марганцю (у двох пробах ґрунту), міді (у п'яти пробах ґрунту) з місць бойових дій. За вмістом валових форм кадмію та нікелю перевищення ГДК не виявлено. Значно вищий коефіцієнт варіації вмісту валових форм важких металів у зоні бойових дій, порівнюючи зі вмістом поза зоною бойових дій (фонове значення), може свідчити про інтенсивність впливу негативного чинника на ґрунтовий покрив. Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву внаслідок бойових дій відмічено у місцях згорілої техніки (с. Косівщина, с. Старе Село, с. Низи Сумського р-ну Сумської обл.). За результатами кореляційного аналізу встановлено надзвичайно сильну залежність між умістом досліджуваних форм важких металів.

Ключові слова: військові дії, землі сільськогосподарського призначення, свинець, кадмій, залізо, магній, цинк, мідь, нікель, фоновий вміст, клас небезпеки, ГДК.

ВСТУП

Повномасштабне вторгнення Російської Федерації до України вже завдало та продовжує завдавати непоправної шкоди довкіллю, зокрема внаслідок забруднення та пошкодження ґрунтового покриву. Впродовж семи місяців активних бойових дій ґрунтовому покриву дев'яти областей

України площею близько 21 млн га завдано непоправної шкоди. Військові дії призводять не лише до фізичного погіршення стану ґрунту, але й до його хімічного забруднення. Пряме потрапляння снарядів, згоріла військова техніка і нафтопродукти руйнують екосистему і забруднюють ґрунти та воду важкими металами і токсичними елементами. Найшкідливішими забруднювачами ґрунтів є високотоксичний свинець,

ртуть, арсен, кадмій, мідь, нікель та цинк [1; 2]. Ці та інші важкі метали під час військових дій потрапляють у навколишнє середовище від залишків вогнепальної зброї, що містить високі рівні металовмісних часток, а також від використання артилерії, гранат та ракет. Металеві рештки є одним з найнебезпечніших наслідків військових дій, вони, як правило, найдовше зберігаються в зонах конфлікту.

Забруднення важкими металами може відгукуватися не один десяток років, оскільки вони є полівалентними, добре сорбуються ґрунтами, утворюють важкорозчинні сполуки з фосфатами і гідрооксидами, що сприяє їх поступовому нагромадженню в ґрунтового середовищі [3; 4]. Це зумовлює до підвищення токсичного потенціалу ґрунту, впливає на його біологічну активність, викликає патологічні зміни в протіканні біологічних процесів, накопичення шкідливих речовин у сільськогосподарських культурах. Нагромадження важких металів у ґрунті впливає на його родючість і мікробіологічну активність [1; 5]. Забруднення важкими металами є одним із факторів, що визначає продуктивність сільськогосподарських культур та якість сільськогосподарської продукції.

Завдяки високій мобільності важкі метали переміщуються ланцюгами харчування біологічних організмів і становлять загрозу для населення через свою токсичність, канцерогенність та мутагенність. Тому моніторинг екологічного стану ґрунтів щодо вмісту важких металів є надзвичайно важливим. Особливо у місцях, де проходили бойові дії [6].

Мета дослідження — визначити вплив військових дій на рівень забруднення ґрунтів важкими металами.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

З огляду на світовий досвід, військові конфлікти істотно впливають на властивості ґрунту переважно через його певні фізико-хімічні порушення та забруднення, які є особливо небезпечними для ґрунтів сільськогосподарського призначення. За

результатами досліджень D. Vidosavljevic та A. Verhe [7; 8] Хорватська війна призвела до різкого зростання концентрації важких металів у ґрунті. Вміст миш'яку, ртуті й свинцю на територіях важких боїв був вищим за дозволений національним законодавством, уміст ртуті перевищував максимально допустимий для ведення сільського господарства. Концентрація інших елементів у зразках із місць високої інтенсивності бойових дій перевищувала в 1,03–52,2 рази (нікель) уміст у зразках, відібраних із місць низької бойової активності. Зростання концентрації важких металів було відмічено навіть на відстані понад 6 км від території проведення бойових дій.

Зростання вмісту важких металів у ґрунті було відмічено після війни у Перській затоці. Найвищі концентрації встановлено за вмістом кадмію, кобальту, хрому, свинцю, нікелю, титану, ванадію та вольфраму [9]. Перевищення ГДК важких металів у ґрунтах стало наслідком воєн у Боснії та Герцеговині, Ірані, Кувейті, Північних Маріанських островах та ін. [10–13].

Важкі метали, які потрапили в ґрунт, можуть залишатися в ньому впродовж тривалого часу. Французькими науковцями у 2011 р. встановлено перевищення допустимих концентрацій важких металів на полях боїв Першої світової війни навіть через 90 років після їх забруднення [14].

За підтримки ОБСЄ 2014 р. проведено дослідження стану ґрунтового покриву зони конфлікту на сході України. Встановлено, що вміст важких металів у пробах ґрунту, відібраних на ділянках бойових дій, в більшості випадків перевищував фонове значення в 1,2–12 разів. Систематичне перевищення в 1,1–1,3 рази спостерігалось щодо ртуті, ванадію та кадмію [6; 15]. Найвищий вміст важких металів виявлено в місцях розриву снарядів [16].

Для недопущення негативних екологічних наслідків підвищеного вмісту важких металів у землях сільськогосподарського призначення необхідно проводити ретельний моніторинг площ, пошкоджених у результаті бойових дій, і своєчасно вжива-

ти заходи для відтворення та реабілітації ґрунтів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень слугували проби ґрунтів, відібрані на землях сільськогосподарського призначення Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл. Три проби ґрунтів відібрано з місць падіння авіабомб (с. Сад Сумського р-ну (проба 1), с. Климове (9) та м. Охтирка (10) Охтирського р-ну) та сім проб – з місць розбитої військової техніки (с. Косівщина (2), с. Старе Село (3), с. Низи (4), с. Верхня Сироватка (5) Сумського р-ну та с. Боромля (6), с. Білка (8), м. Тростянець (7) Охтирського р-ну). Контрольні (фонові) проби – з території, що були поряд (за 100 м від точки ураження), характеризувалися таким самим типом ґрунту, за винятком впливу бойових дій.

Лабораторний аналіз проб проводили в акредитованій лабораторії (за стандартом ISO/IEC–17025:2017) Дніпропетровської філії ДУ «Держґрунтохорона». Вміст валових форм важких металів визначали відповідно до ДСТУ ISO 11047:2005 [17].

Оцінку екологічного стану ґрунтів за вмістом важких металів проводили шляхом порівняння їх умісту у порушеному внаслідок бойових дій ґрунті з умістом у ґрунті, відібраному поза зоною бойових дій, та гранично допустимою концентрацією (ГДК) [18].

Розрахунки кореляційних взаємозв'язків проводили методом кореляційного аналізу за такою градацією: коефіцієнт кореляції (r) менше 0,3 – залежність слабка, від 0,3 до 0,7 – середня, вище 0,7 – сильна (перевищує критичне значення) [19].

Статистичну обробку отриманих результатів проводили в пакеті програм Excel та Statistika 6.0.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Особливу небезпеку становить забруднення ґрунтів сільськогосподарського призначення важкими металами, оскільки

вони є надзвичайно токсичними навіть у мінімальних кількостях. Важкі метали не піддаються процесам розкладання, а здатні лише перерозподілятися між природними середовищами. Вони мають здатність накопичуватися у сільськогосподарських культурах, а після їх споживання – концентруватися в живих організмах, викликаючи при цьому різні патології [16; 20]. Основними забруднювачами ґрунтів вважаються свинець, кадмій та цинк.

Свинець – важкий метал I класу небезпеки [21], є одним з найтоксичніших хімічних елементів навіть у незначних кількостях. Забруднення свинцем ґрунту створює загрозу ураження цим елементом населення, що проживає в районах ураження, і насамперед дітей, які більш чутливі до впливу важких металів [22]. Елемент має невисоку фітотоксичність. Основна частина свинцю, який потрапляє до рослини, затримується у її кореневій системі.

Валовий вміст свинцю у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 14,17 до 347,43 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій (фонове значення) – від 7,45 до 48,96 мг/кг ґрунту. Перевищення фонового рівня за цим елементом відмічено в усіх зразках ґрунту, а середній вміст свинцю на забруднених територіях у 5,4 раза перевищував фонове значення (табл. 1).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробах ґрунту 2, 3 та 4 з місць згорілої техніки, вміст свинцю в яких перевищує фонове значення в 11,4; 7,1 і 6,3 раза відповідно. Найнижчий вміст свинцю та найменшу різницю з фоновими значеннями виявлено у місцях падіння авіабомб (проби ґрунту 1, 9 й 10) та у пробі 7, відібраній у місці згорілої техніки (рис. 1).

У результаті проведених досліджень виявлено перевищення ГДК у шести зразках ґрунту (3, 4, 5, 6 і 8), відібраних у зоні бойових дій, та одному зразку (3) – поза зоною бойових дій.

Валовий вміст свинцю є одним з найбільш варіабельних показників. Коефіцієнт варіації за вмістом елементу становив

Таблиця 1. Уміст валових форм важких металів I класу небезпеки на землях сільськогосподарського призначення Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл.

Проба ґрунту	Свинець, мг/кг ґрунту			Цинк, мг/кг ґрунту			Кадмій, мг/кг ґрунту		
	у зоні впливу бойових дій	поза зоною впливу бойових дій (фонове значення)	% до фонового значення	у зоні впливу бойових дій	поза зоною впливу бойових дій (фонове значення)	% до фонового значення	у зоні впливу бойових дій	поза зоною впливу бойових дій (фонове значення)	% до фонового значення
1	15,74	11,94	131,8	35,52	35,98	98,7	0,54	0,54	100,0
2	312,38*	27,39	1140,5	209,85	84,60	248,0	1,71	0,51	333,3
3	347,43*	48,96*	709,6	1012,31*	214,86	471,1	1,76	0,69	255,1
4	180,19*	28,44	633,6	397,47*	51,97	764,8	0,72	0,67	107,5
5	69,74*	15,06	463,1	201,83	37,53	537,8	0,60	0,87	69,0
6	80,12*	17,14	467,4	193,77	43,92	441,2	0,56	0,51	109,8
7	25,10	16,58	151,4	126,68	57,64	219,8	0,44	0,43	102,3
8	44,08*	18,18	242,5	201,25	39,56	508,7	0,61	0,45	135,6
9	14,17	7,45	190,2	132,78	38,56	344,3	0,22	0,15	146,7
10	19,88	15,19	130,9	104,68	66,10	158,4	0,42	0,41	102,4
Середнє значення	110,88	20,63	537,4	261,61	67,07	390,0	0,76	0,52	144,7
Стандартна помилка	39,79	3,73		88,63	17,13		0,17	0,06	
Середньо-квадратичне відхилення	125,83	11,80		280,29	54,17		0,53	0,19	
Коефіцієнт варіації	113,50	57,20		107,10	80,80		70,10	37,00	
Min	14,17	7,45		35,52	35,98		0,22	0,15	
Max	347,40	48,96		1012,31	214,86		1,76	0,87	
НІР _{0,5}	90,01	8,44		200,49	38,75		0,38	0,14	

Примітка: * Показник перевищує ГДК (ГДК для валового вмісту свинцю – 32 мг/кг ґрунту, цинку – 300 мг/кг ґрунту, кадмію – 3 мг/кг ґрунту [18]).

113,5% у зразках, відібраних у зоні бойових дій, та 57,2% – поза зоною впливу.

Цинк належить до металів I групи небезпеки [21], характеризується помірною токсичністю та слабкою фітотоксичністю [1]. За підвищеною вологістю ґрунту має високу міграційну здатність. За надлишкового надходження до організму людини і тварин токсично діє на серце, кров та інші органи, виявляє канцерогенну дію.

Валовий вміст цинку в точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 35,52 до 1012,31 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій – від 35,98 до 214,86 мг/кг ґрунту.

Перевищення фонового рівня відмічено у дев'яти з десяти проб ґрунту. Середній вміст цинку у зразках із місць бойових дій у 3,9 раза перевищує фонове значення (див. *табл. 1*).

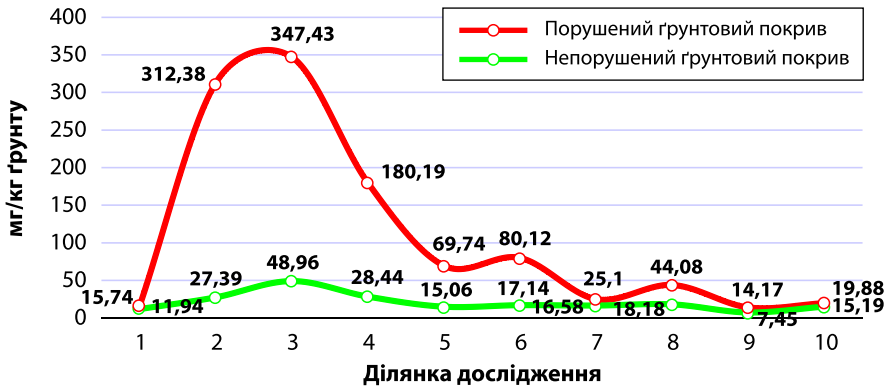


Рис. 1. Уміст валових форм сполук свинцю

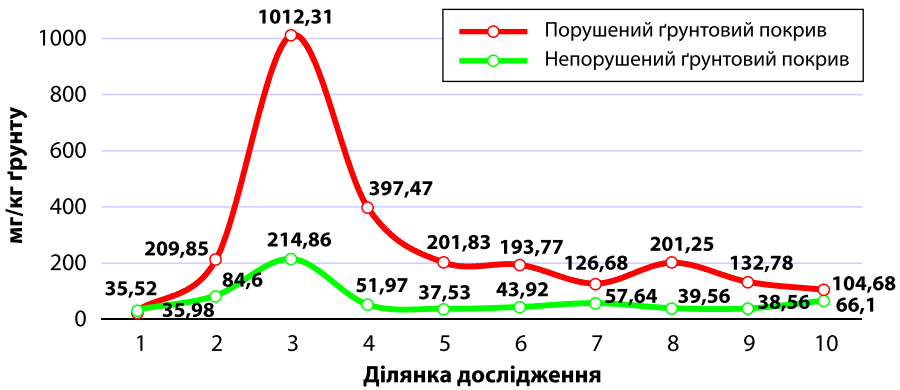


Рис. 2. Уміст валових форм сполук цинку

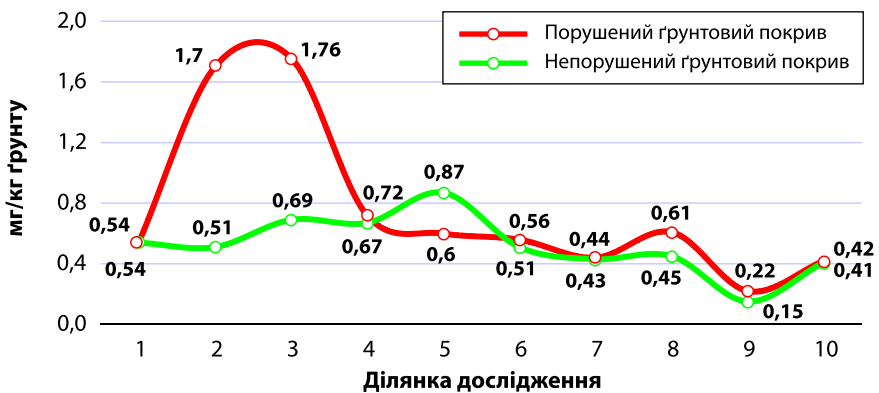


Рис. 3. Уміст валових форм сполук кадмію

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробах ґрунту 4, 5, 8 та 3, відібраних із місць згорілої техніки. Вміст цинку у цих пробах перевищує фонове значення від 471,1 до 764,8%. Найнижчий вміст цинку та найменшу різницю з фоновими значеннями виявлено у місцях падіння авіабомб (проби ґрунту 1 і 10). Слід зазначити, що валовий вміст цинку у пробі 1 був нижчий за фоновий показник (рис. 2).

У результаті проведених досліджень виявлено перевищення ГДК у двох зразках ґрунту (3, 4), відібраних у зоні бойових дій.

Одним із найбільш варіабельних показників був валовий вміст цинку. Коефіцієнт варіації за вмістом елементу становив 107,1% у зразках, відібраних у зоні бойових дій, та 80,8% — поза зоною впливу.

Кадмій і його сполуки є найбільш важливими під час вивчення проблем забруднення. Вони характеризуються надзвичайною токсичністю навіть у незначних концентраціях та належать до I класу небезпеки [21], легко мігрують у ґрунтах, швидко засвоюються і накопичуються у рослинах [1; 16]. Через забруднені харчові продукти рослинного й тваринного походження, кадмій може потрапити в організм, де порушує процеси формування кісткової тканини та провокує хвороби органів дихання. Кадмій знижує здатність організму протистояти хворобам. Він має мутагенні і канцерогенні властивості, негативно впливає на спадковість, руйнує еритроцити крові, призводить до захворювання нирок та сім'яних залоз, викликає гастрит і анемію. Для людини допустима доза кадмію становить 70 мг/кг на добу для дорослих і повністю виключає його присутність у питній воді та їжі для дітей.

Валовий вміст кадмію у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 0,22 до 1,76 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій (фонове значення) — від 0,15 до 0,87 мг/кг ґрунту. Перевищення фонового рівня відмічено у восьми з десяти проб ґрунту (2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 та 10). Слід зауважити, що у пробах ґрунту 7 та 10 зростання

показника було незначним (на 0,01 мг/кг ґрунту), у пробі 1 — валовий вміст кадмію був на рівні фонового значення (0,54 мг/кг ґрунту). Лише проба 5 характеризувалася нижчим за фонове значення вмістом кадмію. Середній вміст кадмію на забруднених територіях у 1,4 раза перевищував фонове значення (див. *табл. 1*).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробах ґрунту 2 та 3 з місць згорілої техніки, вміст кадмію в яких перевищує фонове значення в 3,3 і 2,6 разів відповідно.

Найнижчий вміст кадмію та найменшу різницю з фоновими значеннями виявлено у місцях падіння авіабомб (проби ґрунту 1, 9 і 10) та у пробі 7, відібраній у місці згорілої техніки (рис. 3). Перевищення ГДК не виявлено.

Одним із найменш варіабельних показників серед досліджуваних елементів є валовий вміст свинцю. Коефіцієнт варіації становив 70,1% у зразках, відібраних у зоні бойових дій та 37% — поза зоною впливу.

Мідь належить до важких металів II класу небезпеки [21], має слабку фітотоксичність, проте є дуже токсичною для людського організму [1; 16]. За надлишкового надходження до організму людей і тварин виявляє канцерогенну дію й має токсичний вплив на серце, кров та інші органи.

Валовий вміст сполук міді у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 4,5 до 610,38 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій — від 0,79 до 177,07 мг/кг ґрунту (*табл. 2*).

Перевищення фонового рівня відмічено у восьми з десяти проб ґрунту, а середній вміст міді на забруднених територіях у 4,6 раза перевищував фонове значення. У зразках 6 і 10 — вміст елементу був нижчий за фонове значення (див. *табл. 2*).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробах ґрунту 2, 5, 4 та 3 з місць згорілої техніки, вміст міді в яких перевищує фонове значення в 7–20 разів. Найнижчий вміст міді виявлено у місцях падіння авіабомб (проби ґрунту 9, 10 і 1) та у пробі 7, відібраній у місці згорілої техніки (рис. 4).

Таблиця 2. Уміст валових форм важких металів II класу небезпеки на землях сільськогосподарського призначення Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл.

Проба ґрунту	Мідь, мг/кг ґрунту			Нікель, мг/кг ґрунту		
	у зоні впливу бойових дій	поза зоною впливу бойових дій (фонове значення)	% до фонового значення	у зоні впливу бойових дій	поза зоною впливу бойових дій (фонове значення)	% до фонового значення
1	21,21	14,66	144,7	5,06	7,24	69,9
2	554,76*	25,85	2146,1	7,04	6,49	108,5
3	610,38*	83,52	730,8	23,22	6,38	363,9
4	122,33*	14,77	828,2	6,28	7,09	88,6
5	141,88*	11,97	1185,3	6,50	6,80	95,6
6	111,71*	177,07*	63,1	6,40	7,69	83,2
7	27,71	15,33	180,8	7,05	7,43	94,9
8	53,69	12,33	435,4	7,72	8,32	92,8
9	4,50	0,79	569,6	2,50	1,74	143,7
10	6,10	6,13	99,5	2,68	3,63	73,8
Середнє значення	165,43*	36,24	456,5	7,44	6,28	118,5
Стандартна помилка	71,37	17,28		1,84	0,64	
Середньоквадратичне відхилення	225,68	54,63		5,82	2,03	
Коефіцієнт варіації	136,40	150,70/119,30**		78,20	32,30	
Min	4,50	0,79		2,50	1,74	
Max	610,38	177,07		23,22	8,32	
НІР _{0,5}	161,43	39,08		4,17	1,45	

Примітка: * Показник перевищує ГДК (ГДК для валового вмісту міді – 100 мг/кг ґрунту, нікелю – 50 мг/кг ґрунту [18]). ** Коефіцієнт варіації без урахування зразка 6.

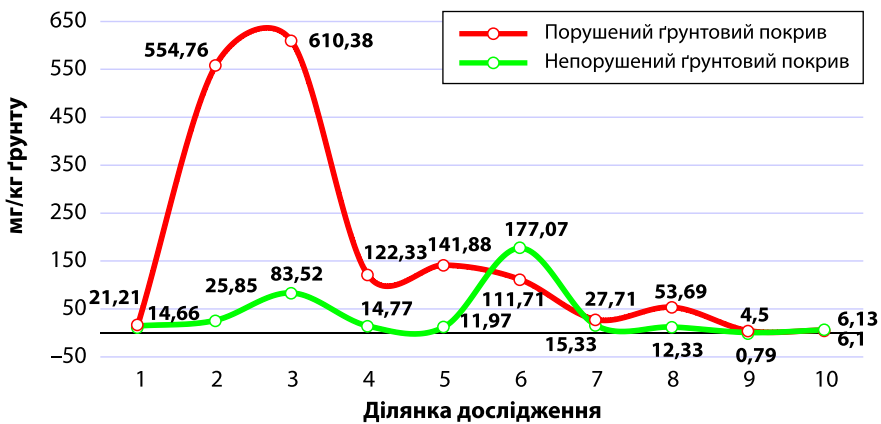


Рис. 4. Уміст валових форм сполук міді

У результаті проведених досліджень виявлено перевищення ГДК у п'яти пробах ґрунту (2–6), відібраних у місцях згорілої техніки. Перевищення ГДК також відмічено у зразку 6, відбраному поза зоною бойових дій. Слід зазначити, що вміст валових форм міді у цьому зразку на 65,36 мг/кг ґрунту перевищував значення показника у відповідній пробі ґрунту з зони бойових дій та у 8,6 раза перевищував середнє значення вмісту елемента в інших фонових зразках.

Одним із найбільш варіабельних показників був валовий вміст свинцю. Коефіцієнт варіації за вмістом елемента у зразках, відібраних у зоні бойових дій, становив 136,4% та 150,7% (119,3% без урахування зразка 6) – поза зоною впливу (фонові значення).

Нікель належить до елементів II класу небезпеки [21], потрапляючи на шкіру і в органи дихання може викликати гострі та хронічні отруєння.

Валовий вміст нікелю у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 2,50 до 23,22 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій – від 1,74 до 8,32 мг/кг ґрунту.

Перевищення фонових значення відмічено лише у трьох пробах ґрунту (2, 3 – з місць згорілої техніки, 9 – падіння авіабомби). Середній вміст нікелю у зразках із місць бойових дій у 1,2 раза перевищує фонове значення (див. *табл. 2*).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробі ґрунту 3, відібраній із місць згорілої техніки, вміст нікелю в якій перевищує фонове значення у 3,6 раза. Найнижчий вміст нікелю виявлено у місцях падіння авіабомб (проби ґрунту 9, 10 та 1). Перевищення ГДК за вмістом валових форм нікелю не виявлено (*рис. 5*).

Валовий вміст нікелю характеризується середньою варіабельністю. Коефіцієнт варіації за вмістом елемента у зразках, відібраних у зоні бойових дій, становив 78,2% та 32,3% – поза зоною впливу (фонові значення).

Залізо є одним із найпоширеніших елементів у природі, відноситься до III класу небезпеки. У природі існує у трьох станах, із них найбільш шкідливим для навколишнього середовища є стан іржі [21; 22].

Уміст валових форм заліза у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 3430 до 26353 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій – від 470 до 15195 мг/кг ґрунту. Перевищення фонових рівнів відмічено лише у трьох пробах ґрунту (3 і 5 з місць згорілої техніки та 9 – з місця падіння авіабомби). Середній вміст заліза на забруднених територіях у 1,1 раза перевищував фонове значення (*табл. 3*).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробі 3, в якій вміст заліза, порівняно з фоновим зна-

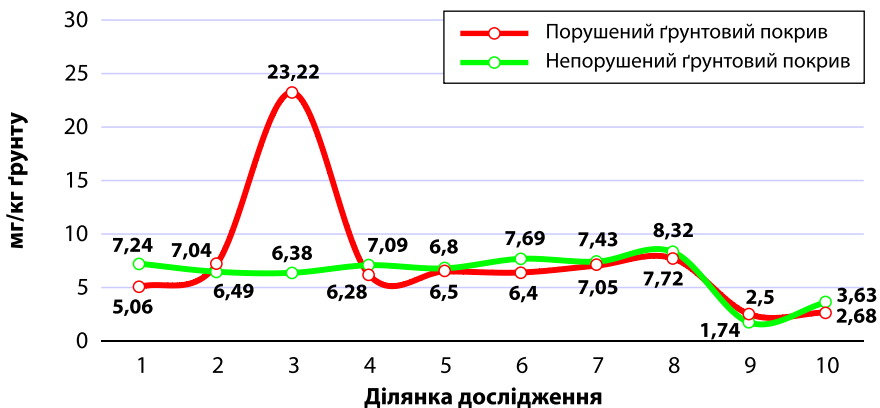


Рис. 5. Уміст валових форм нікелю

Таблиця 3. Уміст валових форм важких металів III класу небезпеки на землях сільськогосподарського призначення Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл.

Проба ґрунту	Залізо, мг/кг ґрунту			Манган, мг/кг ґрунту		
	у зоні впливу бойових дій	поза зоною впливу бойових дій (фонове значення)	% до фонового значення	у зоні впливу бойових дій	поза зоною впливу бойових дій (фонове значення)	% до фонового значення
1	8728,00	12158,00	71,8	99,56	188,42	52,8
2	9536,00	10031,00	95,1	3524,15*	242,46	1453,5
3	26353,00	11219,00	234,9	3545,19*	312,91	1133,0
4	11599,00	15195,00	76,3	872,3	172,32	506,2
5	10887,00	10189,00	106,9	332,16	201,44	164,9
6	9784,00	11888,00	82,3	322,01	182,85	176,1
7	9234,00	11428,00	80,8	216,36	333,81	64,8
8	12392,00	12604,00	98,3	197,06	199,74	98,7
9	3430,00	470,00	729,8	62,29	21,86	284,9
10	3656,00	4687,00	78,0	83,09	87,71	94,7
Середнє значення	10559,90	9986,90	105,7	923,49	194,08	476,2
Стандартна помилка	1997,90	1352,40		441,37	29,37	
Середньоквадратичне відхилення	6317,77	4276,54		1395,70	92,89	
Коефіцієнт варіації	59,80	42,80		150,70	47,80	
Min	3430,00	470,00		62,29	21,86	
Max	26353,00	15195,00		3545,19	333,81	
НІР _{0,5}	4519,20	3059,00		998,39	66,44	

Примітка: *Показник перевищує ГДК (ГДК для валового вмісту мангану – 1500 мг/кг ґрунту, заліза – не нормується [18]).

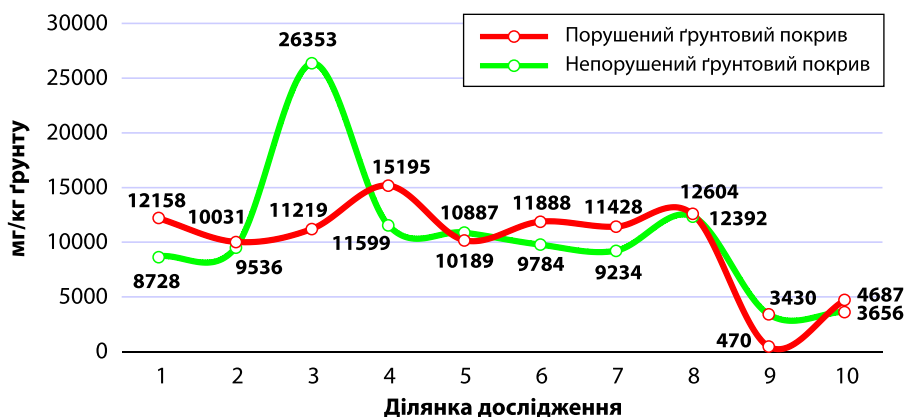


Рис. 6. Уміст валових форм сполук заліза

ченням, збільшився на 15134 мг/кг ґрунту (рис. 6).

Серед досліджуваних елементів, валовий вміст нікелю характеризувався найменшою варіабельністю, а коефіцієнт варіації за вмістом елементу у зразках, відібраних у зоні бойових дій, становив 59,8% та 42,8% — поза зоною впливу (фонові значення).

Манган належить до важких металів III класу небезпеки, має слабку фітотоксичність, проте перевищення його вмісту в ґрунті має шкідливий вплив на організм людини та призводить до руйнування нервової системи [21; 22].

Уміст валових форм марганцю у точках відбору ґрунтів у зоні бойових дій варіював від 62,29 до 3545,19 мг/кг ґрунту, поза зоною бойових дій — від 21,86 до 333,81 мг/кг ґрунту. Перевищення фонового рівня відмічено у шести пробах ґрунту. Середній вміст елементу у зразках, відібраних у зоні впливу бойових дій, у 4,8 раза був вищим за фонове значення (див. табл. 3).

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву виявлено у пробах 2 та 3, де вміст валових форм марганцю перевищує фонове значення у 14,5 і 11,3 раза відповідно (1453,5 та 1133,0 %). У результаті проведених досліджень перевищення ГДК за вмістом валових форм мангану виявлено у пробах ґрунту 2 та 3 з місць впливу бойових дій (рис. 7).

Коефіцієнт варіації валового вмісту марганцю у зразках, відібраних у зоні бойових дій, становив 150,7 % і 47,8 % — поза зоною впливу (фонові значення). Варіабельність показника була найвищою серед досліджуваних елементів.

За результатами досліджень вмісту валових форм важких металів у пробах ґрунту, відібраних у зоні бойових дій, встановлено кореляційні зв'язки між їх умістом (табл. 4).

У результаті проведених досліджень встановлено, що взаємозв'язок між вмістом валових форм:

- **марганцю** та інших форм важких металів варіював у межах 0,66–0,99. Найтіснішу позитивну залежність відмічено між умістом марганцю та: вмістом міді ($r = 0,99$), кадмію ($r = 0,98$) та вмістом свинцю ($r = 0,97$); дещо нижчий взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом нікелю та цинку ($r = 0,71$ і $0,7$ відповідно). Найслабший взаємозв'язок виявлено між марганцем та залізом ($r = 0,66$);
- **цинку** та інших форм важких металів варіював у межах 0,7–0,94. Найтіснішу позитивну залежність відмічено між умістом цинку та вмістом нікелю і заліза ($r = 0,94$ та $0,91$); дещо слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом свинцю ($r = 0,77$). Най-

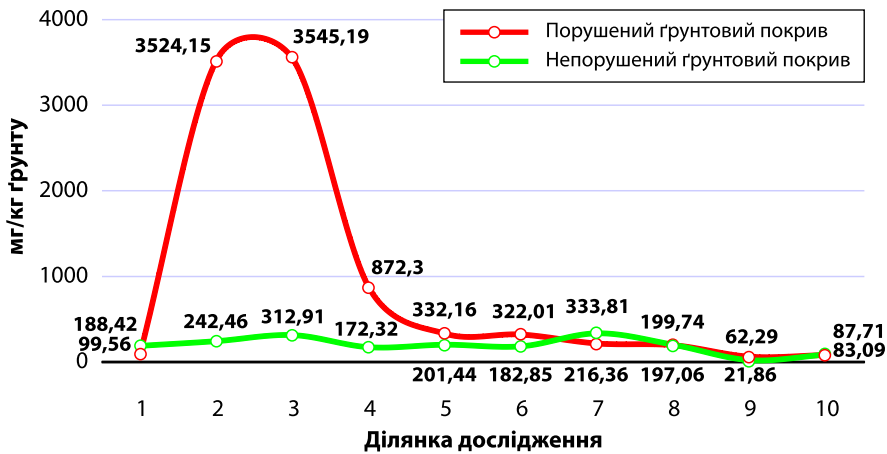


Рис. 7. Уміст валових форм сполук мангану

Таблиця 4. Кореляції між умістом валових форм важких металів у пробах ґрунту, відібраних у зоні бойових дій

Ознака	Манган	Цинк	Залізо	Свинець	Кадмій	Мідь	Нікель
Манган	1						
Цинк	0,70	1					
Залізо	0,66	0,91	1				
Свинець	0,97	0,77	0,71	1			
Кадмій	0,98	0,71	0,72	0,96	1		
Мідь	0,99	0,73	0,71	0,96	0,98	1	
Нікель	0,71	0,94	0,97	0,73	0,74	0,75	1

слабший взаємозв'язок був з кадмієм та марганцем ($r = 0,71$ і $0,7$ відповідно);

- **заліза** та інших форм важких металів варіював у межах $0,66$ – $0,97$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено між умістом заліза та вмістом нікелю і цинку ($r = 0,97$ та $0,91$); дещо слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з вмістом кадмію, свинцю та міді ($r = 0,72$ і $0,71$). Найслабший взаємозв'язок був із марганцем ($r = 0,66$);
- **свинцю** та інших форм важких металів варіював у межах $0,71$ – $0,97$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом марганцю, кадмію та міді ($r = 0,97$; $0,96$ і $0,96$ відповідно); дещо слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом цинку, нікелю та заліза ($r = 0,77$; $0,73$ і $0,71$ відповідно);
- **кадмію** та інших форм важких металів варіював у межах $0,71$ – $0,98$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом марганцю, міді та свинцю ($r = 0,98$; $0,98$ і $0,96$ відповідно); слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом нікелю, заліза та цинку ($r = 0,74$; $0,72$ і $0,71$ відповідно);
- **міді** та інших форм важких металів варіював у межах $0,71$ – $0,99$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом марганцю, кадмію та свинцю ($r = 0,99$; $0,98$ і $0,96$ відповідно); слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом нікелю, цинку та заліза ($r = 0,75$; $0,73$ і $0,71$ відповідно);

- **нікелю** та інших форм важких металів варіював у межах $0,71$ – $0,97$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом заліза та цинку ($r = 0,99$; $0,98$ і $0,96$ відповідно); слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом міді, кадмію, свинцю та марганцю ($r = 0,75$; $0,74$; $0,73$ і $0,71$ відповідно).

За результатами розрахунків кореляційних взаємозв'язків можна стверджувати, що існує високий ступінь залежності між умістом досліджуваних форм важких металів у ґрунтах, що зазнали впливу бойових дій.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено перевищення фонових рівнів за валовим умістом свинцю в усіх десяти пробах ґрунту, цинку – дев'яти, кадмію та міді – восьми, марганцю – шести, нікелю та заліза – у трьох, а середній вміст свинцю на забруднених територіях у 5,4 раза перевищував фонове значення, марганцю – у 4,8 раза, міді – 4,6, цинку – 3,9, кадмію – 1,4, нікелю та заліза – в 1,2 та 1,1 раза.

Перевищення ГДК валового вмісту свинцю виявлено у шести пробах ґрунту, міді – п'яти пробах ґрунту, цинку та марганцю – у двох пробах ґрунту з місць бойових дій. За вмістом валових форм кадмію та нікелю перевищення ГДК не виявлено.

Найвищий ступінь порушення ґрунтового покриву внаслідок бойових дій відмі-

чено у місяць згорілої техніки (с. Косівщина, с. Старе Село, с. Низи Сумського р-ну Сумської обл.).

Значно вищий коефіцієнт варіації вмісту валових форм важких металів у зоні бойових дій, порівнюючи з вмістом поза зоною бойових дій (фонове значення), може свідчити про інтенсивність впливу негативного чинника на ґрунтовий покрив.

За результатами кореляційного аналізу встановлено надзвичайно сильну залеж-

ність між вмістом досліджуваних форм важких металів.

Для недопущення негативних наслідків щодо організму людини необхідно здійснювати ретельний моніторинг площ ґрунтів, пошкоджених та забруднених у результаті бойових дій, що дасть можливість своєчасно вживати заходів для їх відтворення та реабілітації, а також встановити межі забруднених ділянок із метою їх відновлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шепелюк М.О. Визначення вмісту важких металів у ґрунтах різних екологічних зон міста Луцька. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 107. С. 317–321.
2. Флоря Л.В. Оцінка рівня забруднення ґрунтів важкими металами та їх вплив на урожайність сільськогосподарських культур у Північно-Західному Причорномор'ї. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2013. Вип. 13. С. 131–141.
3. Корсунь С.Г., Клименко І.І., Болоховська В.А., Болоховський В.В. Транслокація важких металів у системі «ґрунт–рослина» за вапнування та впливу біологічних препаратів. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 1. С. 29–35. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163245>
4. Ткачук О.П., Шкатула Ю.М., Тітаренко О.М. Сільськогосподарська екологія: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2020. 542 с.
5. Пашенко Я.В. Буферні властивості ґрунтів Полісся різного генезису щодо важких металів. *Агрохімія і ґрунтознавство: міжвідомчий тематичний збірник*. 1988. Спецвип. С. 77–78.
6. Денісов Н., Аверін Д., Ющук А. та ін. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. Київ: ВАІТЕ, 2017. 88 с.
7. Vidosavljevic D. et al. Soil contamination as a possible long-term consequence of war in Croatia. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*. 2013. Vol. 63. № 4. P. 322–329. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2013.777093>
8. Berhe A. The contribution of landmines to land degradation. *Land Degradation and Development*. 2006. Vol. 18 (1). P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.754>.
9. Sadiq M., AlThagafi K.M., Mian A.A. Preliminary Evaluation of Metal Contamination of Soils from the Gulf War Activities. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 1992. Vol. 49. P. 633–639.
10. Tomic N.T. 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 1 – Pseudo-total Concentration. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2018. Vol. 229. № 301. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3957-0>
11. Tomic N.T. 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, and Soil Pollution*. 2018. Vol. 229. № 303. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3950-7>
12. Broomandi P., Dabir B., Bonakdarpour B., Rashidi Y. Identification of dust storm origin in South – West of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2017. Vol. 15. № 16. DOI: 10.1186/s40201-017-0280-4
13. Denton G.R.W. et al. Impact of WWII dumpsites on Saipan (CNMI): heavy metal status of soils and sediments. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. P. 11339–11348. DOI: 10.1007/s11356-016-6603-7
14. Bausinger T., Bonnaire E., Preuss J. Exposure assessment of a burning ground for chemical ammunition on the Great War battlefields of Verdun. *Sci Total Environ*. 2007. 382. P. 259–271. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.04.029
15. Кравченко О., Василюк О., Войціховська А., Норенко К. Дослідження впливу військових дій на довкілля на сході України. *Схід*. 2015. № 2. С. 118–123. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Skhid_2015_2_23
16. Лісова Н. Вплив військових дій в Україні на екологічний стан території. *Наукові записки*. 2017. № 2. С. 165–173.
17. ДСТУ ISO 11047:2005. Якість ґрунту. Визначення кадмію, хрому, кобальту, кунфруму, плумбуму, мангану, ніколу та цинку в екстракті, отриманому після оброблення ґрунту «царською водою». Методи полуменевої та електротермічної атомно-абсорбційної спектроскопії (ISO 11047:1998, IDT). [Чинний від 2008–01–01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2004. 20 с.
18. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин: постановова від 17.12.2021. Урядовий кур'єр. 2021. № 243.

19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
20. Волошинська С.С. Біоіндикація стану забруднення довкілля важкими металами (на прикладі автомагістралі «Київ–Варшава»). *Вісник Дніпропетровського ун-ту. Сер.: Біологія, Екологія*. 2008. Вип. 16. Т. 2. С. 24–28.
21. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. [Введен в действие 1985-01-01]. Москва: Издательство стандартов, 1984. 3 с.
22. Гупал В.В., Чорнявська І.Р. Вміст важких металів у ґрунтах захисних лісових насаджень приазіничної території. *Вісник Полтавської державної аграрної академії. Сільське господарство. Екологія*. 2018. № 4. С. 123–130.
23. Забруднення ґрунтів важкими металами та пестицидами. URL: <https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/ORZR4.pdf>

REFERENCES

1. Shepeliuk, M.O. (2019). Vyznachennia vmistu vazhkykh metaliv u gruntakh riznykh ekolohichnykh zon mista Lutsk [Determination of the content of heavy metals in the soils of different ecological zones of the city of Lutsk]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Taurian Scientific Bulletin*, 107, 317–321 [in Ukrainian].
2. Floria, L.V. (2013). Otsinka rivnia zabrudnennia hruntiv vazhkykh metalamy ta yikh vplyv na urozhainist silskohospodarskykh kultur u pivnichno-zakhidnomu Prychornomorі [Assessment of the level of soil contamination by heavy metals and their impact on the yield of agricultural crops in the northwestern Black Sea region]. *Visnyk Odeskoho derzhavnogo ekolohichnoho universytetu – Bulletin of Odessa State Ecological University*, 13, 131–141 [in Ukrainian].
3. Korsun, S.H., Klymenko, I.I., Bolokhovska, V.A. & Bolokhovskiy, V.V. (2019). Translokatsiia vazhkykh metaliv u systemi «grunt–roslyna» za vapnuvannia ta vplyvu biolohichnykh preparativ [Translocation of heavy metals in the "soil–plant" system due to liming and the influence of biological preparations]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological journal*, 1, 29–35. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163245> [in Ukrainian].
4. Tkachuk, O.P., Shkatula, Yu.M. & Titarenko, O.M. (2020). *Silskohospodarska ekolohiia: navchalnyi posibnyk [Agricultural ecology: textbook]*. Vinnytsia [in Ukrainian].
5. Pashchenko, Ya.V. (1988). Buferni vlastyivosti hruntiv Polissia riznoho henezysu shchodo vazhkykh metaliv [Buffer properties of Polissia soils of various genesis with regard to heavy metals]. *Ahrokhimiia i hruntoznavstvo: mizhvidomchyi tematychnyi zbirnyk – Agrochemistry and soil science: interdepartmental thematic collection, spetsyypusk*, 77–78 [in Ukrainian].
6. Denisov, N., Averin, D., Yushchuk, A. et al. (2017). *Otsinka ekolohichnoi shkody ta priorytety vidnovlennia dovkillia na shkodi Ukrainy [Environmental damage assessment and environmental restoration priorities in eastern Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
7. Vidosavljevic, D. et al. (2013). Soil contamination as a possible long-term consequence of war in Croatia. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*, 63, 4, 322–329. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2013.777093> [in English].
8. Berhe, A. (2006). The contribution of landmines to land degradation. *Land Degradation and Development*, 18 (1), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.754> [in English].
9. Sadiq, M., Althagafi, K.M. & Mian, A.A. (1992). Preliminary Evaluation of Metal Contamination of Soils from the Gulf War Activities. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 49, 633–639 [in English].
10. Tomic, N.T. 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 1 – Pseudo-total Concentration. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229, 301. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3957-0> [in English].
11. Tomic, N.T. 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, and Soil Pollution*, 229, 303. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3950-7> [in English].
12. Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B. & Rashidi, Y. (2017). Identification of dust storm origin in South – West of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 15, 16. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0280-4> [in English].
13. Denton, G.R.W. et al. (2016). Impact of WWII dumpsites on Saipan (CNMI): heavy metal status of soils and sediments. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 11339–11348. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6603-7> [in English].
14. Bausinger, T., Bonnaire, E. & Preuss, J. (2007). Exposure assessment of a burning ground for chemical ammunition on the Great War battlefields of Verdun. *Sci Total Environ*, 382, 259–271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.029> [in English].
15. Kravchenko, O., Vasyliuk, O., Voitsikhovska, A. & Norenko, K. (2014). Doslidzhennia vplyvu viiskovykh dii na dovkillia na shkodi Ukrainy [Investigation of the impact of hostilities on the environment in eastern Ukraine]. *Shkid – East*, 2, 118–123 [in Ukrainian].
16. Lisova, N. (2017). Vplyv viiskovykh dii v Ukraini na ekolohichniy stan terytorii [The influence of hostilities in Ukraine on the ecological status of the territory]. *Proceedings – Naukovi zapysky*, 2, 165–173 [in Ukrainian].
17. Yakist ґрунту. Vyznachennia kadmiiu, khromu, kobaltu, kuprumu, plumbumu, manhanu, nikeliu ta

- tsynku v ekstrakti, otrymanomu pislia obroblennia gruntu «tsarskoïu vodkoïu». Metody polumenevoi ta elektrotermichnoi atomno-absorbtsiinoi spektrometrii (ISO 11047:1998, IDT) [Soil quality. Determination of cadmium, chromium, cobalt, cuprum, plumbum, manganese, nickel and zinc in the extract obtained after the soil is treated with a «royal waters». Methods of semi-and-electrothermal atomic-absorption spectrometry (ISO 11047: 1998, IDT)]. (2007). *DSTU ISO 11047:2005 from 01st January 2008*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
18. Pro zatverdzhennia normatyviv hranychno dopustymykh kontsentratsii nebezpechnykh rehovyn u gruntakh, a takozh pereliku takykh rehovyn: postanova vid 17.12.2021 [On approval of the standards of maximum permissible concentrations of dangerous substances in soils, as well as the list of the following substances: resolution of 17.12.2021]. (2021). *Uriadovyi kurier – Government courier*, 243 [in Ukrainian].
 19. Dospekhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]*. Moskva [in Russian].
 20. Voloshchynska, S.S. (2008). Bioindykatsiia stanu zabrudnennia dovkillia vazhkymy metalamy (na prykladi avtomahistrali «Kyiv–Varshava» [Bioindication of the state of environmental pollution by heavy metals (on the example of the Kyiv–Warsaw highway)]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Seriya: Biologhiia, Ekologhiia – Bulletin of the Dnipropetrovsk University. Series: Biology, Ecology*, 6, 2, 24–28 [in Ukrainian].
 21. Okhrana pryrody. Pochvy. Klasyfikatsiia khymycheskykh veshchestv dlia kontroliia zahriaznennia [Nature protection. Soils Classification of chemical substances for pollution control]. (1984). *GOST 17.4.02-84 from 1st January 1985*. Moskva: Yzdatel'stvo standartov [in Russian].
 22. Hupal, V.V. & Chorniavska, I.R. (2018). Vmist vazhkykh metaliv u gruntakh zakhysnykh lisovykh nasadzhen pryزالiznychnoi terytorii [The content of heavy metals in the soils of protective forest plantations of the railway territory]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii. Silske hospodarstvo. Ekologhiia – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy. Agriculture. Ecology*, 4, 123–130 [in Ukrainian].
 23. Zabrudnennia gruntiv vazhkymy metalamy ta pestytsydamy [Soil pollution with heavy metals and pesticides]. (nd.). URL: <https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/ORZR4.pdf> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 20.08.2022