

THE WAR IN UKRAINE: THE PROBLEM OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF AGRICULTURAL LAND AND PRODUCTS

Hulich M.P., Kharchenko O.O., Yemchenko N.L.,
Olshevska O.D., Lyubarska L.S.

ВІЙНА В УКРАЇНІ: ПРОБЛЕМА ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ СІЛЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ТА ПРОДУКЦІЇ [АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ]

У

ГУЛІЧ М.П.,
ХАРЧЕНКО О.О.,
ЄМЧЕНКО Н.Л.,
ОЛЬШЕВСЬКА О.Д.,
ЛЮБАРСЬКА Л.С.

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України», Київ

центрі Європи, у цивілізованому світі триває повномасштабна збройна агресія росії проти України, яка є найбільш руйнівною та кривавою загарбницькою війною в Європі з часів Другої світової війни [1]. Военні дії такого масштабу викликали не тільки надзвичайну гуманітарну кризу, але й, на думку світової наукової екологічної спільноти, масштабну екосистемну катастрофу та тривалу деграда-

цію довкілля, наслідки якої доведеться долати роками після перемоги [2-4]. Забруднене внаслідок війни навколишнє середовище є потенційним джерелом емісії шкідливих речовин у продовольчу сировину, що створює значну загрозу забруднення харчових продуктів на великих територіях, що постраждали від війни. Це несе непередбачені ризики для здоров'я населення, а також для еконо-

ВІЙНА В УКРАЇНІ: ПРОБЛЕМА ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ СІЛЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ТА ПРОДУКЦІЇ

Гуліч М.П., Харченко О.О.,
Петренко О.Д., Ємченко Н.Л.,
Ольшевська О.Д., Любарська Л.С.
ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України», Київ, Україна

В умовах війни росії проти України, яка є найбільш руйнівною та кривавою загарбницькою війною в Європі з часів Другої світової війни, виникли надзвичайна гуманітарна криза та масштабна екосистемна катастрофа. Забруднене внаслідок війни навколишнє середовище – це потенційне джерело емісії шкідливих речовин із ґрунту у продовольчу сировину, що створює значну загрозу забруднення харчових продуктів на великих територіях, що постраждали від війни. Ця робота присвячена розгляду наукових літературних джерел та інформаційних баз документів ООН, ФАО, ВООЗ і Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України.

Мета роботи: провести аналіз наукових даних щодо забруднення сільськогосподарських ґрунтів та можливого забруднення рослинної сировини і харчових продуктів в умовах загарбницької війни росії проти України.

Матеріали та методи: інформаційні, бібліографічні, нормативно-правові. Використано

такі методи: системно-структурний, формально-логічний, бібліографічний та метод неформалізованого (традиційного) аналізу.

Основні результати. Проведено аналіз наукових даних щодо забруднення ґрунтів сільськогосподарських угідь внаслідок бойових дій. Розглянуто роль важких металів у забрудненні орних земель. Виявлено, що бойові дії призводять до забруднення ґрунту важкими металами: свинцем, міддю, кадмієм, хромом, нікелем, цинком. При цьому свинець, хром і мідь є домінуючими забруднювачами. Висвітлено питання загрози забруднення харчових продуктів важкими металами і, враховуючи їхню токсичність, негативного впливу на здоров'я населення.

Висновки. Накопичення важких металів у ґрунтах районів активних бойових дій свідчить про ймовірність негативної дії на сільське господарство шляхом забруднення сільськогосподарських ґрунтів та рослинництва, а згодом і впливом на людей через харчовий ланцюг. Високу актуальність набуває розробка ризикорієнтованого підходу до вивчення впливу на здоров'я населення забруднених токсичними речовинами харчових продуктів, отриманих на забруднених внаслідок воєнних дій територіях.

Ключові слова: війна, бойові дії, важкі метали, забруднення довкілля, ґрунти сільськогосподарських угідь, безпека харчових продуктів, здоров'я населення.

© Гуліч М.П., Харченко О.О., Ємченко Н.Л., Ольшевська О.Д., Любарська Л.С. СТАТТЯ, 2024.

мічної та продовольчої безпеки держави [5, 6]. Саме безпека харчових продуктів є одним з вирішальних факторів продовольчої безпеки кожної держави, визначається її здатністю ефективно контролювати безпечність сировинної бази та виробництво безпечних харчових продуктів. Нині ця сфера діяльності в Україні має гуманітарний, соціальний, економічний, політичний аспекти та гарантує продовольчу безпеку нашої держави і як експортера, що впливає на продовольчу безпеку світу [7-10]. Відомо, що Україна як велика аграрна країна, значну частину економіки якої складає виробництво сільськогосподарської продукції, експортує шість основних видів рослинної продукції: кукурудзу, насіння соняшника, пшеницю, ріпак, ячмінь і шрот. Багато країн світу імпортують цю продукцію. Єгипет, Ефіопія, Ємен, Ліван, Палестина та Ізраїль є основними імпортерами пшениці з України [11-13]. Наразі екологи вважають, що жорсткі умови війни, в яких перебуває Україна, несуть загрозу всьому живому, здоров'ю і життю населення України та продовольчій безпеці країн-імпортерів зернової продукції [14-16].

Мета роботи. Провести аналіз наукових даних щодо забруднення ґрунтів сільськогосподарських угідь і можливого забруднення рослинної сировини та харчових продуктів в умовах загарбницької війни росії проти України.

Матеріали та методи: інформаційні бази документів ООН, ФАО, ВООЗ, літературні джерела. Використано інформаційно-пошуковий метод та метод теоретичного аналізу. Аналіз здійснено за допомогою системно-структурного, формальнологічного, бібліографічного методів та методу неформалізованого (традиційного) аналізу. Для відбору інформаційних джерел



ГІГІЕНА ВОЄННОГО ЧАСУ

використовувалися такі бази та системи пошуку даних: офіційні сайти ООН [https://www.un.org/ru/], ВООЗ [https://www.who.int/], [https://www.fao.org/faostat/en/], ЄС [https://europeanunion.europa.eu/], Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [https://mep.gov.ua/diyalnist/], Міністерства аграрної політики і продовольства України [http://www.minagro.kiev.ua/], Міністерства охорони здоров'я України [https://moz.gov.ua/], Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського [http://nbuv.gov.ua/]; бази даних Web of Science, Scopus, Google Scholar. За результатами пошуку відібрано та опрацьовано 28 інформаційних джерел.

Результати та їх обговорення. Моніторинг наслідків війни в Україні, проведений 2022 року за Програмою ООН з навколишнього середовища (UNEP), засвідчує, що вже на той час забруднення довкілля внаслідок війни являло собою токсичну спадщину для майбутніх поколінь [17].

Швейцарською неурядовою організацією Zop Environment Network розроблено карту забруднення довкілля внаслідок активних бойових дій в Україні, яка представлена на рисунку [18].

Найбільш помітним впливом загарбницької війни росії проти України є знищення сільськогосподарських угідь, іригаційних систем та сільськогосподарської інфраструктури. До широкомасштабного вторгнення 70,5% загальної площі країни займали сільськогоспо-

дарські угіддя, які є найбільш цінним ресурсом держави і забезпечують найголовніші потреби суспільства [19]. Наразі війна зробила непридатними для використання 5 млн. гектарів земель в Україні [20]. Внаслідок бойових дій існує значне механічне пошкодження наших полів та довгострокове хімічне і біологічне забруднення родючих ґрунтів [21, 22].

Згідно з численними дослідженнями війна завжди пов'язана зі значним забрудненням довкілля важкими металами внаслідок руйнування побудованої інфраструктури з подальшим безпосереднім викидом важких металів і прямого забруднення ними від боеприпасів, що вибухнули, а також витоку від боеприпасів, що не розірвалися [23-26]. Аналіз даних моніторингу показує, що активні бойові дії призводять до забруднення ґрунту такими металами, як свинець, мідь, кадмій, хром, нікель, цинк та сурма. При цьому свинець, хром і мідь є домінуючими забруднювачами передусім ґрунту та води [15, 21, 23-25, 27]. Докази високого ступеня забруднення ґрунтів внаслідок військових дій отримано (Moon I. et al., (2021) у дослідженнях на корейському військовому полігоні. Автори стверджують, що всі ґрунти були сильно забруднені свинцем, менше міддю, нікелем, кадмієм, цинком [28].

Аналогічні дані отримано і в Україні. Ще до початку повномасштабного вторгнення (Syta O. et al., 2016) у ході моніторингу наслідків промислового забруднен-

ня докілья визнали свинець, хром і мідь доміантними забруднювачами. При цьому Київська, Чернігівська, Сумська та Житомирська області мали рівень свинцю у ґрунті понад 20 кг/га. Херсонська, Харківська, Луганська, Миколаївська, Запорізька області характеризувалися середнім рівнем свинцю – понад 10 кг/га [29].

За даними (Okerefor U. et al., 2020), у зоні військових операцій у Донецькій та Луганській областях протягом 2016-2020 років у 50 зразках різних ґрунтів виявлено високий вміст свинцю, міді, цинку, хрому, кадмію, молібдену, вольфраму, а також барію, калію, магнію та миш'яку. Автори дійшли висновку, що вищезазначені токсичні елементи, у тому числі важкі метали, характеризують доміантний спектр воєнно-техногенного забруднення і є провідними індикаторами для прогнозування змін екологічного стану територій з забрудненими ґрунтами та суміжних територій [30].

В огляді літератури (Sytar O., Taran N., 2022) представлено ситуацію у різних регіонах України щодо забруднення ґрунтів важкими металами та можливе за-

бруднення ними важливих сільськогосподарських культур. Згідно з аналізом ситуації зроблено припущення щодо ще більшого підвищення рівня свинцю, нікелю, хрому, міді у ґрунтах України. Також спрогнозовано, що у зонах конфлікту посівні площі під основні експортовані рослини (пшениця, кукурудза, ячмінь, ріпак, соняшник) можуть зазнавати додаткового посиленого впливу важких металів. Зокрема, така тенденція передбачена для регіонів України, де військовий конфлікт перебуває в активній фазі [31].

Фахівцями Громадської організації «Центр екологічних ініціатив «Екодія» разом з науковцями ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» на прикладі двох ключових територій – Вільхівської громади Харківської області та Сартанської громади Донецької області (2016-2022) – представлено результати дослідження впливу важких металів на ґрунти у зонах ведення активних бойових дій. Було встановлено, що вміст важких металів у ґрунтах ландшафтів у зонах воєнно-техногенного навантаження перевищує регіональні фонові значення та

становить для свинцю 35-14000 мг/кг, для міді – 35-95 мг/кг (окремі ділянки – 250-330 мг/кг), для нікелю – 84-300 мг/кг [21].

Останніми роками дискусії щодо забруднення важкими металами сільськогосподарських ґрунтів, рослин, тварин, водних організмів та їхніх наслідків посідають центральне місце у науковій літературі та на більшості наукових симпозиумів класифікуються як серйозна проблема для здоров'я людини [30].

Попередні дослідження процесів накопичення важких металів рослинами із ґрунту встановили залежність їх від багатьох факторів, таких як хімічна форма металу, вид та частини рослини і властивості ґрунту [32, 33]. 2020 року польські дослідники також підтвердили, що поглинання свинцю рослинами залежить від властивостей ґрунту, особливостей виду або фізіологічного стану рослини [34].

Встановлено, що сорбція хімічних елементів-забруднювачів ґрунтами регулює транслокацію їх із ґрунту у рослини та накопичення їх рослинами [35, 36]. Рівень накопичення забруднювачів рослинами також залежить від їхніх генетичних і видових особливостей. Загалом біоаккумуляція цих елементів має певну тенденцію, що дає можливість впорядкувати їх у кілька груп:

1 – Cd, Cs, Rb – елементи інтенсивного поглинання;

2 – Zn, Mo, Cu, Ni, Pb, As – середнього ступеня поглинання;

3 – Mn, Cr, Co – слабого поглинання;

4 – Se, Fe, Ba, Te – елементи, важкодоступні для рослин [37].

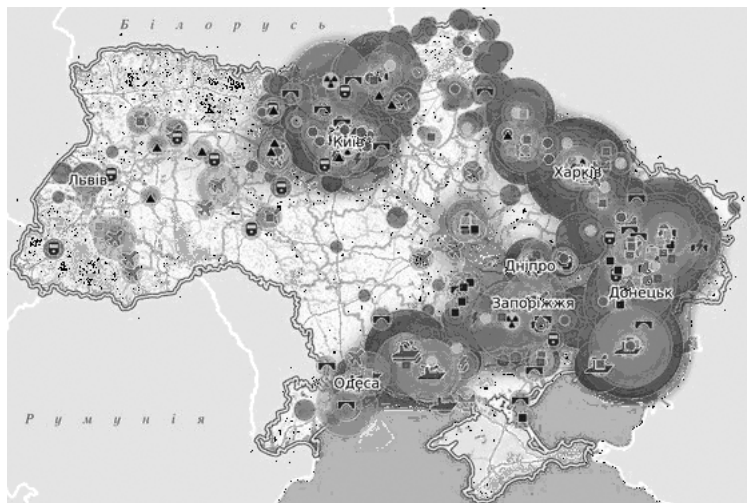
З усіх елементів-забруднювачів лише частково ґрунтозалежним є цинк. Його більше в овочах, ніж у ґрунті, а у фруктах він не виявляє залежності від його вмісту у ґрунті [22, 38].

Відомо, що поряд з видовою специфічністю рослин

Рисунок

Карта шкоди довкіллю, завданої війною в Україні [Zon Environment Network, 2022]

http://odnb.odessa.ua/view_post.php?id=3939



УДК 613.2 : 614.78 : 615.9 : 623 : 633/635
THE WAR IN UKRAINE: THE PROBLEM
OF HEAVY METAL CONTAMINATION
OF AGRICULTURAL LAND AND PRODUCTS
**Hulich M.P., Kharchenko O.O.,
Yemchenko N.L., Olshevska O.D.,
Lyubarska L.S.**

*State Institution «O.M. Marzieiev Institute
for Public Health of the National Academy
of Medical Sciences of Ukraine» Kyiv, Ukraine*
In the context of Russia's war against Ukraine,
which is the most destructive, bloody and ag-
gressive war in Europe since the Second
World War, an extraordinary humanitarian cri-
sis and a large-scale ecosystem disaster have
arisen. The environment polluted by the war is
a potential source of emission of harmful sub-
stances from the soil into food raw materials.
This creates a significant threat of food con-
tamination in large areas affected by the war.
The work is devoted to the review of scientific
literary sources and information bases of doc-
uments of the UN, FAO, the Ministry of Envi-
ronmental Protection and Natural Resources
of Ukraine. The purpose of the work: to con-
duct an analysis of scientific data on the con-
tamination of agricultural soils and the
possibility of contamination of plant raw mate-
rials and food products in the conditions of
Russia's war of aggression against Ukraine.
Materials and methods: informative, biblio-
graphical, normative and legal. System-struc-

tural, formal-logical, bibliographic and infor-
mal [traditional] analysis methods were used.

The main results: the analysis of scientific
data on the contamination of agricultural soils
as a result of hostilities was carried out. The
role of heavy metals in the pollution of plowed
lands is considered. It was determined that
military activity leads to soil contamination
with heavy metals: lead, copper, cadmium,
antimony, chromium, nickel, and zinc. At the
same time, lead, chromium and copper are
the dominant pollutants. The issue of the
threat of contamination of food products with
heavy metals and, taking into account their
toxicity, the negative impact on the health of
the population is highlighted.

Conclusions. The accumulation of heavy
metals in the soils of areas of active hostilities
indicates a negative effect on agriculture in
the range from agricultural soils to crop pro-
duction, and subsequently on people through
the food chain. The development of a risk-ori-
ented approach to the impact on the health of
the population of food products contaminated
with toxic substances, obtained in the territo-
ries contaminated as a result of military ac-
tions, is becoming highly relevant.

Keywords: military operations, heavy
metals, environmental pollution,
agricultural soils, food safety, public
health.

щодо накопичення важких металів існують загальні закономірності [39]. Так, серед сільськогосподарських культур найвищий вміст важких металів виявлено у листових овочах і силосних культурах, найменший – у бобових, злакових і технічних культурах [32, 40].

Встановлено, що накопичення важких металів у репродуктивних органах рослин має специфічний вплив на їхню продуктивність, погіршуючи родючість і якість. Зрозуміло, що харчовим ланцюгом це суттєво може впливати на здоров'я населення [41].

Важкі метали та їхні сполуки є надзвичайно токсичними, навіть у незначних концентраціях, і мають властивість накопичуватись в організмі та негативно впливати на здоров'я населення [42]. Усе це може мати незворотні наслідки. Відомо, що період видалення їх із ґрунту дуже довгий. Наприклад, для

кадмію та свинцю він стано-
вить близько 740-5900 років [43, 44].

В окремих роботах автори навіть вважають, що за ступенем небезпечності для населення в усьому світі важкі метали посідають друге місце серед забруднювачів. Передбачається, що вони можуть стати найнебезпечнішими, можливо, перевершуючи тверді та ядерні відходи [45].

Тому важкі метали у ґрунті на постраждалих від війни великих територіях України є джерелом емісії їх у рослини, створюючи значну загрозу забруднення сільськогосподарської рослинної сировини.

Вперше оцінку ризику для здоров'я населення на основі аналізу стану ґрунтів, забруднених важкими металами на територіях Донецької і Луганської областей, надали фахівці Національного університету цивільного захисту України. Вони визначили цей ризик як «дуже великий

вплив на здоров'я населення» і «великий вплив, важкі гострі ефекти для здоров'я населення» [36]. За даними літератури, очікуваними наслідками для здоров'я населення через надходження таких забруднювачів з харчовими продуктами є зростання онкологічної захворюваності, захворювань шлунково-кишкового тракту, ендокринних захворювань та патології обміну речовин, загальної захворюваності [42, 47-51].

Однак наукові розробки у галузі моніторингу забруднення важкими металами харчових продуктів та оцінки аліментарнозалежного ризику для здоров'я населення в умовах бойових дій в Україні мають фрагментарний характер та потребують подальшого вивчення. Немає сумнівів, що у подальших дослідженнях впливу на здоров'я населення харчових продуктів, забруднених важкими металами внаслідок бойових дій, необхідно

застосовувати ризикорієнтований підхід.

Висновки

Накопичення важких металів у ґрунтах районів активних бойових дій є потенційним джерелом емісії їх у сільськогосподарську сировину і свідчить про вагомий вплив на сільське господарство у діпазоні від сільськогосподарських ґрунтів до рослинництва, а згодом і на людей через харчовий ланцюг.

Враховуючи, що харчові продукти рослинного походження є життєво важливими для раціону людини, забруднення їх важкими металами викликає серйозне занепокоєння.

Існуючі наявні докази надмірної кількості важких металів у ґрунтах під час воєнних дій з урахуванням їхньої токсичності свідчать про можливий вагомий негативний вплив на здоров'я населення України.

Внески авторів:

Гуліч М.П. – концептуалізація, написання оригінального тексту;

Харченко О.О. – програмне забезпечення; Ємченко Н.Л. – візуалізація, підготовка;

Ольшевська О.Д. – підготовка, редагування; Любарська Л.С. – ведення.

Фінансування. Дослідження не має зовнішніх джерел фінансування.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCE

1. USSD. Indeks viiny. Monitoryng voiennykh konfliktiv u sviti 2022 roku [Index of war. Monitoring of military conflicts in the world in 2022]; <https://ussd.org.ua/2023/01/20/indeks-viiny-monitoryng-voiennykh-konfliktiv-u-sviti-2022-roku/>. Ukrainian.
2. Patseva I, Alpatova O, Demchuk L, Kireitseva H, Levytskyi V. [The current state of the natural environ-

ment under the influence of war]. *Ecological Sciences* 2022;43(4):19-22.

<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.3>. Ukrainian.

3. Derzhavna ustanova «Instytut vsesvitnoi istorii NAN Ukrainy». Ekolohichni naslidky viiny Rosii proty Ukrainy [State institution «Institute of world history of the National Academy of Sciences of Ukraine» Environmental consequences of war of Russia against Ukraine]. <https://ivinias.gov.ua/viina-rf-protiyukrainy/ekolohichni-naslidky-viiny-rosii-proty-ukrainy.html>. Ukrainian.

4. Pylypenko VO. Katastrofichni ekolohichni naslidky viiny rosii proty Ukrainy [Catastrophic environmental consequences of war Russia against Ukraine]. In: Aktualni problemy suchasnoi nauky v doslidzhenniakh molodykh uchenykh, kursantiv ta studentiv [Actual problems of modern science in the research of young scientists, cadets and students : 2023 May 17, Vinnytsia]. Vinnytsia ; 2023 : 421-3. Ukrainian.

5. Rawtani D, Gupta G, Khatri N, Rao PK, Hussain CM. Environmental damages due to war in Ukraine: a perspective. *Science of the Total Environment* 2022 Aug;157932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>

6. Kemmerling B, Schetter C, Wirkus L. The logics of war and food (in)security. *Global Food Security* 2022 Jun;33:100634. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100634>

7. Abay KA, Breisinger C, Glauber J, Kurdi S, Laborde D, Siddig K. The Russia-Ukraine war: implications for global and regional food security and potential policy responses. *Global Food Security* 2023 Mar;36:100675. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100675>

8. IFPRI The Russia-Ukraine conflict is likely to compound Sudan's existing

food security problems; 2022 Apr 6. <https://www.ifpri.org/blog/russia-ukraine-conflict-likely-compound-sudan-existing-food-security-problems>

9. IFPRI How will Russia's invasion of Ukraine affect global food security?; 2022 Feb 24. <https://www.ifpri.org/blog/how-will-russias-invasion-of-ukraine-affect-global-food-security>

10. Shen Y, Feng Q, Sun X. Stability and risk contagion in the global sovereign CDS market under Russia-Ukraine conflict. *The North American Journal of Economics and Finance* 2024 Jun;102204. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2024.102204>

11. The importance of Ukraine and the russian federation for global agricultural markets and the risks associated with the war in Ukraine. Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2022. 47 p. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bd0267ca-75a6-44d6-a387-7ebef150630d/content>

12. Home | Food and Agriculture Organization of the United Nations FAOSTAT food balances (2010-); <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>

13. Investment Monitor. Which countries are most exposed to interruption in Ukraine food exports? 2022 Mar 2. <https://www.investmentmonitor.ai/ukraine-crisis/countries-exposed-ukrainian-food-exports/>.

14. Pereira P, Básić F, Bogunovic I, Barcelo D. Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of the Total Environment* 2022; 837:155865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>

15. Anhurets O, Khazan P, Kolesnykova K, Kushch M, Chernokhova M, Havranek M. Ukraina, shkoda dovkilliu, ekolohichni naslidky viiny [Ukraine, shame environment, ecological consequences of war]; 2022. 84 p. <https://cleanair.org.ua/wp->

content/uploads/2023/03/cl
eanair.org.ua-war-damages-
ua-version-04-low-res.pdf.
Ukrainian.

16. Vasyliuk O, Kolodezhna V. Yakoiu maie buty dolia poshkodzhennykh vybukhamy ukrainskykh terytorii? [What should be the fate of Ukrainian territories damaged by explosions?]. Ukraine War Environmental Consequences Work Group. *UWEC*. 2022; (2): 3-11. URL: <https://uwecworkgroup.info/uk/future-of-munitions-damaged-ukrainian-lands/>. Ukrainian.

17. Ukraina OON poperedzhaie pro toksychni naslidky dlia ekolohii Ukrainy ta rehionu [Ukraine UN warns about toxic following for ecology Ukraine and the region]. <https://ukraine.un.org/uk/188876/> Ukrainian.

18. Odeska natsionalna naukova biblioteka. Ofitsiinyi veb-sait «Tysiacholittia dovkillia»: do dnia stvorennia Prohramy OON z okhorony navkolyshnoho sere-dovyshcha (YuNEP) [Odesa National Scientific Library. Official website «Millennium environment»: to the day of creation of the UN Program on Protection surrounding environment (UNEP)]. http://odnb.odessa.ua/view_post.php?id=3939. Ukrainian.

19. Pankiv Z, Nakonechnyi Yu. Zemelni resursy. Praktikum [Land resources. Practicum]. Lviv: LNU imeni Ivana Franka; 2020. 196 p. Ukrainian.

20. Kvasha S, Pavlenko O, Vakulenko V. Stan vyrobnytstva ta spozhyvannia kharchovykh produktiv v Ukraini v umovakh sohodennia [Current state of food production and consumption in Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo*. 2023 Dec 26; 58. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-15>. Ukrainian.

21. Holubtsov O, Sorokina L, Splodytel A, Chumachenko S. Vplyv viiny rosii proty Ukrainy na stan ukrain-

skykh gruntiv. Rezultaty analizu [The impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soils. Analysis results]. Kyiv; 2023. 32 p. Ukrainian

22. Kireitseva H, Demchuk L, Paliy O, Kahukina A. Toxic impacts of the war on Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2023 Jan 30: 1-10. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2170582>

23. Stadler T, Temesi B, Lakner Z. Soil chemical pollution and military actions: a bibliometric analysis. *Sustainability* 2022 Jun 10; 14(12):7138. <https://doi.org/10.3390/su14127138>

24. Broomandi P, Guney M, Kim JR, Karaca F. Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review. *Sustainability*. 2020 Oct 29; 12(21):9002. <https://doi.org/10.3390/su12219002>

25. Bazzi W, Abou Fayad AG, Nasser A, Haraoui LP, Dewachi O, Abou-Sitta G et al. Heavy metal toxicity in armed conflicts potentiates AMR in *A. baumannii* by selecting for antibiotic and heavy metal co-resistance mechanisms. *Frontiers in Microbiology* 2020 Feb 3; 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00068>

26. Kharytonov MM, Stankevich SA, Titarenko OV, Dolehalov G, Weissmannov G H, Klimkina II, Frolova LA. Geostatistical and geospatial assessment of soil pollution with heavy metals in Pavlograd city (Ukraine). *Ecological Questions* 2020 Apr 21; 31(2):1. <https://doi.org/10.12775/eq.2020.013>

27. Barker AJ, Clausen JL, Douglas TA, Bednar AJ, Griggs CS, Martin WA. Environmental impact of metals resulting from military training activities: a review. *Chemosphere* 2021 Feb; 265: 129110. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129110>

28. Moon I, Kim H, Jeong S,

Choi H, Park J, Lee I. Chemical properties of heavy metal-contaminated soils from a Korean military shooting range: evaluation of Pb sources using Pb isotope ratios. *Applied Sciences* 2021 Jul 31; 11(15):7099. <https://doi.org/10.3390/app11157099>

29. Sytar O, Prasad MN. Bioremediation and bioeconomy. Ed by Prasad MN. Elsevier; 2016. Production of biodiesel feedstock from the trace element contaminated lands in Ukraine; p. 3-28. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802830-8.00001-0>

30. Okerefor U, Makhatha M, Mekuto L, Uche-Okerefor N, Sebola T, Mavumengwana V. Toxic metal implications on agricultural soils, plants, animals, aquatic life and human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020 Mar 25; 17(7):2204. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072204>

31. Sytar O, Taran N. Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine – a review. *Journal of Central European Agriculture*. 2022 Oct 18; 23(4):881-7. <https://doi.org/10.5513/jcea01/23.4.3603>

32. Tasrina R, Rowshon A, Mustafizur A, Rafiqul I, Ali M. Heavy metals contamination in vegetables and its growing soil. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2015; 2(142):2-6. <https://doi.org/10.4172/2380-2391.1000142>

33. Zhou H, Yang WT, Zhou X, Liu L. Accumulation of heavy metals in vegetable species planted in contaminated soils and the health risk assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016; 13(3):289.

34. Charkiewicz A, Backstrand J. Lead Toxicity and Pollution in Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(12):4385.

<https://doi.org/10.3390/ijerph17124385>

35. Kurayeva I, Splodytel' A. Rozpodil vazhkykh metaliv u systemi «hrunt-roslyna» v lanshaftakh pryrodookhoronnykh terytoriy [Distribution of heavy metals in the «soil-plant» system in landscapes of protected areas]. *Heokhimiya tekhnohenezu [Geochemistry of technogenesis]*. 2020;3(31):79-8936.

<https://doi.org/10.15407/geotech> Ukrainian.

36. Sytar O, Kumari P, Yadav S, Brestic M. Phytohormone priming: regulator for heavy metal stress in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2019;38:739-52.

37. Alloway B. Heavy metals in soils. London: Blackie; 1990. 332 p.

38. Kupchuk O. Vyznachennya korelyatsiyi mizh vmistom vazhkykh metaliv u produktakh roslynnytstva ta hrunti pry ekolohichnomu monitorynhu [Determination of the correlation between the content of heavy metals in plant products and soil during ecological monitoring]. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursovykorystannia [Ecological Safety and Balanced Use of Resources]*. 2016;1(13):85-91. Ukrainian.

39. Tarabrin V. Mikroelementy v okruzhayushchey srede [Microelements in the environment]. Kiev: Naukova dumka; 1980. Fiziologiya us-toychivosti drevesnykh rasteniy v usloviyakh zagryazneniya okruzhayushchey srody tyazhelymi metallami [Physiology of the stability of woody plants in the conditions of pollution of the environment with heavy metals]; p. 17. Russian.

40. Manzoor J, Sharma M, Wani K. Heavy metals in vegetables and their impact on the nutrient quality of vegetables: a review. *Journal of Plant Nutrition*. 2018; 41(13): 1744-63. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1462382>

41. Taran N, Shevtsova T, Sytar O, Landi M, Shemet S.

Toksychnist metaliv u vyshchykh roslyn [Toxicity of metals in higher plants]. Landi M., Shemet S., Fedenko V.S. eds. New-York: Nova Science Publishers, Inc.; 2020. Zabrudnennya vazhkymy metalamy: vplyv na roslyny ta yizhu [Heavy Metal Pollution: Effects on Plants and Food]; p. 1-18.

42. Pipoyan D, Stepanyan S, Beglaryan M, Stepanyan S, Mendelsohn R, Deziel NC. Health risks of heavy metals in food and their economic burden in Armenia. *Environment International*. 2023 Feb:107794.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107794>

43. Dobrovolskyi V. Biosferni tsykyly vazhkykh metaliv i rehuliatorna rol gruntu [Biosphere cycles of heavy metals and regulatory role of soil]. *Hruntoznastvo [Pedology]*. 1997; (4): 121-8. Ukrainian.

44. Skalny AV, Aschner M, Bobrovniky IP, Chen P, Tsatsakis A, Paoliello MM, Buha Djordevic A, Tinkov AA. Environmental and health hazards of military metal pollution. *Environmental Research*. 2021 Oct;201:111568. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111568>

45. Hrynova Ya, Kryshchop Ye. Problemy zabrudnennia navkolyshnoho sere-dovyshcha vazhkymy metalamy ta shliakhy yikh podolannia [Problems of environmental pollution with heavy metals and ways to overcome them]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia [Engineering of nature management]* 2021;19(1):111-9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6904034>. Ukrainian.

46. Rybalova O, Bryhada O, Bondarenko O, Makarov Ye. Novyi metod otsinky ryzyku dlia zdorovia naselennia vid vplyvu zabrudnennia gruntiv vazhkymy metalamy [A new method of assessing the risk to public health from the effects of pollution. soils heavy metals]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii [Problems extraordinary situations]*.

2019;29(1):79-99. Ukrainian.

47. Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*. 2014 Jun 1;7(2):60-72. <https://doi.org/10.2478/into-x-2014-0009>

48. Chalaia OS, Fatieieva Nlu. Vplyv vazhkykh metaliv na orhanizm liudyny [Influence of heavy metals on organism people]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva [Bulletin of the Kharkiv National Technical University university rural economy]*. 2018;(190):110-6. Ukrainian.

49. Ostrovska SS, Abramov SV, Dychko EN, Vyselko AD, Konovalova OS, Danilchenko AK. Epigenetic effects of heavy metals of the environmental by the example of cadmium. *Bulletin of Problems Biology and Medicine* 2023;1(1):36.

<https://doi.org/10.29254/2077-4214-2023-1-168-36-43>

50. Fatieieva N. Toksychna diia vazhkykh metaliv na zhyvi orhanizmy ta shliakhy yii zmenshennia [Toxic effect of heavy metals on living organisms and ways of its reduction]. *Aktualni pytannia sohodennia [Current issues today]*. 2018; 7: 107-110. URL: <https://www.academia.edu/36296147/%D0%90%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96>

51. Niankovskiy S, Podolianska V. Osoblyvosti mikroelementnoho homeostazu ditei, yaki prozhyvaiut na terytorii suchasnoho mista, ta yoho vplyv na imunnu systemu [Peculiarities of microelement homeostasis of children living on the territory of a modern city and its influence on immune system]. *Zdorovia dytyny [Child's health]*. 2022;67(7): 118-24. Ukrainian.

Стаття надійшла до редакції 05.08.2024