

ВПЛИВ БОЙОВИХ ДІЙ НА ПРОСТОРОВУ НЕОДНОРІДНІСТЬ ЗАБРУДНЕННЯ РУХОМИМИ ФОРМАМИ СВИНЦЮ ГРУНТІВ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

О.М. Грищенко¹, Р.П. Паламарчук¹, М.М. Пташнік¹,
С.І. Жученко², В.О. Сироватко²

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: mihaptashnik@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8002-7139

² Південно-східний міжрегіональний центр ДУ «Держґрунтоохорона»

(с. Дослідне, Дніпропетровська обл., Україна)

e-mail: dnipropetrovsk@iogu.gov.ua; ORCID: 0009-0006-2632-9666

e-mail: rodgrunt_dp@ukr.net; ORCID: 0009-0002-2576-3269

У статті висвітлено особливості просторового розподілу вмісту рухомих форм свинцю в ґрунтах земель, ушкоджених унаслідок воєнних дій на території Херсонської обл. Об'єктом досліджень слугували 347 змішаних проб ґрунту, відібраних із 24 земельних ділянок загальною площею 1496,7111 га в межах Бериславського та Херсонського р-нів. До обстеження залучено територію, що зазнали мінування, артилерійських, мінометних, ракетних та авіаційних ударів, а також землі зі слідами пожеж, вирвами, залишками боєприпасів, нафтопродуктів і знищеної техніки. Встановлено, що середньозважений вміст рухомих форм свинцю сягав 1,47 мг/кг ґрунту, змінюючись у межах 0,49–5,07 мг/кг. Найвищі середні значення виявлено в межах с. Старосілля Великоолександрівської громади, с. Благодатне Високопільської громади та у межах с. Таврійське Тягинської громади — відповідно 5,07, 2,81 і 2,24 мг/кг. Найнижчі значення зафіксовано в межах с. Костирка Високопільської громади — 0,57 мг/кг та с-ща Велика Олександрівка Великоолександрівської громади — 0,49 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 63,8%, що свідчить про високий рівень просторової неоднорідності та локально-осередковий характер накопичення забруднювача. Середні значення в межах досліджених територій не перевищували гранично допустимої концентрації, однак в окремих пробах вміст свинцю був 15,0 мг/кг, тобто перевищував норматив у 2,5 рази. За рівнем забруднення 36,9% обстежених земельних угідь характеризувалися відсутністю забруднення, 26,4% — слабким, 17,7 — помірним, 9,4 — середнім, 4,4 — високим і 1,5% — дуже високим рівнем. Це підтверджує наявність локальних екологічно небезпечних осередків і вказує на те, що для таких земель недостатньо узагальноної оцінки за середніми показниками. Доцільним є проведення просторово деталізованого моніторингу, виділення зон підвищеного ризику та впровадження рекультивацийних і запобіжних заходів перед повноцінним сільськогосподарським використанням.

Ключові слова: агроландшафти, важкі метали, гранично допустима концентрація, еколого-токсикологічний стан, моніторинг земель, порушені землі, рівень забруднення.

ВСТУП

Війна належить до найпотужніших антропогенних чинників трансформації ґрунтового покриву, оскільки спричиняє механічне руйнування поверхні, утворення вирв, переміщення значних мас ґрунту,

ущільнення, зміну мікрорельєфу та хімічне забруднення. На відміну від більшості традиційних техногенних навантажень, воєнний вплив має виражений локальний характер, часто поширюється на землі сільськогосподарського призначення та супроводжується тривалими екологічними наслідками [1; 2]. У сучасних дослі-

дженнях, присвячених екологічним наслідкам військових дій, підкреслюється, що їхній вплив охоплює не лише руйнування природних і агроєкосистем, а й довготривалу деградацію ґрунтового середовища [3; 4].

Серед потенційно токсичних елементів, пов'язаних із військовими діями, особливе місце посідає свинець. Він може надходити до ґрунту з уламками боєприпасів, продуктами вибуху, зруйнованою військовою технікою, паливно-мастильними матеріалами та іншими техногенними залишками [5]. Екотоксикологічне значення свинцю зумовлено його токсичністю, кумулятивною дією, здатністю накопичуватися в ґрунтовому профілі та переходити в трофічні ланцюги. За даними ВООЗ, навіть відносно невисокі рівні тривалого надходження свинцю пов'язані з ризиками для нервової, серцево-судинної систем та особливо розвитку дітей [6]. Саме тому в ґрунтових дослідженнях доцільно зосереджувати увагу на рухомих формах свинцю, оскільки саме вони характеризують потенційно доступну для біоти частку свинцю в ґрунті.

Досвід дослідження територій, ушкоджених унаслідок воєнних дій у різних країнах вказує на те, що забруднення ґрунту здебільшого не має рівномірного характеру. Воно формується як сукупність локальних осередків забруднення, пов'язаних із місцями детонацій, концентрацією уламків боєприпасів, переміщенням техніки та дрібномасштабною неоднорідністю рельєфу [7; 8]. Для України ця проблема набула особливої актуальності у зв'язку зі значними масштабами воєнно зумовленого порушення земель після 2022 р. Останні публікації засвідчують, що бойові дії спричинили значну фізичну деградацію ґрунтів, формування ландшафтів із численними вирвами, механічне порушення ґрунтового профілю внаслідок вибухів, появу локальних осередків накопичення важких металів та істотне ускладнення подальшого землекористування [9; 10]. Водночас дані щодо вмісту рухомих форм свинцю для степових регіонів України, зокрема Херсонської обл., залишаються обмеженими.

Останніми роками в Україні опубліковано низку наукових праць, присвячених ґрунтам, ушкодженим унаслідок бойових дій, екологічному стану чорноземів, що зазнали воєнного впливу, ризикам забруднення токсичними елементами, а також умісту валових і рухомих форм важких металів на окремих територіях [11; 12]. Однак для земель півдня України, де поєднуються особливо інтенсивний мілітарний вплив і складна структура агропродовольчих груп ґрунтів, питання просторової неоднорідності рухомих сполук свинцю потребує окремого комплексного дослідження. Такий підхід дає змогу не лише фіксувати сам факт забруднення, а й виявляти локальні осередки ризику в межах конкретних землекористувань.

Мета дослідження — оцінити сучасний стан забруднення ґрунтів рухомими сполуками свинцю на територіях Херсонської обл., що зазнали бойових дій, та встановити особливості просторової неоднорідності його розподілу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У світовій науковій літературі ґрунтові наслідки війни розглядають як окремі напрями досліджень, що охоплює фізичні, хімічні та біологічні зміни в докільді. Зокрема, дослідження G.E. Machlis, T. Hanson [1], а також M.J. Lawrence, H.L.J. Stemberger із співавт. [3] показали, що воєнні дії змінюють структуру ландшафтів, режими землекористування та перебіг екологічних процесів у просторі й часі. G. Certini, а також P. Vroomandi зі співавт. [2; 4] узагальнили, що для ґрунтів, які зазнали воєнного впливу, характерне поєднання механічного руйнування, локального хімічного забруднення та високої дрібномасштабної просторової контрастності.

Одним із найбільш інформативних напрямів є дослідження важких металів, що надходять у ґрунт із боєприпасів, продуктів їх детонації та військової техніки. Зокрема, E. Meerschman, L. Coeckx та ін. [7] на матеріалах ландшафтів бойових дій Першої світової війни встановили, що свинець і мідь

формують стійкі просторові закономірності, які зберігаються протягом десятиліть. D. Vidosavljevic та співавт. [8] для Хорватії показали, що воєнні дії можуть залишати довготривалі наслідки в ґрунтовому покриві у вигляді підвищеного вмісту важких металів на сільськогосподарських землях. Z. Althahaan та D. Dobslaw [13] також виявили чіткий зв'язок між зонами бойового впливу та просторовою мінливістю забруднення ґрунтового покриву важкими металами на територіях сучасного конфлікту в Іраку.

Для України після 2022 р. особливого значення набули публікації, в яких висвітлено загальну екологічну шкоду війни, деградацію ґрунтового покриву та фізичні й хімічні порушення земель. Зокрема, Р. Pereira [9] розглянув вплив російсько-української війни на довкілля загалом, а М. Солоха [10] охарактеризували деградацію і забруднення ґрунтів унаслідок збройного конфлікту в Україні. У роботі О. Bonchkovskiy [11] доведено, що поєднання дистанційного зондування, ґрунтового картування, польових обстежень і лабораторних аналізів є ефективним підходом до дослідження ґрунтів, порушених унаслідок бойових дій. К. Smirnova [12] охарактеризували екологічний і токсикологічний стан чорноземів, що зазнали воєнного впливу, на прикладі територіальної громади Харківської обл.

Дослідженнями Ю.О. Зайцева [14], безпосередньо присвяченими важким металам, встановлено підвищений уміст валових форм у ґрунтах Сумської обл., а О.М. Грищенко, Р.П. Паламарчук та ін. [15] проаналізували вміст рухомих форм важких металів на території Миколаївської обл. Для Львова К. Petrushka, M.S. Malovanyu [16] оцінили ризики забруднення ґрунту токсичними елементами в умовах війни. Водночас у матеріалах N. Denisov та D. Averin [17], а також A. Splodytel [18] наголошено на необхідності термінового картування та системного моніторингу ґрунтів на територіях, ушкоджених унаслідок бойових дій.

Попри наявність зазначених праць, для Херсонської обл. просторову неод-

рідність рухомих сполук свинцю на землях, що зазнали різних видів мілітарного впливу, досліджено недостатньо. Це має принципове значення, оскільки локально-осередковий характер воєнно зумовленого забруднення не може бути адекватно відображений лише середніми показниками в межах земельного масиву. У зв'язку з цим у роботі акцент зроблено не на порівнянні з довоєнним фоном, а на аналізі сучасного просторового розподілу рухомих сполук свинцю та виокремленні локальних зон підвищеного ризику.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень слугували 347 проб ґрунту, відібраних із 24 земельних ділянок загальною площею 1496,7111 га, що зазнали впливу бойових дій на території Бериславського та Херсонського р-нів Херсонської обл. Просторове розміщення дослідних полів у межах області відображає їхню територіальну представленість і нерівномірний розподіл у межах постраждалих громад (рис. 1). Відомості про місце відбору проб та адміністративне розташування досліджених ділянок наведено в табл. 1.

У дослідження було включено землі, розташовані в межах Борозенської, Високопільської, Великоолександрівської, Тягинської, Калинівської, Чорнобаївської, Херсонської та Бериславської ТГ. На підготовчому етапі за кадастровими номерами та матеріалами попередніх обстежень встановлювали місце розташування кожної ділянки, її адміністративне підпорядкування, вид землекористування та агровиробничу групу ґрунтів. Одночасно фіксували видимі ознаки мілітарного впливу, зокрема вирви, сліди пожеж, залишки техніки, боеприпасів і нафтопродуктів, ознаки фортифікаційних споруд та ущільнення ґрунту (табл. 2).

Ґрунтовий покрив обстежених територій є неоднорідним і представлений переважно чорноземами південними різного ступеня змитості та гранулометричного складу, лучно-чорноземними глеюватими

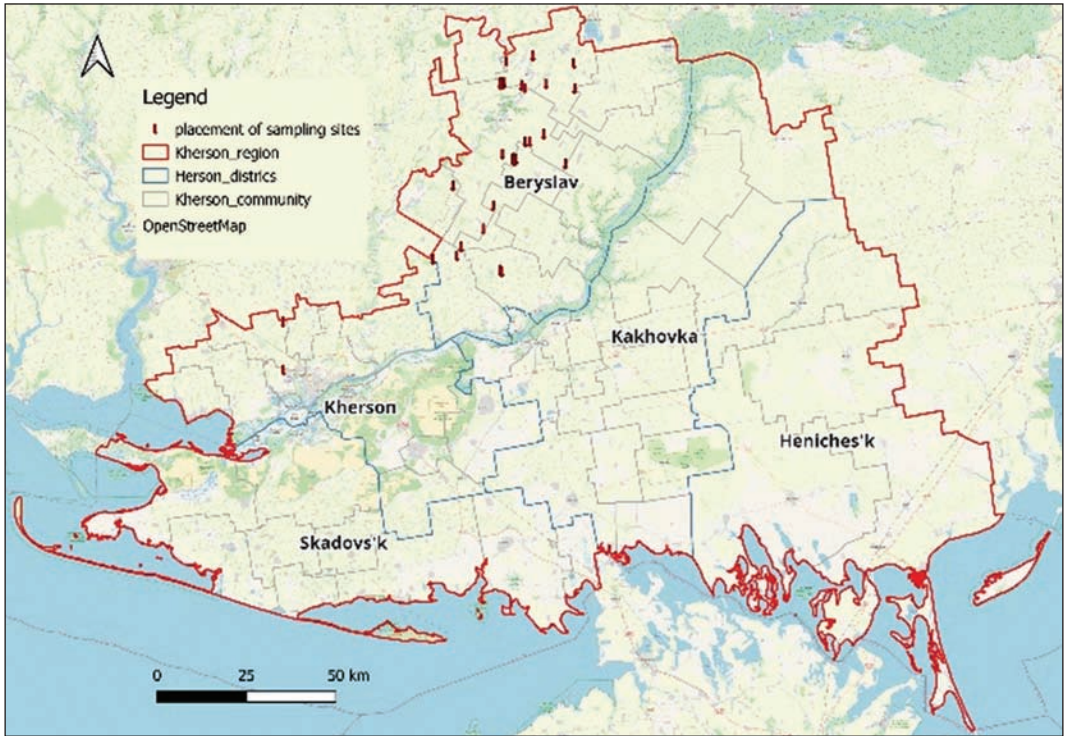


Рис. 1. Місця розташування дослідних полів, Херсонська обл., CS63

Таблиця 1. Місця відбору проб ґрунту на території Херсонської обл., 2025 р.

№ ділянки	Місце відбору
1	с. Дмитренка Борозенської ТГ Бериславського р-ну
2	с. Іванівка Високопільської ТГ Бериславського р-ну
3	с. Новопетрівка Високопільської ТГ Бериславського р-ну
4	с. Благодатне Високопільської ТГ Бериславського р-ну
5	с. Костирка Високопільської ТГ Бериславського р-ну
6	с. Незламне Високопільської ТГ Бериславського р-ну
7, 9	с. Трифонівка Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну
8, 10	с. Старосілля Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну
11, 12, 23	с-ще Велика Олександрівка Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну
13, 15	с. Садок Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну
14	с. Іщенка Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну
16	с. Стариця Борозенської ТГ Бериславського р-ну
17	с. Криничанка Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну
18	с. Таврійське Тягинської ТГ Бериславського р-ну
19	с. Сухий Ставок Калинівської ТГ Бериславського р-ну
20	с. Барвінок Чорнобаївської ТГ Херсонського р-ну
21	с. Чорнобаївка Комишанської селищної ради Херсонської ТГ Херсонського р-ну
22	с. Кам'яне Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну
24	с. Тараса Шевченка Бериславської ТГ Бериславського р-ну

Таблиця 2. Дані про ушкодження території внаслідок ведення бойових дій

№ ділянки	Інформація про мілітарний вплив
1	Мінування. Ущільнення ґрунту. Виявлено 4 вирви завглибшки 40–70 см та діаметром від 2,0 до 3,0 м, залишки знищеної техніки та залишки боєприпасів
2	Мінування, артилерійські та мінометні обстріли. Виявлено 5 вирв завглибшки до 0,8 м та діаметром близько 1,5 м, сліди пожеж, залишки боєприпасів, частини снарядів та реактивних систем залпового вогню «Град» та «Ураган»
3	Мінування. Ущільнення ґрунту. Виявлено вирви та залишки боєприпасів
4	Мінування, ракетні, артилерійські та мінометні обстріли. Виявлено 15 вирв завглибшки від 0,5 до 1,0 м та діаметром до 3 м, залишки нерозірваних боєприпасів та частини снарядів та ракет
5	Артилерійські та мінометні обстріли, сліди пожеж
6	Артилерійські та мінометні обстріли. Виявлено 2 вирви завглибшки до 1,0 м та діаметром близько 2 м
7	Мінування, ущільнення ґрунту, ракетні, артилерійські, мінометні обстріли та авіабомбові удари. Виявлено 5 вирв завглибшки до 1,0 м та діаметром 2,5–3,0 м, сліди пожеж та залишки боєприпасів
8	Мінування, обстріли некерованими авіаційними ракетами («НУРС»). Виявлено невеликі вирви, сліди пожеж, залишки зброї та боєприпасів
9	Мінування, ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено вирви, сліди пожеж, залишки нафтопродуктів та боєприпаси та їх залишків
10	Ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено вирви, сліди пожеж, залишки нафтопродуктів та боєприпаси
11	Ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено чотири невеликі вирви та одну завглибшки 2,0 м і завширшки 3,0 м, залишки зброї, зокрема ракет, касетних боєприпасів та фортифікаційні споруди
12	Ракетні і мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено вирви та численні уламки боєприпасів
13	Ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено вирви, залишки зброї та боєприпасів
14	Мінування, ракетні, артилерійські і мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено вирви, сліди пожеж, знищену техніку, залишки нафтопродуктів та боєприпаси
15	Мінування, ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено вирви, залишки зброї та боєприпасів
16	Мінування, ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено вирву завглибшки близько 1 м і діаметром близько 5 м та п'ять вирв меншого розмір, залишки приповерхневих фортифікаційних споруд, боєприпасів, зокрема фрагменти ракет РСЗВ «Ураган» та артилерійські снаряди 122 калібру
17	Ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено вирви, сліди пожеж, знищену техніку, боєприпаси та їх залишки
18	Ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено п'ять вирви завглибшки близько 0,5–0,7 м та завширшки 1,0–1,2 м, залишки боєприпасів
19	Мінування, ракетні, авіаційні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено значну кількість вирв, зокрема 13 вирв завглибшки 3,0 м та діаметром 5 м, 31 вирву завглибшки 1,5 м та діаметром 2,5 м, сліди пожеж, залишки нафтопродуктів, зброї та боєприпасів, знищену техніку

№ ділянки	Інформація про мілітарний вплив
20	Артилерійські та мінометні обстріли. Виявлено незначні вирви, сліди пожеж, залишки зброї та боєприпасів
21	Мінування, ракетні, артилерійські і мінометні обстріли. Виявлено 15 вирв завглибшки 1,0–1,5 м і діаметром 1,0–1,7 м, сліди пожеж, боєприпаси та їх залишки
22	Ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено вирви, сліди пожеж, залишки боєприпасів
23	Мінування, артилерійські і мінометні обстріли, ущільнення ґрунту. Виявлено незначні вирви, сліди пожеж, залишки зброї та боєприпасів
24	Мінування, артилерійські обстріли та атаки БПЛА, ущільнення ґрунту. Виявлено 10 вирв завглибшки близько 2 м і діаметром близько 8 м, сліди пожеж та залишки боєприпасів

й глейовими подовими, а також темно-каштановими та лучно-каштановими ґрунтами (табл. 3). Таке різноманіття ґрунтових умов є важливим для оцінювання

рухомості свинцю, оскільки на неї можуть впливати гранулометричний склад, ступінь оглеєння, змитість і сорбційні властивості ґрунту.

Таблиця 3. Агровиробничі групи ґрунтів на обстежених ділянках

№ ділянки	Шифр та назва агровиробничої групи
1, 13, 14, 15, 23	71e – чорноземи південні важкосуглинкові і легкоглинисті та їх слабо- і залишково-солонцюваті відміни (особливо цінні ґрунти)
2, 3	74e – чорноземи південні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті
4	74г – чорноземи південні слабозмиті легкосуглинкові, 74д – чорноземи південні слабозмиті середньосуглинкові, 75д – чорноземи південні середньозмиті середньосуглинкові, 76г – чорноземи південні сильнозмиті легкосуглинкові, 76д – чорноземи сильнозмиті середньосуглинкові, 133д – лучні ґрунти та їх слабосолонцюваті і слабоосолоділі відміни середньосуглинкові
5, 12	166e – лучно-чорноземні глеюваті і глейові подові важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти
6, 7, 9, 11, 16	71e – чорноземи південні важкосуглинкові і легкоглинисті та їх слабо- і залишково-солонцюваті відміни (особливо цінні ґрунти), 166e – лучно-чорноземні глеюваті і глейові подові важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти
8	74г – чорноземи південні слабозмиті легкосуглинкові, 74д – чорноземи південні слабозмиті середньосуглинкові, 217 – розмиті ґрунти і виходи елювію щільних карбонатних порід
10	74г – чорноземи південні слабозмиті легкосуглинкові, 92б – чорноземи на пісках незмиті та слабозмиті глинисто-піщані, 133e – лучні ґрунти та їх слабосолонцюваті і слабоосолоділі відміни важкосуглинкові і легкоглинисті
17	74e – чорноземи південні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 77e – чорноземи південні слабодельовані важкосуглинкові і легкоглинисті
18	74e – чорноземи південні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 75e – чорноземи південні середньозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті
19, 24	71e – чорноземи південні важкосуглинкові і легкоглинисті та їх слабо- і залишково-солонцюваті відміни (особливо цінні ґрунти), 74e – чорноземи південні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті

№ ділянки	Шифр та назва агрогруппи
20	107е – темно-каштанові слабосолонцюваті важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти, 167е – лучно-каштанові глеюваті і глейові подові важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти
21	110д – темно-каштанові слабозмиті середньосуглинкові ґрунти, 111д – темно-каштанові середньо- і сильнозмиті середньосуглинкові ґрунти
22	71е – чорноземи південні важкосуглинкові і легкоглинисті та їх слабо- і залишково-солонцюваті відміни (особливо цінні ґрунти), 74е – чорноземи південні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 75е – чорноземи південні середньозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті

Відбір проб проводили відповідно до вимог ДСТУ 4287:2004 [19]. Земельні масиви поділяли на елементарні ділянки площею до 5 га, що забезпечувало вищу просторову деталізацію дослідження. Із кожної елементарної ділянки відбирали 20–25 індивідуальних проб, з яких фор-

мували один змішаний зразок. Відбір здійснювали з глибини орного шару 0–30 см, але не менше 10 см. Просторову організацію елементарних ділянок показано на прикладі поля № 10, розташованого в межах с. Старосілля Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну (рис. 2).

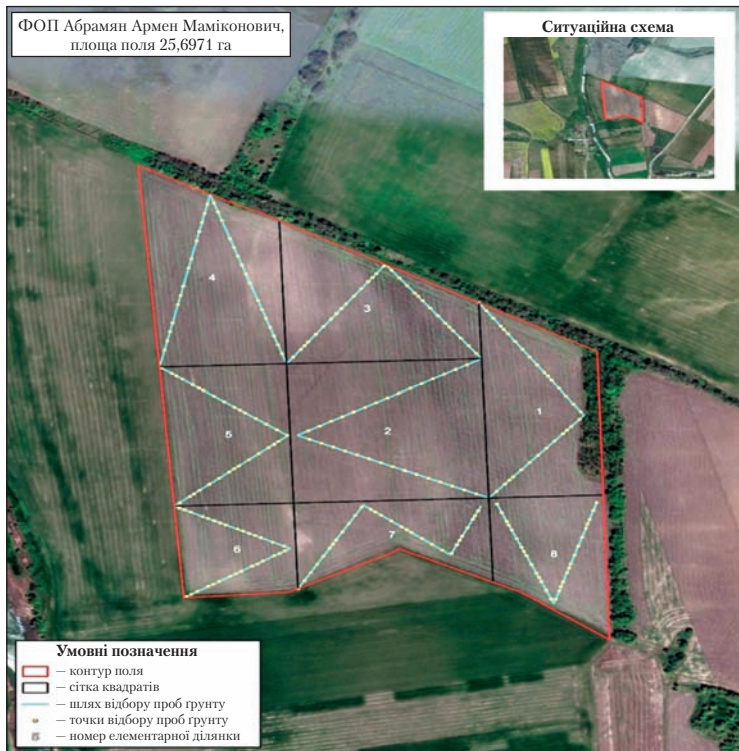


Рис. 2. Розміщення елементарних ділянок на полі № 10 розташованому на території с. Старосілля Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну Херсонської обл. (приклад)

Уміст рухомих сполук свинцю визначали в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії відповідно до ДСТУ 4770.9:2007 [20]. Для оцінювання екологічного стану ґрунтів використовували гранично допустиму концентрацію (ГДК) рухомих сполук свинцю – 6 мг/кг [21]. Групування ґрунтів за агрохімічними та токсикологічними показниками здійснювали відповідно до Методики проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення [22].

Статистичну обробку результатів виконували з використанням показників описової статистики: середнього значення, мінімуму, максимуму, стандартної помилки, середньоквадратичного відхилення та

коефіцієнта варіації. Просторову неоднорідність оцінювали за поєднанням середніх значень по ділянках, меж їх варіювання та структури розподілу за рівнями забруднення. Такий підхід дає змогу визначити не лише загальний рівень забруднення, а й виявити локальні осередки підвищених значень, характерні для ґрунтів, ушкоджених унаслідок воєнних дій [4; 11].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Уміст рухомих сполук свинцю в ґрунтах досліджених земель відзначався значною просторовою мінливістю, що підтверджувалося відмінностями між середніми значеннями по ділянках і межами їх варіювання (табл. 4).

Таблиця 4. Уміст рухомих сполук свинцю у ґрунтах досліджених ділянок Херсонської обл.

Проба ґрунту	Свинець, мг/кг ґрунту			
	\bar{x}^*	min...max	V, %	Рівень забруднення
1	1,26	0,76...2,36	34,1	Слабке
2	1,44	0,01...4,59	84,2	Слабке
3	1,02	0,01...4,59	150,5	Слабке
4	2,81	0,38...6,01	55,7	Середнє
5	0,57	0,02...2,72	162,2	–
6	1,27	0,02...4,04	113,1	Слабке
7	0,81	0,29...2,00	67,7	Слабке
8	1,57	1,08...3,08	54,5	Помірне
9	0,72	0,10...1,68	60,5	–
10	5,07	1,86...15,0	86,9	Дуже високе
11	2,15	0,42...5,20	74,3	Помірне
12	0,49	0,46...0,52	6,2	–
13	1,88	0,71...2,63	31,9	Помірне
14	1,49	1,26...1,82	16,0	Помірне
15	0,99	0,53...2,28	72,7	Слабке
16	1,07	0,66...2,56	53,2	Слабке
17	0,89	0,63...1,73	37,9	Слабке
18	2,24	0,86...3,60	38,3	Помірне
19	0,99	0,65...2,66	50,9	Слабке
20	1,50	0,94...2,21	81,8	Помірне
21	1,29	0,97...3,74	16,7	Слабке
22	1,40	0,37...3,04	59,6	Слабке
23	1,44	0,50...2,00	54,2	Слабке
24	0,96	0,72...1,26	24,2	Слабке

Проба ґрунту	Свинець, мг/кг ґрунту			
	\bar{x}^*	min...max	V, %	Рівень забруднення
Середнє значення	1,47	61,97		
Стандартна помилка	0,19			
Середньоквадратичне відхилення	0,94			
Коефіцієнт варіації	63,8			
Min	0,49		6,2	
Max	5,07		162,2	

Середньозважений уміст свинцю становив 1,47 мг/кг за меж варіювання 0,49–5,07 мг/кг. Стандартна помилка дорівнювала 0,19 мг/кг, середньоквадратичне відхилення – 0,94 мг/кг за коефіцієнта варіації – 63,8%, що свідчить про високу просторову неоднорідність розподілу елемента та локально-осередковий характер техногенного навантаження.

Найвищий вміст рухомих сполук свинцю зафіксовано на ділянці 10 у межах с. Старосілля Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну – 5,07 мг/кг, с. Благодатне Високопільської ТГ Бериславського р-ну – 2,81 мг/кг (ділянка 4), с. Таврійське Тягинської ТГ Бериславського р-ну – 2,24 мг/кг (ділянка 18) та с-ще Велика Олександрівка Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну – 2,15 мг/кг (ділянка 11). Найнижчі середні значення встановлено на ділянці 12 (с-ще Велика Олександрівка) – 0,49 мг/кг і в межах с. Костирка Високопільської ТГ (ділянка 5) – 0,57 мг/кг. Тому, вже на рівні середніх значень простежується істотна диференціація між обстеженими територіями, що відображає локальну мозаїчність забруднення ґрунтового покриву внаслідок воєнних дій.

Середні значення в межах досліджених ділянок не перевищували чинної гранично допустимої концентрації для рухомих сполук свинцю, однак максимальні значення в межах окремих територій були значно вищими. Так, у межах с. Благодатне Високопільської ТГ (ділянка 4) максимум становив 6,01 мг/кг, а в межах с. Старо-

сілля Великоолександрівської ТГ (ділянка № 10) – 15,0 мг/кг, що перевищувало гранично допустиму концентрацію у 2,5 раза. Це свідчить, що навіть за відсутності перевищення ГДК за середніми значеннями в межах окремого поля можуть формуватися локальні осередки з потенційно небезпечними концентраціями рухомих сполук свинцю.

За середніми значеннями для 24 обстежених ділянок переважали території зі слабким і помірним рівнем забруднення. Водночас структура розподілу вмісту рухомих сполук свинцю за рівнями забруднення засвідчила переважання категорії без ознак забруднення – 36,9%, тоді як частка слабого рівня становила 26,4%, помірного – 17,7, середнього – 9,4, підвищеного – 3,9, високого – 4,4, а дуже високого – 1,5% (рис. 3). Це свідчить, що поряд із відносно помірним загальним фоном у межах досліджених земель формуються локальні осередки підвищеного вмісту свинцю.

Зв'язок між підвищеним умістом свинцю та характером бойових ушкоджень найбільш чітко простежується на окремих обстежених територіях. Зокрема, у межах с. Старосілля Великоолександрівської ТГ (ділянка 10) зафіксовано ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту, вирви, сліди пожеж, залишки нафтопродуктів і боєприпасів (див. *табл. 2*). У межах с. Благодатне Високопільської ТГ (ділянка 4) відзначено мінування, ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, численні вирви, а також залишки нерозірва-

них боеприпасів і частини ракет. У межах с. Таврійське Тягинської ТГ (ділянка 18) встановлено ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, ущільнення ґрунту, вирви й залишки боеприпасів. Саме поєднання таких чинників дає підстави пов'язувати підвищені концентрації свинцю з локальними джерелами техногенного надходження металу.

Такий зв'язок можна пояснити дією кількох механізмів. Уламки боеприпасів і металеві фрагменти є безпосереднім джерелом надходження свинцю в ґрунт, продукти детонації та горіння військової техніки формують вторинні осередки накопичення токсичних елементів, а вирви й механічне порушення верхнього шару спричиняють переміщення ґрунтових мас, і як наслідок, перерозподілу техногенних часток у межах поля [4; 18]. Унаслідок цього для земель, ушкоджених унаслідок воєнних дій, характерне поєднання механічного порушення та просторової строкатості агроекологічного стану ґрунтів.

Водночас ступінь механічного ушкодження території не завжди прямо узгоджується із середнім вмістом рухомих форм свинцю. Так, у межах с. Сухий Ставок Калинівської ТГ Бериславського р-ну (ділянка 15), де зафіксовано значну кількість вирв, сліди пожеж, залишки нафтопродуктів, зброї та знищеної техніки, середній вміст свинцю становив лише 0,99 мг/кг. Подібну невідповідність виявлено і в межах с. Трифонівка Великоолександрівської ТГ (ділянка 9), де за наявності мінування, ракетних, артилерійських та мінометних обстрілів, слідов пожеж і нафтопродуктів середній вміст рухомих сполук свинцю сягав 0,72 мг/кг. Це свідчить, що для рухомих форм свинцю вирішальне значення має не лише інтенсивність бойових дій, а й локальне розсіювання уламкового матеріалу, мікрорельєф, сорбційні властивості ґрунту та умови міграції елемента [7; 13].

Високі коефіцієнти варіації в межах окремих ділянок є додатковим свідченням мозаїчного характеру забруднення. Так, у межах с. Новопетрівка Високопільської ТГ (ділянка 3) значення коефіцієнта варіації

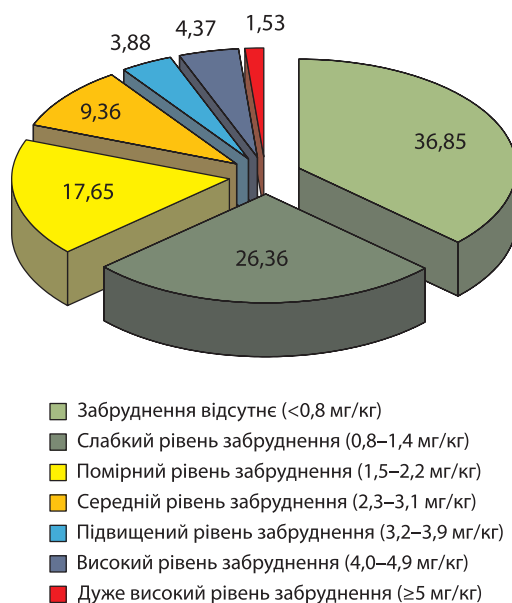


Рис. 3. Структура розподілу значень вмісту рухомих сполук свинцю за рівнями забруднення на обстежених територіях Херсонської обл., %

становило 150,5%, у межах с. Костирка Високопільської ТГ (ділянка 5) — 162,2%, а у межах с. Незламне Високопільської ТГ (ділянка 6) — 113,1%, попри відносно невисокі середні значення вмісту свинцю. Це підтверджує, що навіть за слабого середнього рівня забруднення в межах окремої ділянки можуть утворюватися дрібні локальні осередки підвищених концентрацій.

Особливо показовою є ділянка № 10 в межах с. Старосілля Великоолександрівської ТГ Бериславського р-ну, де встановлено найвищий середній вміст рухомих сполук свинцю. Просторове розміщення елементарних ділянок у межах цього поля свідчить про високу деталізацію обстеження та підтверджує локальний характер виявленої аномалії (див. *рис. 2*). Оскільки на полі було виокремлено вісім елементарних ділянок з окремими маршрутами відбору проб, саме така схема дала змогу встановити максимальні значення, які могли бути нівельовані за менш деталізованого обстеження.

Певну роль у формуванні просторової неоднорідності забруднення можуть відігравати й агровиробничі особливості ґрунтів. Досліджені території охоплювали чорноземи південні різного ступеня змитості, лучно-чорноземні глеюваті й глейові подові, а також темно-каштанові та лучно-каштанові ґрунти (див. *табл. 3*). Територія в межах с. Старосілля Велико-олександрівської ТГ (ділянка 10), де зафіксовано максимальний середній уміст свинцю, приурочена до поєднання слабозмитих легкосуглинкових чорноземів, чорноземів на пісках і лучних ґрунтів. Імовірно, така комбінація ґрунтових умов у поєднанні з мілітарним навантаженням могла сприяти більшій контрастності розподілу рухомої форми свинцю. Водночас на окремих важкосуглинкових і глейових ґрунтах навіть за інтенсивних бойових ушкоджень середній уміст свинцю залишався нижчим.

Порівняння одержаних результатів із сучасними літературними даними підтверджує, що бойові дії зумовлюють насамперед формування локальних осередків підвищеного вмісту токсичних елементів, а не обов'язково рівномірне підвищення їх фонового рівня [10; 11]. Для територій, що зазнали воєнного впливу, характерне поєднання відносно чистих мікрозон і дрібних осередків із підвищеним умістом металів [8; 18]. Саме такий характер просторового розподілу виявлено і в досліджених землях Херсонської обл.

Тому, оцінювання таких земель лише за середнім значенням у межах земельної ділянки є недостатнім. Для територій, що зазнали бойових дій, потрібні деталізовані схеми відбору проб, локальне картування забруднення, виокремлення «гарячих то-

чок» і встановлення пріоритетних ділянок для подальшого обстеження, тимчасового обмеження використання або проведення рекультиваційних заходів. Для земель сільськогосподарського призначення це особливо важливо під час ухвалення рішень щодо відновлення виробництва, безпечного вирощування сільськогосподарських культур і планування комплексу ґрунтоохоронних заходів.

ВИСНОВКИ

У результаті обстеження земель, ушкоджених унаслідок бойових дій на території Бериславського та Херсонського р-нів Херсонської обл., встановлено виражену просторову неоднорідність умісту рухомих сполук свинцю в ґрунтах. Середньозважений уміст становив 1,47 мг/кг, змінюючись у межах 0,49–5,07 мг/кг. Найвищі середні значення зафіксовано на ділянках, де відзначено інтенсивні обстріли, вирви, сліди пожеж, залишки боеприпасів, нафтопродуктів і знищеної техніки. Коефіцієнт варіації на рівні 63,8% свідчить про мозаїчний характер забруднення та наявність локальних осередків підвищених концентрацій. Попри відсутність перевищення гранично допустимої концентрації, в окремих пробах уміст свинцю досягав 15,0 мг/кг, що підтверджує формування потенційно небезпечних локальних аномалій. Для мінімізації ризиків вторинного забруднення та екологічно безпечного подальшого використання таких земель необхідними є просторово деталізований моніторинг, картування локальних осередків підвищеного вмісту свинцю, а також обґрунтування рекультиваційних і ґрунтоохоронних заходів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Machlis, G. E., & Hanson, T. (2008). Warfare ecology. *BioScience*, 58(8), 729–736. DOI: <https://doi.org/10.1641/B580809>.
2. Certini, G., Scalenghe, R., & Woods, W. I. (2013). The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*, 127, 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.009>.
3. Lawrence, M. J., Stemberger, H. L. J., Zolderdo, A. J., Struthers, D. P., & Cooke, S. J. (2015). The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environmental Reviews*, 23(4), 443–460. DOI: <https://doi.org/10.1139/er-2015-0039>.
4. 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>.
5. Lima, D. R. S., Bezerra, M. L. S., Neves, E. B., & Moreira, F. R. (2011). Impact of ammunition and military explosives on human health and the environ-

- ment. *Reviews on Environmental Health*, 26(2), 101–110. DOI: <https://doi.org/10.1515/revch.2011.014>.
6. World Health Organization. (2024). *Lead poisoning and health*. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.
 7. Meerschman, E., Cockx, L., Islam, M. M., Meeuw, F., & Van Meirvenne, M. (2011). Geostatistical assessment of the impact of World War I on the spatial occurrence of soil heavy metals. *Ambio*, 40(4), 417–424. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0104-6>.
 8. Vidosavljevic, 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/10.1080/09064710.2013.777093>.
 9. Pereira, P., Bašić, F., Bogunovic, I., & Barceló, D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of the Total Environment*, 837, 155865. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>.
 10. 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>.
 11. Bonchkovskiy, O., Ostapenko, P., Bonchkovskiy, A., & Shvaiko, V. (2025). War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change. *Science of the Total Environment*, 964, 178594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594>.
 12. Smirnova, K., Baliuk, S., Kucher, A., Vorotyntseva, L., & Honcharova, A. (2024). Ecological and toxicological condition of militarily degraded chernozems: A case study of the Chkalovsk territorial community. *Scientific Horizons*, 27(11), 90–104. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor11.2024.90>.
 13. Altahaan, Z., & Dobsław, D. (2024). The impact of war on heavy metal concentrations and the seasonal variation of pollutants in soils of the conflict zone and adjacent areas in Mosul City. *Environments*, 11(11), 247. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments11110247>.
 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 районів Сумської області. *Агроекологічний журнал*, 3, 136–149. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419>.
 15. Грищенко, О. М., Паламарчук, Р. П., Шляхтуров, Д. С., Запасний, В. С., & Крупко, Г. Д. (2025). Забруднення ґрунту рухомими формами важких металів унаслідок бойових дій на території Миколаївської області. *Агроекологічний журнал*, 4, 96–107. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2025.345436>.
 16. Petrushka, K., Malovanyu, M. S., Skrzypczak, D., Chojnacka, K., & Warchoł, J. (2024). Risks of soil pollution with toxic elements during military actions in Lviv. *Journal of Ecological Engineering*, 25(1), 195–208. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/175136>.
 17. Denisov, N., & Averin, D. (2017). *Environmental assessment and recovery priorities for eastern Ukraine*. VAITE. URL: https://cdn.osce.org/sites/default/files/f/documents/4/3/362566_0.pdf.
 18. Splodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, S., & Sorokina, L. (2023). *The impact of Russia's war against Ukraine on the state of the country's soil: Analysis results*. Ecoaction — Centre for Environmental Initiatives. URL: <https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/impact-on-soil-russian-war.pdf>.
 19. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. (2005). [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України.
 20. 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 спектроскопії. (2009). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України.
 21. 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>.
 22. Яцук, І. П., & Балук, С. А. (Ред.). (2019). *Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення* (2-ге вид., допов.). Київ: ДУ «Інститут охорони ґрунтів України». URL: <https://iup.gov.ua/wp-content/uploads/2020/07/metodyka-ahrokhimichnoi-pasportyzatsii.pdf>.

Дата першого надходження рукопису до редакції: 30.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.03.2026

Дата публікації: 10.04.2026