УДК 504.61:355.01]:631.4 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.3.1.32

М. І. СОЛОД
кандидат технічних наук, науковий співробітник
Науково-дослідна лабораторія синтезу мономерів НДЛ-37
Національного університету «Львівська політехніка»
ORCID: 0009-0006-1478-9382

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ ҐРУНТІВ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВО-АНТРОПОГЕННИХ ВПЛИВІВ

У даній роботі розглянуто досвід Європейського Союзу стосовно досліджень хімічного складу ґрунтів сільськогосподарських угідь, а також виконано порівняльні дослідження зразків ґрунту з територій України, що короткий час перебували під окупацією. Значний діапазон досліджень в Європі було проведено у XXI столітті для укладання мапи розповсюдження тих чи інших хімічних елементів, їхнього вмісту у сільськогосподарських рослинах та, відповідно, впливу на здоров'я споживачів сільськогосподарської продукції. Особливу увагу було приділено тим хімічним елементам, що їх Всесвітня організація охорони здоров'я визнала безумовно небезпечними для організму людини, а саме кадмію, свинцю, миш'яку та діоксинам. Найбільш ретельно було досліджено території, де відбувалися військові дії під час І Світової війни, і які не були рекультивовані дотепер. Дослідження цих територій з відбором проб із воронок та із поверхні ґрунту показали, що через сто років після бойових дій на таких територіях все ще можна спостерігати надлишки шкідливих хімічних елементів. В Україні під час війни неможливо проводити такі дослідження в районах активних бойових дій, але їх потрібно здійснювати в місцевостях, які було звільнено від окупації, та які можливо надалі використовувати у сільському господарстві. Було проведено відбір ґрунтів в декількох місцевостях Київської області та проведено їх дослідження в лабораторних умовах. Було відмічено незначне підвищення вмісту кадмію, свинцю та марганцю у деяких пробах порівняно із пробами, відібраними у Львівській області. Зважаючи на умови відбору проб у місцевостях, що зазнали артилерійських обстрілів, а саме, на небезпеку мін та нерозірваних боєприпасів, більш докладний аналіз не є можливим, але після деактивації вибухонебезпечних залишків докладне вивчення складу хімічних елементів з врахуванням досвіду Європейського Союзу у ґрунтах на звільнених територіях є необхідною процедурою для подальшого їх використання.

Ключові слова: *забруднення ґрунтів, небезпечні хімічні елементи, антропогенний вплив, рекультивація угідь, досвід Європейського Союзу.*

M. I. SOLOD
PhD in Technical Sciences, Research Associate
Research Laboratory of Monomer Synthesis RL-37
of Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0009-0006-1478-9382

THE REASEARCH ON SOIL CONTAMINATION DUE TO MILITARY-ANTHROPOGENIC INFLUENCES

This work examines the experience of the European Union regarding studies of the chemical composition of agricultural land soils, as well as comparative studies of soil samples from the territories of Ukraine that were under occupation for a short time. A considerable range of research in Europe was carried out in the 21st century to compile a map of the distribution of certain chemical elements, their content in agricultural plants and, accordingly, the impact on the health of consumers of agricultural products. Particular attention was paid to those chemical elements which were deemed by the World Health Organization to be definitely dangerous for the human body, namely cadmium, lead, arsenic and dioxins. The territories where military operations took place during World War I, and which have not been reclaimed until now, were most carefully investigated. Surveys of these areas, with sampling from craters and from the smooth soil surface, have shown that one hundred years after the fighting, surpluses of harmful chemical elements can still be observed in such areas. In Ukraine, during the war, it is impossible to conduct such research in areas of active hostilities, but it must be carried out in areas that were freed from occupation and that can be used in agriculture in the future. Soils were selected in several areas of the Kyiv region and their research was carried out in laboratory conditions. A slight increase in the content of cadmium, lead and manganese in some samples was noted compared to samples taken in the Lviv region. Taking into account the conditions of sampling in areas subjected to artillery fire, namely, the danger of mines and unexploded ordnance, a more detailed analysis is not possible, but after the deactivation of explosive residues, a detailed

© Солод М. І., 2025
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

study of the composition of chemical elements, taking into account the experience of the European Union in the soils in the liberated territories, is a necessary procedure for their further use.

Key words: *soil contamination, dangerous chemical elements, anthropogenic influence, land reclamation, experience of the European Union.*

Постановка проблеми

Ґрунт відіграє центральну роль у безпеці харчових продуктів, оскільки він визначає можливий склад харчових продуктів і кормів в основі харчового ланцюга. Однак якість ґрунтових ресурсів, визначена їхнім потенційним впливом на здоров'я людини шляхом розповсюдження шкідливих елементів через харчовий ланцюг, була вивчена в Європі не найкращим чином через відсутність даних належної деталізації та надійності. Перша в Європейському Союзі узгоджена процедура відбору проб верхнього шару ґрунту та узгоджена аналітична процедура дали вимірювання мікроелементів приблизно з 22 000 місць. Цей унікальний збір інформації дає змогу отримати надійний огляд концентрації важких металів, включаючи As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn, Sb. Co і Ni, на регіональному рівні [3].

В той же час, Україна вже третій рік знаходиться в стані війни, та її території піддаються обстрілам артилерії з різнокаліберними боєприпасами. Значна кількість залишків оболонок снарядів, що розірвалися, або потрапили в ґрунти нерозірваними, поступово розкладаються, змінюючи структуру сільськогосподарських угідь і забруднюючи їх різноманітними хімічними елементами, що можуть надалі, після закінчення війни та рекультивації звільнених земель, призвести до потрапляння шкідливих речовин у харчові продукти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження, спрямовані на вивчення впливу забруднень ґрунтів внаслідок військових дій у Європі та створення подальших рекультиваційних програм, мають на меті впровадження нових підходів до дослідження таких забруднень в Україні на основі європейського досвіду. Діяльність численних європейських організацій під егідою Європейського Союзу в тісній співпраці, в умовах чіткого розподілу дослідницьких зобов'язань та за допомоги неприбуткових організацій призводить до виявлення та аналізу територій з підвищеною концентрацією забруднень ґрунтів, що виникли внаслідок І Світової війни. Над дослідженням проблеми працювали, зокрема, такі організації, як Всесвітня організація охорони здоров'я, Європейський комітет стандартизації, Європейське агентство з безпеки харчових продуктів, світові науковці А. Баба, Дж. Бофф, В. Вудс, Е. Гуда, Т. Кьолер, Р. Ладо, Г. Ройтер, Г. Чертіні тощо, та українські науковці О. Бондар, Д. Бухова, А. Сакун, В. Ціко та інші досліджували важливість дослідження впливу забруднень ґрунтів внаслідок військових дій. Однак, європейські країни мають значний досвід у дослідженнях забруднень ґрунтів внаслідок І Світової війни, отже варто його розглянути та дослідити як зразки ґрунтів із звільнених територій, так і можливості застосування таких досліджень перед рекультивацією звільнених сільськогосподарських угідь України.

Формулювання мети дослідження

Проаналізувати досвід Європейського Союзу стосовно досліджень впливу забруднень ґрунтів внаслідок військових дій та здійснити аналіз ґрунтів в регіонах України, звільнених від окупації.

Викладення основного матеріалу дослідження

Аналіз ґрунту у післявоєнний період має на меті оцінку пошкоджень від механічних впливів, а також хімічного забруднення вибуховими та токсичними речовинами. Фізико-хімічні випробування ґрунту на місці для вимірювання концентрації важких металів та інших забруднюючих речовин мають надзвичайне значення для визначення масштабу та ступеня забруднення, особливо речовинами, небезпечними для здоров'я громадян.

Кадмій чинить токсичну дію на нирки, а також на скелетну та дихальну системи. Він класифікується як канцероген для людини. Кадмій може долати великі відстані від джерела викидів шляхом атмосферного переносу. Він легко накопичується в багатьох організмах, зокрема в молюсках і ракоподібних. Нижчі концентрації містяться в овочах, злаках і крохмалистих коренях. Вплив на людину відбувається в основному через споживання зараженої їжі, активне та пасивне вдихання тютюнового диму та вдихання працівниками низки галузей промисловості. ВООЗ визначає кадмій та свинець проміж 10 хімічних речовин, що викликають серйозне занепокоєння у сфері охорони здоров'я, що вимагає дій держав-членів для захисту здоров'я працівників, дітей і жінок репродуктивного віку [15].

У Європі Перша світова війна залишила у спадок забруднене навколишнє середовище через широке та інтенсивне використання артилерії в цей період [10]. Європейським Союзом було проведено дослідження у невеликій лісистій місцевості у регіоні Па-де-Кале у Франції, яка зазнала значно менш інтенсивних пожеж, ніж раніше вивчені поля битв Першої світової війни. Однак, під час артилерійських обстрілів відбулися значні фізичні зміни в ландшафті, що отримали назву «бомбтурбація» (англ. – «bombturbation») [8], що, в свою чергу, призвело до розшарування ґрунту у воронках. Воронки призвели до вищих значень органічної речовини та електропровідності, але, на відміну від інших досліджень, не мають істотної різниці в pH ґрунту. Концентрації важких металів у ґрунті не відрізнялися в межах кратерів порівняно з рівнинним ландшафтом. Однак збагачення свинцем (Pb), міддю (Cu) та кадмієм (Cd) спостерігалося вище базових значень для регіону [12]. Незважаючи на те, що середні концентрації Cd та Pb знаходяться в стандартних межах для ґрунтів у Великобританії та Європейському Союзі,

ймовірно, що збагачення Cd та Pb у спостережуваних концентраціях спричинило шкідливий екотоксикологічний вплив і вплив на здоров'я людини [5].

Шкода навколишньому середовищу була не тільки побічним продуктом, але й часто навмисною стратегією війни з часів стародавнього світу. У XX столітті масштаби війни зросли до промислового рівня [6]. Колишні поля битв Першої світової війни являють особливий інтерес через характер цієї війни: «статичний фронт», сформований на Західному фронті [2], який залишався на місці майже весь період бойових дій. Це призвело до надзвичайної концентрації вогню артилерії та стрілецької зброї на західному фронті, з 1,45 мільярдами снарядів, випущених під час Першої світової війни [11].

Бомбтурбація [8, с. 174] є формою руйнування ґрунту, спричиненого використанням вибухових боєприпасів, починаючи від гранат і закінчуючи важкою артилерією. Після цього фізична структура ґрунту може бути суттєво порушена або повністю зруйнована [9]. Таким чином, утворився новий топографічний ландшафт, що призвело до нових гідрологічних умов і умов вивітрювання породи [8].

Антропогенні джерела важких металів у навколишньому середовищі зазвичай включають промислові процеси, сільське господарство, стічні води, гірничодобувні та металургійні процеси. Однак дослідження хімічної спадщини Першої світової війни вже встановили наявність металевих забруднювачів, таких як мідь, кадмій, свинець, миш'як і цинк, з боєприпасів на багатьох театрах конфлікту [1, с. 660]. В результаті інтенсивних боїв відкладення куль, осколків і порохових гільз спричинило забруднення ґрунту важкими металами [7], оскільки вони в основному складалися зі свинцю (Pb), міді (Cu), цинку (Zn) і сталі [14, с. 112].

Ці дослідження були частиною детального аналіз вмісту важких металів (ВМ) у сільськогосподарських ґрунтах Європейського Союзу [4]. Аналіз охопив основні потенційно токсичні елементи, а саме As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn, Sb, Co та Ni. Вміст важких металів у ґрунті оцінювали за специфічними для елементів пороговими значеннями забруднення та потреб у рекультивації. Даючи нове розуміння рівня забруднення ґрунту ВМ і підкреслюючи необхідність активізації моніторингу або вжиття заходів з відновлення для усунення ризиків для здоров'я людини в конкретних регіонах, дослідження не охоплює такі аспекти, як біодоступність елементів різними видами рослин або потенційний диференційований вплив елементарного видоутворення на екологічні умови чи здоров'я людини [13].

Кількість забруднених ділянок у Європейському Союзі та території, що постраждала від різних видів забруднення, з яких рекультивація коштуватиме €17,3 млрд щорічно [3, с. 4] підкреслює масштаби проблеми на континенті. Окрім забруднення ґрунту, яке може призвести до погіршення якості води та низки негативних впливів на навколишнє середовище, поширення важких металів по всьому харчовому ланцюгу має серйозні наслідки для здоров'я людини [13]. Незважаючи на критичність забруднення важкими металами, досі не було достатньо даних, щоб забезпечити надійне уявлення про реальні масштаби проблеми в Європі та в усьому світі.

В Україні сьогодні, в реаліях війни, проводити дослідження ґрунтів можливо лише на звільнених територіях, та, зважаючи на наявність невиявлених вибухонебезпечних елементів (міни, нерозірвані боєприпаси), вони не можуть бути проведені у повному обсязі, з дослідженням ущільнення поверхні, чи отримання даних з воронок від снарядів, хоча після визволення сільськогосподарських угідь такі дослідження потрібно провести якомога швидше для подальшої рекультивації та відновлення екологічно чистого середовища. Однак перші кроки було зроблено, здійснивши дослідження проб ґрунту, отриманих з визволених територій у Київській області та, для порівняння, проб ґрунту з Львівської області.

Як видно із Таблиць 1–3, проведено лабораторні дослідження та отримано дані про pH, наявність нітратів та хімічний склад ґрунтів з наголосом на вміст важких металів та нафтопродукти.

Таблиця 1

Місце відбору, прив'язка до місцевості	Площа земельної ділянки, м²	Глибина відбору, м	Назва	Одиниці вимірювання	Результат вимірювання	ГДК
18.07.2024р Львівська обл, Стрийський р-н, розвід. Сверд. № 703 «Більче-Волицьке» На схід від с. П'ятничани; 30м на пдсх від бурової 49°21'55.1''N 23°58'40.1''E	35	0,05–0,2	pH (водна витяжка)	Од. pH	7,70	–
			Амоній (обмінний) у перерахунку на азот амонійний $N(NH_4^+)$	мг/кг	2,8	–
			Нітрати NO_3 (алюмокалієва витяжка)		17,0	130,0
			Сульфати (водна витяжка)		157,2	160,0
			Фосфати		20,2	–
			Залізо (рухома форма)		262,0	–
			Кальцій		1,62	–
			Нафтопродукти		169,2	1000
			Кадмій		0,4	1,5
			Свинець		16	32,0
			Манган		1054	1500

* ГДК – Гранично допустима концентрація

Таблиця 2

Місце відбору, прив'язка до місцевості	Площа земельної ділянки, м²	Глибина відбору, м	Назва	Позначення одиниці вимірювання	Результат вимірювання	ГДК
10.09.2024р Київська обл., Вишгород-ський р-н, с. Іванків	35	0,05–0,2	pH (водна витяжка)	Од. pH	8,2	–
			Загальна твердість	моль/дм³	5,1	–
			Вологість	%	43	–
			Амоній (обмінний) у перерахунку на Азот амонійний $N(NH_4^+)$	мг/кг	10,1	–
			Нітрати	мг/дм³	170,2	130,0
			Сульфати (водна витяжка)	мг/дм³	75,0	160,0
			Фосфати	мг/кг	31,6	–
			Залізо	мг/кг	65,4	–
			Калій	мг/дм³	50,1	–
			Нафтопродукти	мг/кг	667,0	500,0
			Кадмій	мг/кг	1,4	1,5
			Свинець	мг/кг	29,0	32,0
			Манган	мг/кг	1470	1500

Таблиця 3

Місце відбору, прив'язка до місцевості	Площа земельної ділянки, м²	Глибина відбору, м	Назва	Одиниці вимірювання	Результат вимірювання	ГДК
25.09.2024 р Київська обл., Бучанський р-н, с. Ворзель, вул. Лісова, 80;	20	0,05–0,2	pH (водна витяжка)	Од. pH	7,2	–
			Загальна твердість	моль/дм³	6,1	–
			Вологість	%	46	–
			Амоній (обмінний) у перерахунку на Азот амонійний $N(NH_4^+)$	мг/кг	10,1	–
			Нітрати	мг/дм³	164,2	130,0
			Хлориди (водна витяжка)	мг/дм³	70,5	–
			Сульфати (водна витяжка)	мг/дм³	86,0	160,0
			Фосфати	мг/кг	31,2	–
			Залізо	мг/кг	262,4	–
			Калій	мг/дм³	67,1	–
			Нафтопродукти	мг/кг	545,2	500,0
			Кадмій	мг/кг	1,6	1,5
			Свинець	мг/кг	27,0	32,0
			Манган	мг/кг	1520	1500

Висновки

У результаті проведених досліджень було виявлено, що ґрунти на територіях, де велися активні бойові дії, зазнали суттєвих забруднень, зокрема нафтопродуктами, мають підвищений вміст нітратів, заліза та важких металів. Зокрема, у с. Іванків Вишгородського району Київської області відмічено значне перевищення вмісту нітратів та нафтопродуктів у ґрунті; у с. Ворзель Бучанського району Київської області – перевищення рівня нітратів, нафтопродуктів, кадмію та мангану. Ці землі потребують очищення та довготривалої рекультивації.

На інших досліджених земельних ділянках суттєвого забруднення ґрунтів, що перевищують рівень ГДК, не виявлено, однак як тільки звільнені території будуть очищені від вибухонебезпечних матеріалів, вони вимагатимуть негайного докладного дослідження, спираючись на досвід Європейського Союзу.

Список використаної літератури

1. Baba A., Deniz O. Effect of warfare waste on soil: A case study of Gallipoli peninsula (Turkey). *International Journal of Environment and Pollution*, 22. 2004. P. 657–675. https://doi.org/10.1504/IJEP.2004.006056
2. Boff J. Fighting the First World War: Stalemate and attrition. *British Library*. 2018. URL: https://www.bl
3. Commission of the European Communities (CEC). Thematic Strategy for Soil Protection. Brussels: CEC, 2006. 12 p.
4. Certini G., Scalenghe R., Woods W.. The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*, 127. 2013. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.earscirev.2013.08.009
5. European Food Safety Authority (EFSA). Lead dietary exposure in the European population. Scientific report of EFSA. *The EFSA Journal*, 10 (7). 2012. P. 2831. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2831

6. Francis R., Krishnamurthy K. Human conflict and ecosystem services: Finding the environmental price of warfare. *International Affairs*, 90(4). 2014. P. 853–869. DOI:10.1111/1468-2346.12144

7. Hasnine T., Huda E., Khatun R., Saadat A. Heavy metal contamination in agricultural soil at DEPZA, Bangladesh. *Environment and Ecology Research*, 5(7). 2017. P. 510–516. DOI:10.13189/eer.2017.050707

8. Hupy J., Koehler T. Modern warfare as a significant form of zoogeomorphic disturbance upon the landscape. *Geomorphology*, 2012. P. 157–158, 169–182. DOI:10.1016/j.geomorph.2011.05.024

9. Hupy J. P., Schaetzl R. J. Introducing "bombturbation", a singular type of soil disturbance and mixing. *Soil Science*, 171. 2006. P. 823–836. DOI:10.1097/01.ss.0000228053.08087.19

10. Lado L.R., Hengl T., Reuter H.I. Heavy metals in European soils: a geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*, 148. 2008, P.189–199. DOI:10.1016/J.GEODERMA.2008.09.020

11. Prentiss A. M. Chemicals in war. London: McGraw-Hill publishing co. ltd, 1937. XVIII+739 p.

12. Souvent P., Pirc S. Pollution caused by metallic fragments introduced into soils because of World War I activities. *Environmental Geology*, 40(3). 2001. P. 317–323. DOI:10.1007/s002540000156

13. Tóth G., Hermann T., Da Silva M.R., Montanarella L. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*, Volume 88. 2016. P. 299–309. https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.017

14. Watson A. Ring of steel: Germany and Austria-Hungary at war, 1914–1918. England, London: Penguin Books Ltd, 2015. 608 p.

15. World Health Organisation. 10 chemicals of public health concern. World Health Organisation, 2020. URL: https://www.who.int/news-room/photo-story/detail/10-chemicals-of-public-health-concern

References

1. Baba, A., & Deniz, O. (2004). Effect of warfare waste on soil: A case study of Gallipoli peninsula (Turkey). *International Journal of Environment and Pollution*, 22, 657–675. https://doi.org/10.1504/IJEP.2004.006056

2. Boff, J. (2018). Fighting the First World War: Stalemate and attrition, *British Library*. [online] Available at: https://www.bl

3. Commission of the European Communities (CEC) (2006). Thematic Strategy for Soil Protection. Brussels: CEC.

4. Certini, G., Scalenghe, R., & Woods, W. (2013). The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*, 127, 1–15. DOI: 10.1016/j.earscirev.2013.08.009

5. European Food Safety Authority (EFSA). (2012). Lead dietary exposure in the European population. Scientific report of EFSA. *The EFSA Journal*, 10 (7). p. 2831. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2831

6. Francis, R., & Krishnamurthy, K. (2014). Human conflict and ecosystem services: Finding the environmental price of warfare. *International Affairs*, 90(4), 853–869. DOI:10.1111/1468-2346.12144

7. Hasnine, T., Huda, E., Khatun, R., & Saadat, A. (2017). Heavy metal contamination in agricultural soil at DEPZA, Bangladesh. *Environment and Ecology Research*, 5(7), 510–516. DOI:10.13189/eer.2017.050707

8. Hupy, J., & Koehler, T. (2012). Modern warfare as a significant form of zoogeomorphic disturbance upon the landscape. *Geomorphology*, 157–158, 169–182. DOI:10.1016/j.geomorph.2011.05.024

9. Hupy, J. P., & Schaetzl, R. J. (2006). Introducing "bombturbation", a singular type of soil disturbance and mixing. *Soil Science*, 171, 823–836. DOI:10.1097/01.ss.0000228053.08087.19

10. Lado, L. R., Hengl T., & Reuter H. I. (2008). Heavy metals in European soils: a geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*, 148. pp.189-199. DOI:10.1016/J.GEODERMA.2008.09.020

11. Prentiss, A. M. (1937). *Chemicals in war*. London: McGraw-Hill publishing co., ltd. Pp. XVIII+739.

12. Souvent, P., & Pirc, S. (2001). Pollution caused by metallic fragments introduced into soils because of World War I activities. *Environmental Geology*, 40(3), 317–323. DOI: 10.1007/s002540000156

13. Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M. R., Montanarella, L. (2016). Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*, Volume 88. 299–309. https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.017

14. Watson, A. (2015). Ring of steel: Germany and Austria-Hungary at war, 1914–1918. England, London : Penguin Books Ltd. 608 p.

15. World Health Organisation. (2020). 10 chemicals of public health concern. World Health Organisation. Available at: https://www.who.int/news-room/photo-story/detail/10-chemicals-of-public-health-concern

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.09.2025
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 23.10.2025
Дата публікації: 28.11.2025