

ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ РУХОМИМИ ФОРМАМИ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ УНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ НА ТЕРИТОРІЇ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛ.

О.М. Грищенко¹, Р.П. Паламарчук¹, Д.С. Шляхтуров¹,
В.С. Запасний¹, Г.Д. Крупко²

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

e-mail: grischenkoel@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1241-7183

e-mail: prp777@ukr.net; ORCID: 0000-0002-5965-1305

e-mail: dshlyahurov@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8896-3236

e-mail: pasportyzaciya@iogu.gov.ua; ORCID: 0000-0001-8547-8852

² Рівненський регіональний центр ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»
(м. Рівне, Україна)

e-mail: krupko_gd@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1506-1258

У статті висвітлено особливості забруднення земель рухомими сполуками важких металів внаслідок бойових дій. Об'єктом досліджень слугували 19 збірних проб ґрунту, відібраних у п'яти локаціях на території Первомайської ТГ Миколаївського та Снігурівської ТГ Баштанського р-ну Миколаївської обл. Три локації включали землі сільськогосподарського призначення, які перебували під постійними обстрілами під час воєнних дій, дві — землі несільськогосподарського призначення — вирва на місці зруйнованого від вибуху складу мінеральних добрив та лінія оборонних споруд. У результаті проведеного обстеження земель сільськогосподарського призначення встановлено надвисоке (перевищення у 6,5–11,2 рази) збільшення вмісту рухомих сполук марганцю, істотне перевищення кадмію, міді, кобальту, свинцю, цинку. Рівень забруднення усіх локацій обстежених земель сільськогосподарського призначення рухомим сполуками марганцю — слабкий, кадмію — помірний. Зафіксовано значну варіабельність за рівнем забруднення свинцем і кобальтом (від відсутності до дуже високого рівня забруднення). Відсутнє забруднення рухомими сполуками цинку, нікелю, хрому, міді (в одній пробі зафіксовано слабке забруднення). Перевага ГДК за вмістом рухомих сполук мікроелементів не виявлено. Відмічено, що за цільовим призначенням досліджені території можна застосовувати лише після рекультивацийних заходів. Обов'язковим заходом є запровадження постійного моніторингу еколого-токсикологічного стану ґрунту та вирощеної продукції. Обстежені території несільськогосподарського призначення за вмістом рухомих сполук важких металів відзначаються середнім рівнем забруднення кадмієм, слабким і помірним — міддю, слабким, помірним і середнім — нікелем, високим і дуже високим — кобальтом. Відсутнє забруднення рухомими сполуками хрому, марганцю і цинку. Вміст рухомих сполук свинцю перевищує ГДК у 1,2–2,9 рази. На цих землях варто провести рекультивацийні заходи, які допоможуть запобігти міграції важких металів.

Ключові слова: агрохімічне обстеження, військові дії, гранично допустима концентрація, залізо, кадмій, кобальт, марганець, мідь, нікель, хром, рівень забруднення, свинець, цинк.

ВСТУП

Ґрунтовий покрив України нині належить до екосистем, які найбільше постраждали від війни. В екологічному вимірі ключовим чинником загрози національній безпеці постає саме руйнівний вплив воєн-

них дій на ґрунти. Вже ідентифіковано кілька різновидів їх деградації: механічна (формування вирв, проникнення боєприпасів і уламків, руйнування гумусового горизонту внаслідок спорудження укріплень, копання траншей та бліндажів), фізична (ущільнення орного шару під час руху важкої військової техніки), погіршення агрохі-

мічних характеристик та водного режиму, а також забруднення паливно-мастильними матеріалами й токсичними елементами. Особливо загрозливим є накопичення важких металів у сільськогосподарських ґрунтах, адже навіть незначні їх концентрації чинять вкрай небезпечний токсичний вплив [1–3].

Мета і завдання дослідження — визначити вплив бойових дій на агрохімічний та еколого-токсикологічний стан земель сільськогосподарського і несільськогосподарського призначення на території Миколаївської обл.; встановити можливість подальшого використання земель сільськогосподарського призначення для вирощування польових культур.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Світова практика свідчить, що воєнні дії істотно змінюють властивості ґрунтів, переважно через фізико-хімічні порушення та накопичення токсичних елементів. Як показують дослідження D. Vidosavljevic et al. [4] та A. Berhe [5], війна в Хорватії спричинила істотне зростання концентрацій важких металів у ґрунтовому покриві: в районах інтенсивних боїв вміст міді, ртуті та свинцю перевищував національні нормативи, а рівень ртуті був вищим за допустимий для ведення сільського господарства.

У зразках із зон активних бойових дій концентрації окремих елементів переважали показники з територій низької інтенсивності бойових дій у десятки разів (нікель — у 1,03–52,2 раза). Забруднення фіксувалося навіть на відстанях понад 6 км від місця боїв.

Подібні тенденції відзначалися й після війни в Перській затоці, де підвищені рівні кадмію, кобальту, хрому, свинцю, нікелю, титану, ванадію та вольфраму вказували на серйозну трансформацію ґрунтового середовища [6]. Аналогічні перевищення ГДК важких металів реєструвалися у ґрунтах Ірану, Боснії і Герцеговини, Кувейту та інших регіонів, охоплених свого часу воєнними конфліктами [7–9].

Важкі метали, за потрапляння у ґрунтове середовище, зберігаються протягом тривалого часу, не зазнаючи руйнування чи розкладання. Показовим є дослідження французьких учених, проведено в 2011 р., яке засвідчило: навіть через 90 років після завершення Першої світової війни на територіях колишніх бойових дій концентрації важких металів у ґрунті залишалися вищими за допустимі норми [10].

В Україні вже в 2014 р. було встановлено відчутний негативний вплив воєнних дій на екологічну безпеку та родючість ґрунтів. У межах досліджень, виконаних за підтримки Організації з безпеки і співробітництва в Європі (ОБСЄ) в зоні конфлікту на сході країни, визначено, що концентрації важких металів у ґрунтових пробах із територій бойових дій у більшості випадків перевищували фонові показники у 1,2–12,0 разів. Для ртуті, кадмію та ванадію зафіксовано систематичне збільшення фонових значень у 1,1–1,3 раза [11; 12]. Особливо небезпечними за рівнем забруднення важкими металами виявлено місця розриву снарядів. Зростання вмісту забруднювачів у ґрунтовому покриві у місцях бойових дій також зафіксовано фахівцями ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» [13; 14].

Варто підкреслити, що найбільшу загрозу становить забруднення ґрунтів токсичними й канцерогенними сполуками, оскільки вони можуть проникати у підземні та поверхневі води або акумулюватися в сільськогосподарській продукції. Важкі метали мають здатність сорбуватися й поступово накопичуватися у ґрунтовому середовищі, що зумовлює посилення його токсичного потенціалу та сприяє нагромадженню небезпечних речовин у врожаї сільськогосподарських культур.

До найнебезпечніших забруднювачів ґрунтового покриву належать високотоксичні важкі метали — свинець, ртуть, арсен, кадмій, мідь, нікель та цинк [15; 16]. Їх надходження у довкілля під час воєнних дій зумовлено передусім залишками вогнепальної зброї, що містить значні кількості металовмісних часток, а також застосу-

ванням артилерії, гранат і ракет. Металеві фрагменти боєприпасів (уламки) є стійким джерелом антропогенного забруднення довкілля, оскільки вони мають значний потенціал довготривалого збереження у ґрунтах територій, що постраждали від бойових дій.

Важкі метали можуть акумулюватися в сільськогосподарських культурах і, надходячи з їжею до організму, поступово концентруватися в тканинах живих істот, провокуючи розвиток різноманітних патологічних станів [13; 17].

Висока мобільність важких металів зумовлює їхнє активне просування трофічними ланцюгами, що створює серйозну загрозу для здоров'я населення через токсичні, канцерогенні та мутагенні властивості цих елементів. У зв'язку з цим, надзвичайної актуальності набуває регулярний моніторинг екологічного стану ґрунтів у районах, охоплених бойовими діями, з метою контролю рівня їх забруднення [11].

Для запобігання негативним екологічним наслідкам, пов'язаним із підвищеним вмістом важких металів у ґрунтового покриві, особливо в районах інтенсивних бойових дій, необхідне систематичне й ретельне спостереження за станом ґрунтів. Таке обстеження дає змогу своєчасно виявляти вплив воєнних дій на сільськогосподарські угіддя, оперативно ухвалювати заходи щодо усунення забруднення, оцінювати масштаби завданої шкоди та запобігати потраплянню забрудненої продукції до торгової мережі (або споживчого обігу), що, своєю чергою, сприяє збереженню конкурентоспроможності України на міжнародній аграрній арені.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень слугували 19 збірних проб ґрунту, відібраних у п'яти локаціях на території Первомайської ТГ Миколаївського та Снігурівської ТГ Баштанського р-ну Миколаївської обл. Ґрунт території дослідження представлений чорноземами південними легкоглинистими (шифр агровиробничої групи 71 л).

Проби № 1–3 взято на розмінованій території, яка розташована за межами с. Киселівка Первомайської ТГ Миколаївського р-ну Миколаївської обл. Територія обстеження попередньо перебувала під постійним обстрілом.

Проби ґрунту № 4–7 та № 12 відібрано на розмінованій території, яка розташована за межами с. Киселівка Первомайської ТГ Миколаївського р-ну Миколаївської обл. Територія обстеження також попередньо перебувала під постійним обстрілом та містить уламки конструкцій, які віднесені вибухом складу селітри.

Проби ґрунту № 8–11 — на місці вирви, яка утворилася внаслідок вибуху складу мінеральних добрив за межами с. Киселівка Первомайської ТГ Миколаївського р-ну Миколаївської обл. (землі несільськогосподарського призначення). Порівнювали з показниками проби № 12, відібраної за 300 м від вирви у місці влучання у склад.

Проби ґрунту № 13–16 — на умовно розмінованій території, яка розташована за межами м. Снігурівка Снігурівської ТГ Баштанського р-ну Миколаївської обл. Територія обстеження попередньо перебувала під постійним обстрілом з мінометів, артилерії, РСЗВ та авіації.

Проби ґрунту № 17–19 — на умовно розмінованій території, яка розташована в межах м. Снігурівка Снігурівської ТГ Баштанського р-ну Миколаївської обл. (землі несільськогосподарського призначення). Територія обстеження включає лінію оборонних споруд та вигорілу ділянку навколо знищеного танка.

Глибина відбору проб ґрунту становить 0–15 см, саме на цю глибину проводиться умовне розмінування територій обстеження.

Визначення вмісту рухомих сполук важких металів у ґрунтах здійснювали відповідно до чинних нормативно-методичних документів, зокрема, ДСТУ 4770.1:2007, вміст рухомих сполук цинку — ДСТУ 4770.2:2007, вміст рухомих сполук кадмію — ДСТУ 4770.3:2007, вміст рухомих сполук кобальту — ДСТУ 4770.5:2007, вміст рухомих сполук міді — ДСТУ 4770.6:2007,

вміст рухомих сполук нікелю — ДСТУ 4770.7:2007, вміст рухомих сполук хрому — ДСТУ 4770.8:2007, вміст рухомих сполук свинцю — ДСТУ 4770.9:2007, вміст рухомих сполук заліза — ДСТУ 4770.4:2007 [18–26].

Методики базуються на принципах атомно-абсорбційної спектrophотометрії, що забезпечує високу чутливість та точність визначення концентрацій елементів. Рухомі форми важких металів вилучали зі зразків ґрунту за допомогою буферної амонійно-ацетатної витяжки з рН 4,8, що імітує умови, за яких метали перебувають у доступній для рослин формі.

Групування ґрунтів за агрохімічними та токсикологічними показниками виконували відповідно до Методики проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення [27]. Отримані показники порівнювали з контрольними даними останнього агрохімічного обстеження земель, проведеного у довоєнний час — землекористування с. Киселівка в 2014 р., м. Снігурівка — у 2009 р. Для встановлення придатності досліджуваних земельних ділянок для вирощування сільськогосподарської продукції та для проведення оцінки їх екологічного стану, вміст рухомих сполук важких металів порівнювали з ГДК забруднювачів у ґрунті [28].

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

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За результатами досліджень виявлено, що ґрунт локації, яка перебувала під постійними обстрілами (проби №№ 1–3) має слабкий рівень забруднення рухомими сполуками марганцю (60,3–64,6 мг/кг), помірний ступінь забруднення рухомими сполуками кадмію (0,29–0,47 мг/кг), середній і дуже високий ступінь забруднення рухомими сполуками кобальту (1,51–3,26 мг/кг), слабкий, середній та дуже високий ступінь забруднення рухомими сполуками свинцю (1,32–5,08 мг/кг), незабруднений за вмістом рухомих сполук міді

(0,25–0,87 мг/кг), цинку (0,38–0,71 мг/кг), нікелю (0,76–1,93 мг/кг), хрому (0,46–1,10 мг/кг) [27]. Вміст рухомих сполук заліза становить 1,02–3,00 мг/кг. Перевищень ГДК [28] за вмістом рухомих сполук мікроелементів не встановлено (*рис.*).

Найвищий вміст рухомих сполук елементів серед проб, відібраних на цій локації, зафіксовано в ґрунті вздовж дороги. Слід зауважити, що концентрація мікроелементів та важких металів у ґрунтах вздовж доріг зазвичай може бути вищою внаслідок впливу викидів автотранспорту, а також вздовж доріг найчастіше проходять активні бойові дії, які мають негативний вплив на ґрунтовий покрив.

Порівняно з контролем (значення показника за результатами агрохімічного обстеження 2014 р.) вміст рухомих сполук свинцю збільшився в двох пробах ґрунту від 0,19 до 2,98 мг/кг ґрунту (*табл. 1*).

Встановлено збільшення вмісту рухомих сполук міді (на 0,46 мг/кг ґрунту) в одній пробі ґрунту, відібраній вздовж дороги, у інших пробах вміст показника зменшився від 0,09 до 0,16 мг/кг ґрунту (*табл. 2*).

Зростання вмісту рухомих сполук марганцю від 53,7 до 56,8 мг/кг ґрунту (*табл. 3*), кобальту (від 0,34 до 2,09 мг/кг ґрунту), кадмію (від 0,03 до 0,21 мг/кг ґрунту) відмічено в усіх пробах ґрунту.

Ґрунт розмішованої території, яка перебувала під постійним обстрілом та містить уламки конструкцій, які віднесені вибухом складу селітри (проби №№ 4–7 та № 12), характеризується у 4 пробах слабким рівнем забруднення рухомими сполуками марганцю (52,35–73,29 мг/кг) та свинцю (0,8–1,27 мг/кг), слабким (0,69–0,81 мг/кг) та підвищеним (2,07–2,4 мг/кг) забрудненням рухомими сполуками кобальту, в усіх пробах — помірним ступенем забруднення рухомими сполуками кадмію (0,22–0,27 мг/кг). Відсутнє забруднення за вмістом рухомих сполук міді (0,13–0,47 мг/кг), цинку (0,28–0,50 мг/кг), нікелю (0,77–1,12 мг/кг) та хрому (0,19–0,42 мг/кг). Вміст рухомих сполук заліза становить 0,33–2,13 мг/кг. Перевищень ГДК за вмістом рухомих сполук мікроелементів не виявлено.



Уміст рухомих сполук важких металів на територіях проведення бойових дій, мг/кг ґрунту

Порівняно з контролем (результати агрохімічного обстеження 2014 р.) збільшення вмісту рухомої міді зафіксовано у пробі ґрунту, локаційно відібраної найближче до дороги (0,47 мг/кг), в усіх ін-

ших пробах відмічено зменшення вмісту рухомих сполук міді на 0,01–0,28 мг/кг ґрунту. Уміст рухомих сполук кобальту підвищився в 2 пробах ґрунту (від 0,19 до 2,98 мг/кг ґрунту), а рухомих сполук мар-

Таблиця 1. Уміст рухомих сполук важких металів I класу небезпеки у ґрунтах територій, пошкоджених внаслідок бойових дій

№ проби	Вміст рухомих сполук цинку, мг/кг	% до контролю	% до ГДК	Вміст рухомих сполук кадмію, мг/кг	% до контролю	% до ГДК	Вміст рухомих сполук свинцю, мг/кг	% до контролю	% до ГДК
<i>Землі сільськогосподарського призначення</i>									
1	0,42		1,8	0,30	116,3	42,9	2,29	109,0	38,2
2	0,38		1,7	0,29	112,4	41,4	1,32	62,9	22,0
3	0,71		3,1	0,47	182,2	67,1	5,08	241,9	84,7
4	0,35		1,5	0,22	85,3	31,4	1,06	50,5	17,7
5	0,28		1,2	0,23	89,1	32,9	0,65	31,0	10,8
6	0,50		2,2	0,26	100,8	37,1	0,93	44,3	15,5
7	0,46		2,0	0,22	85,3	31,4	0,78	37,1	13,0
12	0,39		1,7	0,27	104,7	38,6	1,27	60,5	21,2
Контрольне значення показника (2014 р.)	н/в			0,258		36,9	2,1		35,0
13	0,93	211,4	4,0	0,32	533,3	45,7	2,02	99,0	33,7
14	0,49	111,4	2,1	0,24	400,0	34,3	0,64	31,4	10,7
15	0,52	118,2	2,3	0,21	350,0	30,0	0,32	15,7	5,3
16	0,52	118,2	2,3	0,23	383,3	32,9	1,18	57,8	19,7
Контрольне значення показника (2009 р.)	0,44			0,06			2,04		
<i>Землі несільськогосподарського призначення</i>									
8	0,91	233,3	4,0	0,61	225,9	87,1	11,90	937,0	198,3
9	0,99	253,8	4,3	0,57	211,1	81,4	7,22	568,5	120,3
10	0,91	233,3	4,0	0,56	207,4	80,0	7,41	583,5	123,5
11	0,93	238,5	4,0	0,57	211,1	81,4	7,67	603,9	127,8
17	3,89	—	16,9	0,57	—	81,4	11,01	—	183,5
18	2,56	—	11,1	0,66	—	94,3	17,45	—	290,8
19	1,91	—	8,3	0,51	—	72,9	11,43	—	190,5
ГДК	23			0,7			6,0		
Середнє значення	0,50			0,27			1,46		
Стандартна помилка	0,04			0,02			0,32		
Середньоквадратичне відхилення	0,17			0,07			1,27		
Коефіцієнт варіації	35,2			26,4			87,0		
Min	0,28			0,21			0,32		
Max	0,93			0,47			5,08		
НІР _{0,5}	0,11			0,05			0,81		

Таблиця 2. Уміст рухомих сполук важких металів II класу небезпеки у ґрунтах територій, пошкоджених внаслідок бойових дій

№ проби	Вміст рухомих сполук міді, мг/кг	% до контролю	% до ГДК	Вміст рухомих сполук кобальту, мг/кг	% до контролю	% до ГДК	Вміст рухомих сполук хрому, мг/кг	% до ГДК	Вміст рухомих сполук нікелю, мг/кг	% до ГДК
<i>Землі сільськогосподарського призначення</i>										
1	0,32	78,0	10,7	1,51	129,1	30,2	0,51	8,5	1,48	37,0
2	0,25	61,0	8,3	1,90	162,4	38	0,46	7,7	0,76	19,0
3	0,87	212,2	29,0	3,26	278,6	65,2	1,1	18,3	1,93	48,3
4	0,13	31,7	4,3	2,07	176,9	41,4	0,19	3,2	1,12	28,0
5	0,32	78,0	10,7	2,40	205,1	48	0,19	3,2	0,93	23,3
6	0,40	97,6	13,3	0,69	59,0	13,8	0,42	7,0	0,99	24,8
7	0,32	78,0	10,7	0,38	32,5	7,6	0,27	4,5	0,93	23,3
12	0,47	114,6	15,7	0,81	69,2	16,2	0,36	6,0	0,77	19,3
Контрольне значення (2014 р.)	0,41		13,7	1,17		23,4	н/в		н/в	
13	0,80	258,1	26,7	1,20	631,6	24	0,40	6,7	1,12	28,0
14	0,84	271,0	28,0	1,13	594,7	22,6	0,20	3,3	1,03	25,8
15	1,13	364,5	37,7	1,01	531,6	20,2	0,14	2,3	0,96	24,0
16	0,41	132,3	13,7	0,85	447,4	17	0,12	2,0	1,21	30,3
Контрольне значення (2009 р.)	0,31		10,3	0,19		3,8	н/в		н/в	
<i>Землі несільськогосподарського призначення</i>										
8	1,28	272,3	42,7	2,6	321,0	52,0	1,56	26,0	3,58	89,5
9	1,45	308,5	48,3	2,71	334,6	54,2	1,27	21,2	3,99	99,75
10	1,18	251,1	39,3	2,72	335,8	54,4	1,22	20,3	3,18	79,5
11	1,20	255,3	40,0	2,59	319,8	51,8	1,34	22,3	3,04	76,0
17	0,88		29,3	3,00		60,0	1,23	20,5	3,04	76,0
18	2,42		80,7	2,67		53,4	1,23	20,5	3,62	90,5
19	0,85		28,3	2,63		52,6	1,28	21,3	2,75	68,75
ГДК	3,0			5,0			6,0		4,0	
Середнє значення	0,52			1,43			0,36		1,10	
Стандартна помилка	0,08			0,21			0,07		0,08	
Середньоквадратичне відхилення	0,31			0,83			0,27		0,33	
Коефіцієнт варіації	59,21			58,02			73,42		29,52	
Min	0,13			0,38			0,12		0,76	
Max	1,13			3,26			1,10		1,93	
НІР _{0,5}	0,20			0,53			0,17		0,21	

Таблиця 3. Уміст рухомих сполук важких металів III класу небезпеки у ґрунтах територій, пошкоджених внаслідок бойових дій

№ проби	Вміст рухомих сполук марганцю, мг/кг	% до контролю	% до ГДК	Вміст рухомих сполук заліза, мг/кг
<i>Землі сільськогосподарського призначення</i>				
1	63,4	960,6	45,3	2,43
2	60,3	913,6	43,1	1,02
3	64,6	978,8	46,1	3,00
4	55,93	847,4	40,0	0,33
5	72,34	1096,1	51,7	1,02
6	73,29	1110,5	52,4	0,81
7	52,35	793,2	37,4	1,25
12	42,69	646,8	30,5	2,13
Контрольне значення показника (2014 р.)	6,6		4,7	
13	67,55	1107,4	48,3	2,52
14	71,70	1175,4	51,2	1,69
15	53,58	878,4	38,3	1,56
16	72,02	1180,7	51,4	2,34
Контрольне значення показника (2009 р.)	6,1		4,4	н/в
<i>Землі несільськогосподарського призначення</i>				
8	30,61	71,7	21,9	5,10
9	36,85	86,3	26,3	7,12
10	31,07	72,8	22,2	6,94
11	37,77	88,5	27,0	6,98
17	44,83	—	32,0	5,20
18	21,96	—	15,7	5,46
19	44,83	—	32,0	5,25
ГДК	140,0		—	—
Середнє значення	62,48		44,64	
Стандартна помилка	2,43		1,74	
Середньоквадратичне відхилення	9,73		6,95	
Коефіцієнт варіації	15,58		15,57	
Min	42,69		30,50	
Max	73,29		52,40	
НІР _{0,5}	6,18		4,41	

ганцю (від 36,09 до 66,69 мг/кг) — у всіх пробах ґрунту. Уміст кадмію лишився на рівні контролю. Також з'ясовано зменшення концентрації свинцю в усіх відібраних пробах ґрунту.

Слід зауважити, що істотне збільшення забруднення ґрунтів, порівняно з контролем, зафіксовано за вмістом рухомих сполук марганцю (всі досліджувані проби ґрунту). Уміст більшості досліджуваних рухомих сполук мікроелементів залишився на рівні вмісту показника встановленого за результатами довоєнного обстеження (рухомі сполуки міді, цинку, кадмію). Натомість вміст рухомих сполук свинцю на досліджуваній ділянці, порівняно з контролем, знизився.

За результатами досліджень умовно розмінованої території, яка перебувала під постійним обстрілом із мінометів, артилерії, РСЗВ та авіації (проби № 13–16) в одній пробі ґрунту визначено слабкий рівень забруднення рухомими сполуками міді (1,13 мг/кг), у всіх пробах ґрунту — слабкий рівень забруднення за вмістом рухомих сполук марганцю (53,58–72,02 мг/кг), слабкий (0,85 мг/кг) та помірний (1,01–1,20 мг/кг) рівень забруднення — за вмістом рухомих сполук кобальту, помірний рівень забруднення — за вмістом рухомих сполук кадмію (0,21–0,32 мг/кг), а також у двох пробах ґрунту — слабкий (1,18 мг/кг) і помірний (2,02 мг/кг) ступінь забруднення за вмістом рухомих сполук свинцю. Вміст рухомих сполук заліза становить 1,56–2,52 мг/кг.

Відсутнє забруднення за вмістом рухомих сполук цинку та хрому. Перевищень ГДК за вмістом рухомих сполук мікроелементів не встановлено.

Порівняно з контрольними показниками результатів агрохімічного обстеження 2009 р. виявлено значне збільшення вмісту рухомих сполук цинку на 11,4–111,4%, кадмію — на 250,0–433,3%, міді — на 32,2–264,5%, кобальту — на 347,4–531,6% та надвисоке посилення рухомих сполук марганцю — на 778,4–1080,7%. Водночас зафіксовано зменшення концентрації свинцю у всіх відібраних пробах ґрунту.

Зважаючи на еколого-токсикологічні характеристики, досліджувані ділянки за цільовим призначенням — сільськогосподарським використанням — можна застосовувати лише після рекультиваційних заходів. Також обов'язковим заходом для досліджуваних ділянок є запровадження постійного моніторингу еколого-токсикологічного стану ґрунту та вирощеної продукції.

За результатами досліджень на місці вирви, яка утворилася внаслідок вибуху складу мінеральних добрив, перевищень ГДК за вмістом рухомих сполук міді у пробах ґрунту не зафіксовано, проте вони характеризувались слабким рівнем забруднення за вмістом елемента (1,18–1,45 мг/кг). Усі проби ґрунту були дуже з низьким вмістом рухомих сполук цинку, як і контрольна проба, відібрана на відстані 300 м від вирви.

Уміст рухомих сполук марганцю у відібраних пробах ґрунту варіює від 30,61 до 37,77 мг/кг ґрунту (дуже високий вміст). Перевищення ГДК та забруднення проб ґрунту не встановлено. Значне збільшення вмісту марганцю, порівняно з довоєнним періодом, може свідчити про вплив на ґрунтовий покрив бойових дій та мінеральних добрив, які зберігались на складі під час його експлуатації та після руйнування.

Усі проби ґрунту, відібрані з різних горизонтів вирви, мають високий ступінь забруднення рухомими сполуками кобальту, але збільшення ГДК не виявлено. Значення показника мають незначне варіювання — від 2,59 до 2,72 мг/кг ґрунту. Уміст рухомих сполук нікелю в пробах ґрунту відібраних з різних горизонтів вирви перебуває у межах від 3,04–3,99 мг/кг ґрунту. Перевищень ГДК за вмістом елемента не відмічено, проте встановлено, що проби ґрунту № 8 та 9 мають помірний рівень забруднення елементом, № 10 та 11 — слабкий. Усі відібрані проби ґрунту мають середній рівень забруднення рухомими сполуками кадмію. Загалом середньозважений показник вмісту елемента варіює від 0,56 до 0,61 мг/кг ґрунту та знаходиться на рівні ГДК. Уміст рухомих сполук хрому в пробах, відібраних

з різних горизонтів вирви, варіює від 1,22 до 1,56 мг/кг ґрунту. За вмістом елемента перевищення ГДК та забруднення ґрунту не відмічено. Вміст рухомих сполук заліза становить 5,10–7,12 мг/кг.

Уміст рухомих сполук свинцю у всіх відібраних пробах перевищує ГДК та варіює від 7,22 до 11,90 мг/кг ґрунту. Проба ґрунту, відібрана для порівняння на відстані 300 м від вирви, характеризується слабким рівнем забруднення рухомими сполуками свинцю. Концентрація забруднювача у зазначеній пробі від 5,7 до 9,4 разів менша порівняно з пробами ґрунту, відібраними на території зруйнованого складу. Це може свідчити про тривалий вплив на ґрунтовий покрив мінеральних добрив та інших хімікатів, які зберігались на складі під час його експлуатації та після руйнування.

На умовно розмінованій території, що охоплює, включає вигорілу ділянку навколо знищеного танка, за вмістом рухомих сполук кобальту виявлено високий та дуже високий рівень забруднення (2,63–3,0 мг/кг), за вмістом нікелю — середній та помірний рівень забруднення (2,75–3,62 мг/кг), за вмістом кадмію — середній рівень забруднення (0,51–0,66 мг/кг). Одна проба ґрунту відзначається помірним рівнем забруднення за вмістом рухомих сполук міді (2,42 мг/кг). У всіх пробах ґрунту встановлено перевищення ГДК за вмістом рухомих сполук свинцю (11,01–17,45 мг/кг). За вмістом рухомих сполук цинку (1,91–3,89 мг/кг), марганцю (21,96–44,83 мг/кг), хрому (1,23–1,28 мг/кг) забруднення відсутнє. Вміст рухомих сполук заліза становить 5,20–5,46 мг/кг.

На ділянках несільськогосподарського призначення, забруднених важкими металами, доцільно провести рекультиваційні заходи, спрямовані на стабілізацію забруднювачів у ґрунті та запобігання їх

подальшій міграції в суміжні екосистеми. Такі заходи допоможуть зменшити ризик вторинного забруднення поверхневих і підземних вод, а також мінімізувати негативний вплив на навколишнє природне середовище.

ВИСНОВКИ

У результаті агрохімічного та екологіко-токсикологічного обстеження земель сільськогосподарського призначення Первомайської та Снігурівської ТГ Миколаївської обл. встановлено істотні зміни у вмісті рухомих сполук важких металів порівняно з довоєнним періодом.

У ґрунтах досліджених ділянок зафіксовано надвисоке (у 6,5–11,2 раза) підвищення концентрації рухомих сполук марганцю, а також збільшення вмісту кадмію, кобальту, міді, свинцю та цинку. Рівень забруднення ґрунтів оцінюється як слабкий за вмістом марганцю, помірний — кадмію, зі значною варіабельністю для свинцю та кобальту. Перевищень ГДК для мікроелементів не виявлено.

Ґрунти несільськогосподарського призначення характеризуються середнім рівнем забруднення кадмієм, слабким — міддю, середнім — нікелем та високим—дуже високим — кобальтом. У всіх пробах цієї категорії земель зафіксовано зростання ГДК за вмістом рухомих сполук свинцю у 1,2–2,9 разів.

Отримані результати свідчать про локальний характер техногенного забруднення, зумовлений воєнними діями. Для мінімізації ризиків вторинного забруднення та забезпечення екологічної безпеки агроландшафтів необхідне здійснення рекультиваційних заходів і запровадження постійного моніторингу еколого-токсикологічного стану ґрунтів та рослинницької продукції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. (2024). Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*, 13(10), 1614. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13101614>.
2. Сплодитель, А., Голубцов, О., Чумаченко, С., & Сорокіна, Л. (2023). *Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу*. Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія».

3. Балюк, С. А., Кучер, А. В., Солоха, М. О., Соловей, В. Б., Смірнова, К. Б., Момот, Г. Ф., & Левін, А. Я. (2022). 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.
4. Vidosavljević, D., Puntarić, D., Gvozdić, V., Jergović, M., Miškulin, M., Puntarić, I., ... Šijanović, S. (2013). Soil contamination as a possible long-term consequence of war in Croatia. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 63(4), 322–329. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2013.7>.
5. Berhe, A. (2007). The contribution of landmines to land degradation. *Land Degradation & Development*, 18(1), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.754>.
6. 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00200774>.
7. Tomic, N. T., Smiljanić, S., Jović, M., Gligorić, M., Povrenović, D. & Došić, A. (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 Pollut.*, 229, 301. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3957-0>.
8. Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B., & Rashidi, Y. (2017). Identification of dust storm origin in South — West of Iran. *J. Environ. Health Sci. Engineer.*, 15, 16. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0280-4>.
9. Denton, G. R. W., Emborski, C. A., Hachero, A. A. B., Masga, R. S., & Starmer, J. A. (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>.
10. 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>.
11. Денісов, Н., Аверін Д., Юшук, А., Єрмаков, В., Улицький, О., Бистров, П., ... Набиванець, Ю. (2017). Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. Київ: ВАІТЕ. URL: https://www.osce.org/files/t/documents/6/3/362581_0.pdf.
12. Кравченко, О., Василюк, О., Войціховська, А., & Норенко, К. (2015). Дослідження впливу військових дій на довкілля на сході України. *Схід*, 2, 118–123. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Skhid_2015_2_23.
13. Лісова, Н. (2017). Вплив військових дій в Україні на екологічний стан території. *Наукові записки*, 2, 165–173. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg_2017_2_27.
14. Зайцев, Ю. О., Грищенко, О. М., Романова, С. А., & Зайцева, І. О. (2022). Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл. *Агроекологічний журнал*, 3, 136–149. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419>.
15. Kumar, D., Malik, S., Rani, R., Kumar, R., & Dhan, J. S. (2023) Behavior, risk, and bioremediation potential of heavy metals/metalloids in the soil system. *Rend. Lincei Sci. Fis. Nat.*, 34, 809–831. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12210-023-01166-0>.
16. Shukla, S., Mbingwa, G., Khanna, S., Dalal, J., Sankhyani, D., Malik, A., & Badhwar, N. (2023). Environment and health hazards due to military metal pollution: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100857>.
17. Harada, K. H., Solomon, S. R., Ang, J. S. M., & Trzcinski, A. P. (2022). Conflict-related environmental damages on health: lessons learned from the past wars and ongoing Russian invasion of Ukraine. *Environmental health and preventive medicine*, 27, 35. DOI: <https://doi.org/10.1265/ehpm.22-00122>.
18. ДСТУ 4770.1:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії. (2009). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: «Держспоживстандарт».
19. ДСТУ 4770.2:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії. (2009). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: «Держспоживстандарт».
20. ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії. (2009). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: «Держспоживстандарт».
21. ДСТУ 4770.5:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кобальту в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії. (2009). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: «Держспоживстандарт».
22. ДСТУ 4770.6:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії. (2008). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: «Держспоживстандарт».
23. ДСТУ 4770.7:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук нікелю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії. (2009). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: «Держспоживстандарт».
24. ДСТУ 4770.8:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук хрому в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії. (2009). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: «Держспоживстандарт».

25. ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. (2009). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: «Держспожив-стандарт».
26. ДСТУ 4770.4:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук заліза в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. (2009). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: «Держспожив-стандарт».
27. Яцук, І. П., & Балюк, С. А. (Ред.). (2013). *Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення (керівний нормативний документ)*. Київ.
28. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин. Постанова Кабінету Міністрів України № 1325 (2021). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-%D0%BF#Text>.

Стаття надійшла до редакції журналу 18.09.2025
