
ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ

УДК 574.64:504.064

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.14>

ОЦІНКА МІЛІТАРНОГО ВПЛИВУ НА ҐРУНТИ М. ЧУГУЇВ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Крайнюков О.М.¹, Кривицька І.А.¹, Найдюнова О.Є.^{1,2}, Філатов В.М.¹, Матісько Б.Ю.¹

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
майд. Свободи, 4, 61022, м. Харків

²Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»
вул. Чайковська, 4, 61024, м. Харків
alkraynukov@gmail.com, oksana_naydyonova@ukr.net

Частота та інтенсивність бойових дій (війни, військові навчання та стрільбища) у всьому світі спричиняє забруднення ґрунту металами, металоїдами, вибухівкою, радіонуклідами та різними іншими токсичними хімічними сполуками. Наведені у роботі результати біологічного моніторингу території м. Чугуїв, яка забруднена вибухівкою та її похідними внаслідок озброєної агресії РФ, є обов'язковим елементом стратегії визначення шкоди (збитків), які було спричинено Україні. В лабораторії еколого-токсикологічних досліджень ННІ екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна було проведено серію експериментів по визначенню фітотоксичних властивостей ґрунтів з 6 моніторингових площадок, які зазнали мілітарного впливу. В якості тест-об'єкту використовували овес *Avena sativa* L. Відбір зразків ґрунту з моніторингових площадок було проведено у серпні 2024 року у різних локаціях м. Чугуїв Харківської області, яке постійно потерпає від обстрілів. За результатами проведених експериментальних досліджень було отримано наступні результати: на всіх моніторингових площадках було визначено токсичні властивості ґрунтів, а саме на чотирьох моніторингових площадках: 1, 2, 3, 6 – рівень забрудненості ґрунтів відповідав III класу (ґрунти помірно забруднені), а двох інших площадках – 4 та 5 рівень дорівнював II класу (ґрунти слабо забруднені). Постійні обстріли практично всієї території м. Чугуїв призводять до погіршення якості ґрунтового покриву і цей процес, на жаль, є довготривалим. Фізико-хімічні методи традиційно застосовуються для аналізу якості ґрунту. Однак цей підхід не повністю відображає токсичні ефекти, які суміші забруднюючих речовин можуть викликати у живих організмах. З цієї причини використання токсикологічних досліджень з використанням різних модельних організмів є важливим інструментом для з'ясування потенційно небезпечного мілітарного впливу на ґрунти. *Ключові слова*: мілітарний вплив, фітотоксичність, ґрунти, забруднення, біотестування, токсичні властивості.

Assessment of military impact on the soils of the city of Chuguiv, Kharkiv region. Krainiukov O., Krivitska I., Naidonova O., Filatov V., Matisko B.

The frequency and intensity of combat operations (wars, military operations and shooting ranges) around the world causes contamination of the soil with metals, metaloids, vibukhovka, radionuclides and various other toxic chemicals. The robot obtained the results of biological monitoring of the territory of the city of Chuguiv, which is contaminated by the vibukhovka and similar inheritances of the outbreak of aggression of the Russian Federation, and the obligatory element of the strategy significant harm (harm) caused to Ukraine. In the laboratory of ecological toxicological research of the National Research Institute of Ecology of the Kharkiv National University named after V. N. Karazin, a series of experiments was carried out to determine the phytotoxic properties of soils from 6 monitoring sites that recognized the military influx. In the core of the test object, oats *Avena sativa* L. were collected. The selection of sample soil from the monitoring sites was carried out at the sickle 2024 at various locations in the city of Chuguiv, Kharkiv region, such as is constantly suffering from shelling. The results of the experimental investigations were followed by the following results: at all monitoring sites the toxic power of soils was identified, and at four monitoring sites: 1, 2, 3, 6 – a level of obstruction. The soils are classified as class III (the soils are moderately contaminated), and the other two sites – 4 and 5 are classified as class II (the soils are slightly contaminated). Continuous shelling of almost all territories of the city of Chuguiv is carried out until the core of the ground cover is destroyed and this process, unfortunately, is completed. Physico-chemical methods are traditionally used to analyze soil bones. However, this approach does not produce the toxic effects that polluting substances can produce in living organisms. For these reasons, toxicological studies of various model organisms are an important tool for addressing the potentially dangerous militaristic influx on earth. *Key words*: militarized influx, phytotoxicity, soils, contamination, biotesting, toxic power.

Постановка проблеми. Хімічні речовини та суміші (зокрема елементи та сполуки, що не піддаються біологічному розкладанню), які використовуються у військових діях та вибухових речовинах, можуть забруднювати ґрунт і поверхневі водні об'єкти, що згодом може спричинити шкідливий вплив на здоров'я людини та навколишнє природне середовище [1, 2]. Як наслідок, зони військових дій

з інтенсивними конфліктами, військові полігони, стрільбища, а також місця виробництва/утилізації вибухових речовин і боєприпасів вважаються одними з основних джерел забруднення ґрунтів [3]. Такі приклади забруднення включають великий перелік органічних і неорганічних речовин у ґрунті та воді, які можуть становити значну небезпеку для здоров'я людини, а також для навколишнього сере-

довища. Наприклад, після потрапляння в навколишнє середовище, більшість потенційно токсичних елементів (ПТЕ) у боєприпасах окислюються під впливом повітря, особливо у вологому середовищі. Через їх підвищену розчинність вони можуть стати більш мобільними/доступними. Потенційний вплив на людину може призвести до несприятливих наслідків, включаючи пошкодження життєво важливих органів, таких як печінка та нирки, патології еритроцитів і подразнення епітеліальних тканин [3]. Протягом десятиліть великі території, що належали військовим об'єктам, залишалися значною мірою забрудненими токсичними сполуками, головним чином вибуховими речовинами та боєприпасами (та їх залишками), що містять шкідливі речовини, які можуть включати сурму (Sb), свинець (Pb), уран (U), 2, 4-динітротолуол (ДНТ), 2, 4, 6-тринітротолуол (тротил), 1, 3, 5-тринітро-1,3,5-тріазациклогексан [4]. Переважна більшість цих сполук є стійкими до біологічного розкладання або обробки і, таким чином, залишаються в біосфері, стаючи джерелом забруднення, потенційно шкідливим для здоров'я людини та навколишнього природного середовища через їх можливий токсичний ефект [5].

Актуальність дослідження. Використання вогнепальної зброї під час війни, у військовій діяльності та в рекреаційних цілях, таких як спорт і полювання, спричинило значний негативний вплив на навколишнє природне середовище. Військові дії, такі як бойові стрільби, навчання, утилізація відходів і технічне обслуговування військової інфраструктури, завдають величезної шкоди ґрунту, воді та повітрю [6]. Вплив небезпечних хімічних речовин пов'язують із такими захворюваннями, як рак, метаболічні, неврологічні, системні розлади здоров'я, пошкодження нирок та інші небезпеки для здоров'я [7]. Хімічні речовини вибухових предметів викликають глибокі зміни в тканинах рослин, включаючи стресові реакції та пригнічення життєдіяльності. Деякі сполуки вибухівки, такі як нітрогліцерин (NG) і циклоніт (RDX), можуть проникати в листя рослин і викликати серйозні шкідливі наслідки в тканинах, погіршуючи газообмін і фотосинтез. У той же час тринітротолуол (тротил) може накопичуватися у коренях, що завдає значної фізичної шкоди та порушує водообмін та фотосинтетичну діяльність [8].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Ґрунт є невідновлюваним ресурсом, і потреба запобігати його деградації стає дедалі гострішою з кожним днем. Європейська комісія включила охорону ґрунтів до числа пріоритетів 6-ї Програми дій з охорони навколишнього середовища, розробивши тематичну стратегію ґрунту (STS) у 2002 році (Комісія Європейських співтовариств, 2002) та пропозицію щодо основи захисту ґрунту в 2006 (Комісія Європейських Співтовариств, 2006).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ґрунт несе на собі основний тягар збройних конфліктів, зазнає найбільшого забруднення, тривалий час зберігає наслідки військових дій. Таким чином, оцінка ступеня руйнування та забруднення ґрунту дозволяє оцінити екологічні ризики, майбутні несприятливі наслідки для наземних екосистем та втрату екосистемних послуг [9]. Дослідники в першу чергу зосереджуються на механічному руйнуванні ґрунтового покриву, зміні фізико-хімічних властивостей ґрунтів після військових дій, забрудненні токсикантами (важкими металами, органічними сполуками тощо) та їх міграції, а також на визначенні потенційних негативних впливів на ґрунти [10].

Одним із найпоширеніших небезпечних наслідків під час збройних конфліктів і спричинених застосуванням зброї є хімічне забруднення ґрунту [11]. Зокрема, під час бойових дій у ґрунт потрапляє цілий ряд токсичних сполук, що містяться в боєприпасах різного калібру, продуктах ураження та горіння важкої техніки. Поведінка більшості цих сполук у ґрунтах недостатньо досліджена, а встановлені нормативні межі їх концентрацій у ґрунтах відсутні [12]. Тим часом все більше результатів досліджень підтверджують, що потенційні джерела викидів різних потенційно токсичних речовин у природне середовище пов'язані з військовою діяльністю та забрудненням важкими металами та визначають шляхи їх міграції та пов'язані з цим ризики для здоров'я людини та біоти [13-15].

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Військові дії включають артилерійські обстріли та використання важкої техніки, що серйозно впливає на екологічний стан ґрунтів. Ґрунти є ключовим ресурсом для аграрної економіки України, відтак їхній стан впливає на продовольчу безпеку та економічну стабільність. Попередні дослідження вже висвітлили екологічні наслідки війни для ґрунтів інших регіонів України, однак вплив воєнних дій на ґрунти Харківщини все ще залишається недостатньо вивченим.

Методика дослідження. У навчально-дослідній лабораторії еколого-токсикологічних досліджень навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна було проведено експериментальні дослідження по визначенню впливу фітотоксичних властивостей ґрунтів на ростові показники коренів та паростків тест-об'єкта *Avena sativa* L. з 6 моніторингових площадок м. Чугуїв Харківської області. Більш детальний опис досліджуваних площадок не наведено з міркувань безпеки, зважаючи на всебічні заходи з додержання військової таємниці.

Для оцінки забруднення ґрунтів використовували показник «ступінь забрудненості ґрунтів» відповідно до визначених рівнів пригнічення ростових процесів, кількісну характеристику цього показника виражали коефіцієнтом забрудненості ґрунтів (K_{3T}),

а коефіцієнт забрудненості ґрунтів диференціювали за рівнями пригнічення ростових процесів [16].

У табл. 1 наведено класифікацію якості ґрунтів за ступенем забрудненості.

Відбір зразків ґрунтів на моніторингових площадках було проведено в серпні 2024 року на території м. Чугуїв, в місцях, які постраждали від артобстрілів. На рисунку 1 наведено територію дослідження та моніторингові площадки на території м. Чугуїв Харківської області.

Виклад основного матеріалу. Метою нашого дослідження було встановлення можливого негативного впливу забруднення токсичними речовинами, внаслідок мілітарного впливу від бойових дій на стан ґрунтового покриву території у межах м. Чугуїв Харківської області за допомогою методу біотестування.

Як видно з отриманих у серпні 2024 року експериментальних даних з моніторингових площадок на території дослідження на чотирьох моніторингових площадках: 1, 2, 3, 6 – рівень забрудненості ґрунтів відповідав III класу (ґрунти помірно забруднені), а двох інших площадках – 4 та 5 дорівнював II класу (ґрунти слабо забруднені) (рис. 2). Постійні обстріли практично всієї території м. Чугуїв призводять до погіршення якості ґрунтового покриву і цей процес, на жаль, є довготривалим.

Головні висновки. Мілітарний вплив може призвести до довгострокових екологічних проблем через постійне накопичення в ґрунті потенційно токсичних речовин. Це накопичення може зменшити міллілітність, а також кількість ґрунтових організмів, які відіграють істотну роль у процесах мінералізації та

Таблиця 1

Класифікація якості ґрунтів за ступенем забрудненості

Клас якості ґрунтів	Рівень забрудненості ґрунтів	Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект), %	Ступінь забрудненості ґрунтів, $K_{зг}$
I	Незабруднені	0–20	1,1
II	Слабко забруднені	20,1–40	1,2
III	Помірно забруднені	40,1–60	1,3
IV	Брудні	60,1–80	1,4
V	Дуже брудні	80,1–100	1,5

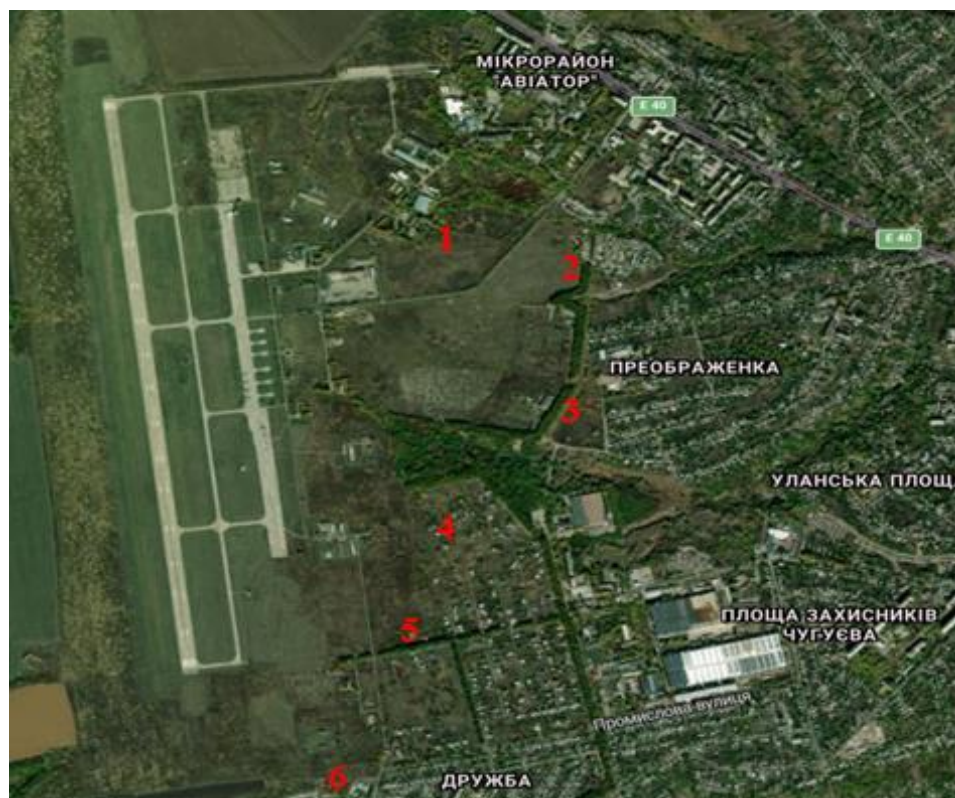


Рис. 1. Розташування моніторингових площадок на території дослідження

1–6 – моніторингові площадки

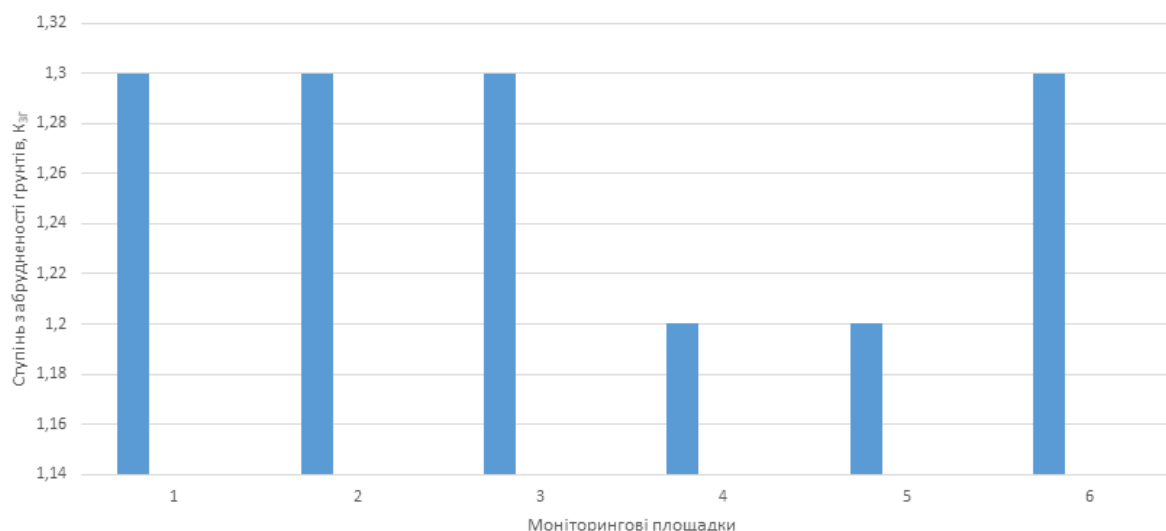


Рис. 2. Результати визначення фітотоксичних властивостей ґрунтів на моніторингових площадках у межах м. Чугуїв Харківської області, які були відібрані у серпні 2024 року

гуміфікації органічного вуглецю разом із формуванням рослинного покриву. Крім того, забруднювачі можуть переноситися в інші частини екосистеми через стік (досягаючи поверхневих або ґрунтових вод) і мігрувати вниз до профілю ґрунту.

Зважаючи на те, що тротил, як компонент вибухових пристроїв і різноманітний набір токсичних речовин, які можуть потрапляти у навколишнє природне середовище при інтенсивних обстрілах через певний час можуть становити серйозну загрозу для здоров'я людини та біотичної складової довкілля, необхідно проводити подальші моніторингові дослідження із визначення рівня забрудненості ґрунтового покриву та розробляти засоби щодо видалення цих забруднювачів з навколишнього середовища.

Перспективи використання результатів дослідження.

1. Отримані результати свідчать про наявність можливого токсикогенного ефекту після мілітарного впливу, який може викликати непередбачувані

зміни в структурі та функціях ґрунтового покриву. Подальші дослідження цих процесів мають вирішальне значення для глибшого розуміння їхнього впливу та потенційних наслідків для навколишнього природного середовища.

2. Повторні експериментальні дослідження та проведення моніторингових спостережень у м. Чугуїв одразу після закінчення активних бойових дій зможе надати змогу визначити рівень забрудненості ґрунтового покриву та надати можливість оцінити шкоду (збиток), який було спричинено довкіллю. Остаточну відповідь на питання щодо токсичності ґрунтів для біологічних об'єктів у випадку їх полікомпонентного забруднення можуть дати тільки біологічні методи дослідження стану ґрунтового покриву, адже експертним шляхом дуже важко врахувати і токсичність окремих забруднюючих речовин, і їхню поведінку в ґрунті, і буферні властивості останнього, не говорячи вже про можливість синергізму чи антагонізму хімічних елементів.

Література

- Lima, D., Bezerra, M., Neves, E., Moreira, F. Impact of ammunition and military explosives on human health and the environment. *Rev. Environ. Health*, 2011, 26, 101–110. <https://doi.org/10.1515/reveh.2011.014>
- Poesen, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs: Soil erosion in the Anthropocene. *Earth Surf. Process. Landforms*, 2017, 43, 64–84. <https://doi.org/10.1002/esp.4250>
- Gorecki, S., Nesslany, F., Hube, D., Mullot, J., Vasseur, P., Marchioni, E., Camel, V., Noël, L., Le, B.B., Guérin, T. Human health risks related to the consumption of foodstuffs of plant and animal origin produced on a site polluted by chemical munitions of the First World War. *Sci. Total Environ.* 2017, 599–600, 314–323. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.213>
- Tomic, N.T.; Smiljanic, S.; Jovic, M.; Gligoric, M.; Povrenovic, D.; Dasic, A. 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.* 2018, 229, 301. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3957-0>
- Fayiga, A.O. Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges. *Environ. Chem.* 2019, 16, 81–91. <https://doi.org/10.1071/EN18196>
- Edwards A. Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems, *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38, 225-231. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(02\)01150-0](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(02)01150-0)

7. Black O., Smith S. C., Roper C. Advances and limitations in the determination and assessment of gunshot residue in the environment, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 208, 111689. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111689>
8. Sanderson P., Naidu R., Bolan N. Ecotoxicity of chemically stabilised metal(loid)s in shooting range soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2014, 100, 201-208, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.11.003>
9. Zheng, F., Xiao, C., Feng, Z. Impact of Armed Conflict on Land Use and Land Cover Changes in Global Border Areas. *Land Degrad. Dev.* 2023, 34, 873–884. <https://doi.org/10.1002/ldr.4502>
10. Symochko, L., Pereira, P., Demyanyuk, O., Coelho Pinheiro M.N., Barcelo, D. Resistome in a Changing Environment: Hotspots and Vectors of Spreading with a Focus on the Russian-Ukrainian War. *Heliyon*. 2024, 10, e32716. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32716>
11. Harada, K.H., Soleman, S.R., Ang, J.S.M., Trzcinski, A.P. Conflict-Related Environmental Damages on Health: Lessons Learned from the Past Wars and Ongoing Russian Invasion of Ukraine. *Environ. Health Prev. Med.* 2022, 27, 35. <https://doi.org/10.1265/ehpm.22-00122>
12. Baliuk, S.A., Kucher, A.V., Solokha, M.O., Solovei, V.B., Smirnova, K.B., Momot, H.F., Levin, A.Y. *Impact of Armed Aggression and Hostilities on the Current State of the Soil Cover, Assessment of Damage and Losses, Restoration Measures: Scientific Report*; Brovin: Kharkiv, Ukraine, 2022; 102 p.
13. Крайнюков О. М., Кривицька І. А., Найдьонова О. Є. Проненко М.О. Використання різних біотестів для встановлення токсикологічних властивостей компонентів довкілля. Scientific multidisciplinary monograph. «*Science and innovation in the modern world*», 2024, с. 214-218.
14. Крайнюков, О., Кривицька, І., & Найдьонова, О. Еколого-токсикологічна оцінка якості ґрунтів території Харківського району Харківської області. Український журнал природничих наук, 2024 7. 25-32. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024>
15. Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*. 2024, 13(10), 1614. <https://doi.org/10.3390/land13101614>
16. Кривицька І. А. Діагностика та моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами в урбанізованих ландшафтах Приазов'я : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.18. Харків, 2020. 187 с.