

- викидів автотранспорту. Фізіологія рослин і генетика. 2018, 50(6), 540-548, <https://doi.org/10.15407/frg2018.06.540>
2. Боднарюк Р. М., Вакерич М. М., Гасинець Я. С. Фітоіндикація ґрунтів деяких вулиць м. Ужгорода. Матеріали 75 підсумкової конференції професорсько-викладацького складу ДВНЗ «УжНУ». Серія «Біологія». 28 лютого 2021 р., 26 с.
 3. Боднарюк Р. М., Вакерич М. М., Гедзур Т. І., Гасинець Я. С., Кресей Т. В. Фітоіндикація примігстрального ґрунту в умовах Ужгородського району Закарпаття. Актуальні проблеми фізіології рослин і генетики: матеріали Міжнародної наукової конференції, присвяченої 75-річчю Інституту фізіології рослин і генетики НАН України. – Київ, Інтерсервіс, 2021, 138-140.
 4. Alloway, B. Heavy metals in soils. In Trace Elements and Metalloids in Soils and Their Bioavailability; Environmental Pollution; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2012, 22, 11–50, https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2
 5. Laptiev V., Giltrap M., Tian F., Ryzhenko N. Assessment of Heavy Metals (Cr, Cu, Pb, and Zn) Bioaccumulation and Translocation by *Erigeron canadensis* L. in Polluted Soil. *Pollutants*. 2024, 4(3), 434-451, <https://doi.org/10.3390/pollutants4030029>

УДК 504.054: 504.53.06

**ВПЛИВ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ РОСІЇ ПРОТИ УКРАЇНИ НА
ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ТА
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО РЕМЕДІАЦІЇ**

Вакерич М. М.^{1,2}, Швартау В. В.³, Гасинець Я. С.¹, Голомб Л. А.¹

¹ДВНЗ "Ужгородський національний університет"

²Закарпатський науково-дослідний експертно-криміналістичний
центр МВС України

³Інститут фізіології рослин і генетики НАН України

E-mail: mykhailo.vakerich@uzhnu.edu.ua

Війна в Україні, яка триває з 2014 року і набула масштабів

повномасштабного вторгнення у 2022-му, спричинила катастрофічні наслідки не лише для людських життів і інфраструктури, а й для довкілля. Екосистеми України зазнали значного антропогенного навантаження, у тому числі й забруднення важкими металами (ВМ) – надзвичайно токсичними елементами, що можуть завдавати шкоди як довкіллю, так і здоров'ю людини протягом тривалого часу.

Основними джерелами забруднення ВМ в результаті військових дій є вибухи боєприпасів: мін, авіаційних бомб, ракет тощо; згорання військової техніки, руйнування промислових об'єктів та інфраструктури. У процесі цих дій у навколишнє середовище вивільняються ізотопи урану (U), свинець (Pb), кадмій (Cd), ртуть (Hg), хром (Cr), мідь (Cu), цинк (Zn), нікель (Ni), миш'як (As) та інші метали, які потрапляють у ґрунт, воду, атмосферу, а згодом – у живі організми [1].

Ґрунти є одним із перших накопичувачів ВМ та їх сполук. Вони мають властивість акумулювати токсичні елементи, особливо в прифронтових зонах та на деокупованих територіях. Це веде до деградації структури ґрунту, зменшення його родючості, порушення мікробіологічного балансу. Водойми також піддаються серйозній контамінації через поверхневий стік, особливо після дощів і танення снігу. Метали потрапляють у річки, озера, а потім – у підземні води та донні відклади. Це впливає на водну флору та фауну, зокрема призводить до накопичення токсичних речовин у рибі, молюсках та планктоні [2, 4].

Атмосферне повітря також піддається забрудненню: аерозольні частки металів, що виникають при вибухах або горінні техніки, можуть розповсюджуватись на десятки кілометрів. В кінцевому результаті, вони осідають на рослинності, потрапляють у легені людини й тварин, створюючи серйозні загрози їх здоров'ю [3].

Тривала акумуляція ВМ у природних системах призводить до їх включення в харчові ланцюги, що з часом може викликати хронічні захворювання у населення – зокрема ураження печінки, нирок, порушення центральної нервової системи та онкологічні захворювання. Це також є фактором ризику для вимирання окремих видів живих організмів, зниження біорізноманіття та

порушення стабільності екосистем.

Для подолання цих екологічних наслідків необхідно впроваджувати системні підходи до ремедіації – тобто очищення та відновлення забрудненого природного середовища [5]. Одним із найефективніших методів є фіторемедіація – застосування рослин, здатних поглинати та накопичувати ВМ у своїх тканинах чи органах. До таких культур належать соняшник, гірчиця, ріпак, верба тощо. Цей підхід є екологічно чистим, доступним та придатним для впровадження на великих територіях.

Іншим перспективним напрямом є мікробіологічна ремедіація – використання специфічних штамів бактерій і грибів, які фіксують метали або змінюють їхню хімічну форму на менш токсичну. Також застосовуються хімічні методи, зокрема іммобілізація металів у ґрунті за допомогою сорбентів – переважно цеоліту, бентоніту, вапна.

Окремі водні об'єкти потребують гідрохімічної стабілізації: введення реагентів, які осаджують метали та запобігають їхньому подальшому поширенню. У випадках високих рівнів забруднення проводиться механічна рекультивация, тобто видалення шару ґрунту або донних відкладів з подальшою утилізацією [4].

Світовий досвід свідчить, що подібні заходи є результативними. Так, після війни в Перській затоці Кувейт успішно застосовував біоремедіацію нафтових плям, а країни Балкан – фіторемедіацію забруднених територій після використання зброї зі збідненим ураном. Ці підходи можуть бути адаптовані для умов України з урахуванням її кліматичних, геологічних особливостей та умов ведення сільського господарства.

В умовах повоєнного відновлення України надзвичайно важливо сформувати загальнонаціональну стратегію екологічної реабілітації, яка передбачатиме не лише фізичне очищення середовища, а й наукові дослідження та активний моніторинг ценозів, залучення до робіт з відновлення місцевих громад і забезпечення міжнародної підтримки. Відновлення довкілля – це не просто технічне завдання, це – етичний імператив, адже мова йде про життя теперішнього та майбутніх поколінь українців, а також про збереження унікальної природи нашої країни.

Список літератури

1. Вакерич М.М., Гасинець Я.С. Вплив військової агресії росії на довкілля України. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2024», присвяченої 95-річчю від дня народження відомого вченого- фізіолога, мікробіолога і популяризатора науки, професора Кузьми Миколайовича Векірчика, 18-19 квітня 2024 р. Тернопіль: Вектор, 2024, 361-365 с.
2. Bermudez, G. M. A., Jasan, R. & Pla, R. Heavy metals and trace elements in atmospheric composition out: their relationship with topsoil and wheat element. *J. Hazard Mater.* 213–214, 447–456 (2012).
3. Holomb L., Vakerych M., Hasynets Ya., Schwartau V. Detection of heavy metals in soil to determine phosphorus and potassium levels. International Scientific Conference “Genetics, Physiology and Plant Breeding” (VIIIth Edition), October 7-8, 2024 (Chisinau, Republic of Moldova) 574-577.
4. Shumilova O., Sukhodolov A., Osadcha N., Oreshchenko A., Constantinescu G., Afanasyev S. et al. Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine *Science* 387, 1181-1186 (2025). DOI:[10.1126/science.adn8655](https://doi.org/10.1126/science.adn8655)
5. Remediation of Cu, Pb, Zn and Cd-contaminated agricultural soil using a combined red mud and compost amendment / R. Zhou et al. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017. Vol. 118. P. 73–81. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.01.023>

УДК 551.5:061.1

ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВОДИ

**Гуменюк Г. Б., Сокіл Б. Б., Дух Р. М., Яворівський Р. Л.,
Гавришок Б. Б., Вальорна Н. І.**

Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

E-mail: natalavalorna7@gmail.com

Якість води – це поєднання хімічного і біологічного складу