Scientific and technical journal
«Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

ВДОСКОНАЛЕНИЙ КРИТЕРІЙ В МЕТОДІ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ МІСЦЬ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА ЗНИЩЕННЯ БОЄПРИПАСІВ

В. А. Андронов[1], Ю. Ю. Дідовець[1], В. Ю. Колосков[1], Г. М. Колоскова[2], А. Джінаду[3]
[1]Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна
[2]Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна
[3]Кварський державний університет, Малете, Нігерія

УДК 504.062.4::623.48
DOI: 10.52363/2522-1892.2022.2.6
Отримано: 14 жовтня 2022
Прийнято: 25 листопада 2022

Cite as: Andronov V., Didovets Yu., Koloskov V., Koloskova H., Jinadu A. (2022). Improved criterion in method of assessment of the safety level of the process of land recultivation of places of ammunition disposal and destruction. Technogenic and ecological safety, 12(2/2022), 43–50. doi: 10.52363/2522-1892.2022.2.6

Анотація

Показано актуальність дослідження й необхідність розробки методів, що дозволяють оцінювати рівень безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів не лише в даний момент часу, але й у майбутньому при застосуванні заходів з рекультивації земель. Розроблено вдосконалений критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів на основі використання нормативного підходу та визначено значущі показники, а саме: ймовірність вибуху, величина надмірного тиску у повітряній ударній хвилі та рівень деградації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів.

Розроблено вдосконалений метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів шляхом використання вдосконаленого критерію оцінювання рівня безпеки процесу. Запропонований метод придатний не лише для довгострокового оцінювання, а й для оперативного управління безпекою подібних об'єктів. Основною перевагою запропонованого методу у порівнянні з тими, що використовуються сьогодні, є урахування усього комплексу діючих факторів ризику вибуху та екологічної небезпеки, одночасно мінімізувавши кількість значущих показників якості довкілля. Завдяки цьому з'являється можливість зниження обсягів обчислень, необхідних для точного оцінювання набором нормативних критеріїв, а також спрощується процедура оцінювання без втрати точності.

Ключові слова: рівень безпеки, критерій оцінювання, метод оцінювання, рекультивація земель, знешкодження та знищення боєприпасів, небезпека вибуху.

Постановка проблеми.

Збройні конфлікти у світі призводили та призводять до масштабного забруднення великих територій вибухонебезпечними предметами. Сьогодні як ніколи актуальною є вказана проблема для України. Найбільшого забруднення при дії вибухів зазнають ґрунти. Актуальність завдання забезпечення екологічної безпеки об'єктів, забруднених вибуховими речовинами, є сьогодні беззаперечним для світової спільноти [1]. Метою діяльності у цьому напрямку має стати відновлення земель місць, забруднених внаслідок вибухів, зокрема місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Важкі метали, зокрема, миш'як (As), кадмій (Cd), хром (Cr), цинк (Zn), тощо, сьогодні розглядаються в якості одних з найбільш летальних неорганічних забруднювачів антропогенного походження [2–5]. Через своє неорганічне походження важкі метали не можуть бути нейтралізовані природним шляхом, залишаючись у ґрунті протягом необмеженого часу, впливаючи негативним чином на якість рослин [6–9], показники життєдіяльності тварин [10–14], а також створюючи ризики для життя та здоров'я людей [15, 16]. Багато робіт світових вчених було присвячено дослідженню негативного впливу на здоров'я людини важких металів [17–27], втім, проблема забруднення навколишнього природного середовища важкими металами залишається однією з найактуальніших у світі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Попередні дослідження різних авторів показали наявність суттєвих за рівнем небезпеки забруднень повітря, води та ґрунту у місцях, де відбуваються вибухи боєприпасів [28–32]. Зокрема, було встановлено наявність важких металів [33], а також вибухових речовин [34], переважна більшість яких є стійкими до біодеградації, випаровування та гідролізу, що призводить до їх стійкості в ґрунті та підземних водах.

Ґрунт військових полігонів також сильно забруднюється свинцем, оскільки в ньому накопичуються кулі, які можуть змінити фундаментальні властивості ґрунту, включаючи pH, здатність до обміну катіонів, вміст вологи, тощо [35, 36]. Наприклад, у одній відстріляній кулі зазвичай міститься 97 % свинцю, 2 % сурьми, 0,5 % миш'яку, 0,5 % нікелю та 0,1 % міді [37].

У певних випадках у ґрунті військового полігону було діагностовано вміст свинцю навіть понад 1000 мг/кг [38, 39], гранично допустима концентрація якого у гранті складає 32 мг/кг [40]. У роботі [37] вказано, що в ґрунті військових полігонів присутні значні концентрації іонів $Pb2+$ та $Cu2+$, які можуть потрапляти у ґрунтові води після розчинення, а також у повітря у вигляді дрібнодисперсного аерозолю. Свинець також має схильність до накопичення у верхньому шарі ґрунту, оскільки він є малорухливим забруднювачем [36, 41, 42].

У результаті попереднього аналізу існуючих технологій рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів [43] авторами було встановлено відсутність на сьогоднішній день єдиної технології рекультивації земель подібних об'єктів, яка б дозволила вирішити весь комплекс завдань із забезпечення техногенно-екологічної безпеки. Причиною цього є, зокрема відсутність єдиного комплексного критерію оцінки безпеки процесу рекультивації, що одночасно враховував би чинники вибухонебезпеки, яку можуть становити не лише залишки боєприпасів, а й сам забруднений вибуховими речовинами ґрунт, та чинники екологічної небезпеки, пов'язаних з усім спектром впливів на ґрунт, зокрема, компресійного впливу, забруднення важкими металами та іншими хімічними речовинами, тощо [44–50].

Постановка задачі та її вирішення.

Об'єкт дослідження. Комплексний критерій впливу процесу та наслідків знешкодження та знищення боєприпасів на компоненти навколишнього природного середовища.

Предмет дослідження. Чинники техногенно-екологічної небезпеки процесу та наслідків знешкодження та знищення боєприпасів.

Мета дослідження. Створення математичного апарату та методу для надання комплексної оцінки рівня техногенно-екологічної небезпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Для досягнення поставленої мети *були поставлені та вирішені наступні задачі*:

- вдосконалити критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів;
- вдосконалити метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

В роботі [42] авторами представлено вдосконалену імітаційну модель системи управління безпекою рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів, яка складена за блочно-модульним принципом, що дозволяє вільно корегувати її структуру в залежності від наявних вихідних умов. В основу визначення критеріїв безпеки при розробці зазначеної моделі було покладено нормативний підхід, що встановлює критеріальні залежності, які визначають безпеку, як стан, у якому діючі чинники, ризик вибуху та показники якості довкілля знаходяться у припустимих межах. За вказаним підходом для деякого критеріального параметра x можна визначити частковий критерій оцінювання безпеки у наступному формалізованому вигляді

$$\chi_x = \frac{x}{[x]} = \bar{x} \le 1, \qquad (1)$$

де $[x]$ – граничне припустиме значення розгляданого параметра x. Вказаний підхід дозволяє уніфікувати критеріальні параметри різноманітного походження, які підбираються за трьома напрямами:

1) діючі чинники функціонування місця знешкодження та знищення боєприпасів;
2) показники ризику вибуху;
3) показники якості довкілля.

Інтегральний критерій безпеки при цьому пропонується визначати за найбільшим значенням з усіх окремих критеріїв безпеки комплексу К:

$$\chi^{кр} = max\,\mathrm{K}. \qquad (2)$$

Використання такого підходу дозволяє забезпечити гнучкість моделювання, оскільки дає можливість включити до розгляду будь-яку кількість критеріальних параметрів за всіма трьома напрямами. Втім, у викладеній постановці використання лише нормативних залежностей не є достатнім, адже при цьому не враховується комплексний характер впливів на навколишнє середовище, а також чинники післядії процесу знешкодження та знищення боєприпасів на навколишнє природне середовище у подальшому. Отже, для вдосконалення критерія оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів є необхідним визначити перелік критеріальних параметрів та формалізувати критеріальні залежності за кожним з них.

Для діючих чинників функціонування місця знешкодження та знищення боєприпасів найбільш досконалим видається оцінювання рівня безпеки за показником ймовірності вибуху ρ. Частковий критерій оцінювання безпеки у цьому випадку має наступний формалізований вигляд

$$\chi_\rho = \frac{\rho}{[\rho]} = \bar{\rho} \le 1, \qquad (3)$$

де $[\rho]$ – граничне припустиме значення розгляданого параметра ρ, що обирається за шкалою, представленою у таблиці 1 [51].

Для оцінювання показників ризику вибуху пропонується зосередитися на показнику вражаючої здатності вибуху, а саме на надмірному тиску P у повітряній ударній хвилі, що утворюється у випадку вибуху. Частковий критерій оцінювання безпеки у цьому випадку має наступний формалізований вигляд

$$\chi_P = \frac{P}{[P]} = \bar{P} \le 1, \qquad (4)$$

де $[P]$ – граничне припустиме значення розгляданого параметра P, що обирається за шкалою, представленою у таблиці 2 [52].

Оцінювання рівня безпеки території місця знешкодження та знищення боєприпасів при моделюванні має проводитися за наступним принципом [53]: порівняння повного набору можливих екологічних станів зі встановленими нор-мами з урахуванням потенціальних впливів чинників ризику

небезпеки вибуху. При цьому важливим завданням є своєчасне й надійне виявлення екологічної не-безпеки на основі реальних даних моніторингу [54]. У цьому контексті необхідно враховувати синергічний ефект від впливу різнопланових чинників на екологічний стан території.

Для побудови критерію оцінювання рівня безпеки за показниками якості довкілля за основу було взято критерій екологічного резерву, запропонований у роботі [55] та створений для оцінювання рівня безпеки місця накопичення відходів. Вказаний підхід дозволяє комплексно оцінювати результат як негативного впливу всіх факторів, зокрема, забруднення важкими металами та органічними речовинами, так і запровадження заходів з рекультивації, які поліпшують екологічний стан території місця знешкодження та знищення боєприпасів.

У роботі [55] у якості значущих показників території, рівень безпеки якої оцінювався, було використано величину площі деградаційних процесів території та швидкість її зміни, а також показники продуктивності рівнів трофічного ланцюгу екосистеми, розташованій на досліджуваній території. Однак, з огляду на те, що після вибуху цілісність трофічного ланцюга порушується, доцільним вважається вдосконалити вказаний критерій, залишивши у якості значущого показник рівня деградації, тобто відношення площі деградаційних процесів S_∂ до загальної площі території, що підлягає рекультивації *S*, які можна із достатньою точністю розрахувати на основі аналізу матеріалів дистанційного зондування Землі, зокрема, з використанням безпілотних літальних апаратів [56]. Показник рівня деградації обчислюється за формулою

$$s_\partial = \frac{S_\partial}{S}, \qquad (5)$$

Частковий критерій оцінювання безпеки у цьому випадку має наступний формалізований вигляд

$$\chi_s = \frac{s_\partial}{\left[s_\partial\right]} = \bar{s}_\partial \le 1, \qquad (6)$$

де $\left[s_\partial\right]$ – граничне припустиме значення розгляданого параметра s_∂, що обирається за шкалою, представленою у таблиці 3.

Удосконалений критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів можна представити у наступному формалізованому вигляді

$$\chi : \begin{cases} \chi_\rho \le 1; \\ \chi_P \le 1; \\ \chi_s \le 1. \end{cases} \qquad (5)$$

Використання вищезазначеного переліку критеріальних параметрів потребує вдосконалення методу оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. З урахуванням наявності ефекту післядії метод оцінювання процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів полягає у покроковій перевірці дотримання умов безпеки у *n*-вимірному просторі чинників $F_i \in \Phi$, $i = 1..n$, де *n* – кількість чинників у сукупності, які змінюються за програмою процесу рекультивації, з наданням узагальненого висновку про рівень безпеки. Спрощену схему методу подано на рис. 1.

Таблиця 1 – Шкала вибору гранично припустимого значення ймовірності вибуху

Рівень ймовірності	Граничне припустиме значення ймовірності вибуху $\left[\rho\right]$
Дуже висока	0,9
Висока	0,7
Середня	0,5
Низька	0,3
Дуже низька	0,1

Таблиця 2 – Шкала вибору гранично припустимого значення надмірного тиску ударної повітряної хвилі

Рівень уражень	Граничне припустиме значення надмірного тиску $\left[P\right]$, кПа
Вкрай важкі	Більше 100
Важкі	100
Середньої тяжкості	60
Легкі	40
Незначні	20

Таблиця 3 – Шкала вибору гранично припустимого значення показника рівня деградації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів

Рівень деградації земель	Граничне припустиме значення показника рівня деградації земель $\left[s_\partial\right]$
Дуже високий	0,9
Високий	0,7
Середній	0,5
Низький	0,3
Дуже низький	0,1

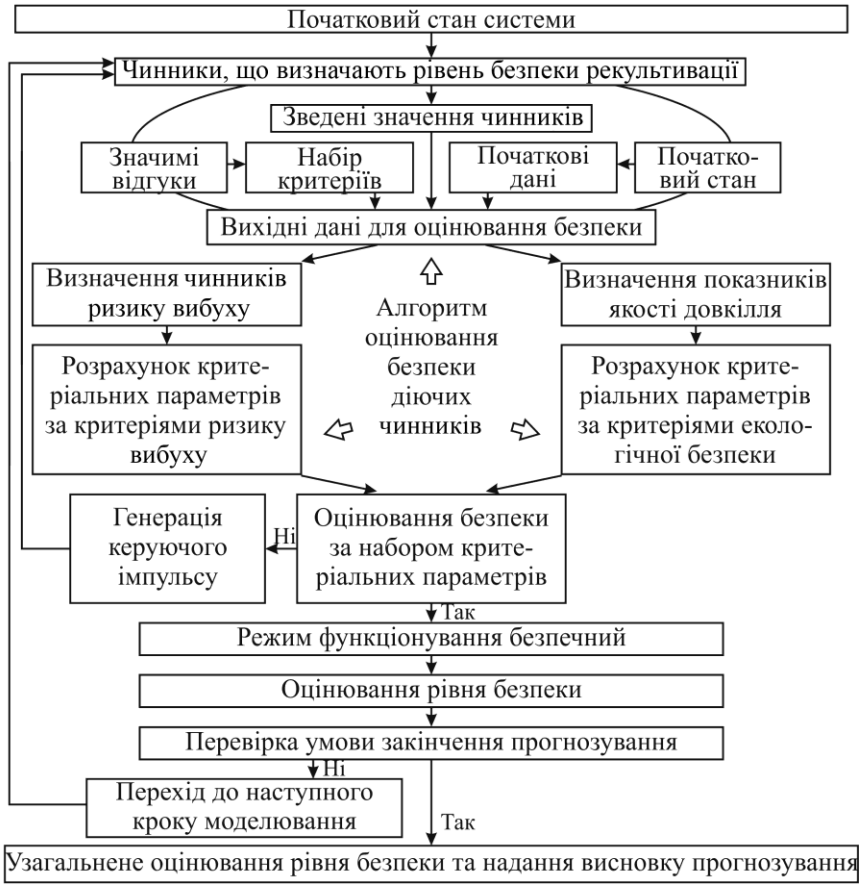

Рисунок 1 – Спрощена схема методу оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів

Комплекс вихідних даних для оцінювання формується за трьома напрямами.

1. Формування набору значень показників, що визначають рівень безпеки, які задаються програмою рекультивації з урахуванням керуючих імпульсів на корегування значень чинників у випадку виходу на небезпечний стан об'єкту.

2. Формування структури критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

3. Формування набору параметрів та вихідних даних, які визначають початковий стан місця знешкодження та знищення боєприпасів й екосистеми прилеглої території, включаючи граничні припустимі значення показників безпеки.

Висновки:

1. У представленому дослідженні розроблено вдосконалений критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів на основі використання нормативного підходу та визначено значущі показники, а саме: ймовірність вибуху, величина надмірного тиску у повітряній ударній хвилі та рівень деградації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів.

Використання вдосконаленого критерію дозволяє формувати комплексну оцінку поточного стану місця знешкодження та знищення боєприпасів, а також прогнозувати його зміну в результатів реалізації заходів з рекультивації земель.

2. Шляхом використання вдосконаленого критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів було розроблено вдосконалений метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, придатний не лише для довгострокового оцінювання, а й для оперативного управління безпекою подібних об'єктів.

Основною перевагою запропонованого методу у порівнянні з тими, що використовуються сьогодні, є урахування усього комплексу діючих факторів ризику вибуху та екологічної небезпеки, одночасно мінімізувавши кількість значущих показників якості довкілля. Завдяки цьому з'являється можливість зниження обсягів обчислень, необхідних для точного оцінювання набором нормативних критеріїв, а також спрощується процедура оцінювання без втрати точності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Spain J. C. Biodegradation of nitroaromatic compounds. *Annual Review of Microbiology*. 1995. Vol. 49. P. 523–555.
2. Ahluwalia S. S., Goyal D. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology*. 2007. Vol. 98. P. 2243–2257.
3. Atmospheric mercury concentrations from several observatory sites in the northern hemisphere / Kim K. H. et al. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 2005. Vol. 50(1). P. 1–24.
4. Coordination polymers: opportunities and challenges for monitoring volatile organic compounds / Kumar P., Deep A., Kim K. H., Brown R. J. C. *Progress in Polymer Science*. 2015. Vol. 45. P. 102–118.
5. Biomonitoring in the forest zone of Ghana: the primary results obtained using neutron activation analysis and lichens / Nyarko B. J. B. et al. *International Journal of Environment and Pollution*. 2008. Vol. 32. P. 467–476.
6. Ekmekyapar F., Sabudak T., Seren G. Assessment of heavy metal contamination in soil and wheat (*Triticum Aestivum L.*). plant around The Corlu-Cerkezko highway in Thrace Region. *Global NEST Journal*. 2012. Vol. 14(4). P. 496–504.
7. Heavy metal accumulation in different varieties of wheat (*Triticum aestivum L.*). grown in soil amended with domestic sewage sludge / Jamali, M. K. et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 164(2–3). P. 1386–1391.
8. Scientific research production of India and China in environmental chemistry: a bibliometric assessment / Srivastav A. L., Kaur T., Rani L., Kumar A. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2019. Vol. 16. P. 4989–4996.
9. Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site / Yoon J., Cao X., Zhou Q., Ma L. Q. *Science of the Total Environment*. 2006. Vol. 368. P. 456–464.
10. Leong Y. K., Chang J.-S. Bioremediation of heavy metals using microalgae: recent advances and mechanisms. *Bioresource Technology*. 2020. Vol. 30. Art. 122886.
11. Environmental remediation and application of nanoscale zero-valent iron and its composites for the removal of heavy metal ions: a review / Zou Y. et al. *Environmental Science & Technology*. 2016. Vol. 50. P. 7290–7304.
12. Synthesis of ordered mesoporous carbonaceous materials and its highly efficient capture of uranium from solutions / Zhang C. et al. *Science China Chemistry*. 2018. Vol. 61. P. 281–293.
13. Trace metals in e-waste lead to serious health risk through consumption of rice growing near an abandoned e-waste recycling site: comparisons with PBDEs and AHFRs / Wu Q. et al. *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 247. P. 46–54.
14. Environmental remediation of heavy metal ions by novelnanomaterials: a review / Wu Y. et al. *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 246. P. 608–620.
15. Quantitative evaluation of heavy metals' pollution hazards and estimation of heavy metals' environmental costs in leachate during food waste composting / Chu Z., Fan X., Wang W., Huang W. C. *Waste Management*. 2019. Vol. 84. P. 119–128.
16. A review on detection of heavy metal ions in water – an electrochemical approach / Gumpu M. B., Sethuraman S., Krishnan U. M., Rayappan J. B. B. *Sensors & Actuators, B: Chemical*. 2015. Vol. 213. P. 515–533.
17. A sensitive and selective platform based on CdTe QDs in the presence of Lcysteine for detection of silver, mercury and copper ions in water and various drinks / Gong T. et al. *Food Chemistry*. 2016. Vol. 213. P. 306–312.
18. Guilarte T. R. Manganese and Parkinson's disease: a critical review and new findings. *Cien Saude Colet*. 2011. Vol. 16. P. 4549–4566.
19. Kampa M., Castanas E. Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*. 2008. Vol. 151. P. 362–367.
20. Progress in the sensing techniques for heavy metal ions using nanomaterials / Kumar P. et al. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2017. Vol. 54. P. 30–34.
21. Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au–Ag mine in Korea / Lim H. S., Lee J. S., Chon H. T., Sager M. *Journal of Geochemical Exploration*. 2008. Vol. 96. P. 223–230.
22. A progress in the biosensing techniques for trace-level heavy metals / Mehta J. et al. *Biotechnology Advances*. 2016. Vol. 34(1). P. 47–60.
23. Heavy metals: biological importance and detoxification strategies / Oves M. et al. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*. 2016. Vol. 7. Art. 2.
24. Sevim C., Dogan E., Comakli S. Cardiovascular disease and toxic metals. *Current Opinion in Toxicology*. 2020. Vol. 19. P. 88–92.
25. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Trautwein, A. Bioinorganic chemistry: transition metals in biology and their coordination chemistry. Weinheim; New York; Chichester; Brisbane; Singapore; Toronto: Wiley-VCH, 1997.
26. Turdean G. L. Design and development of biosensors for the detection of heavy metal toxicity. *International Journal of Electrochemical Science*. 2011. P. 1–15.
27. Wallace D. R, Djordjevic A. B. Heavy metal and pesticide exposure: a mixture of potential toxicity and carcinogenicity. *Current Opinion in Toxicology*. 2020. Vol. 19. P. 72–79.
28. 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 / Gorecki S. et al. *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 599–600. P. 314–323.
29. Impact of ammunition and military explosives on human health and the environment / Lima D., Bezerra M., Neves E., Moreira F. *Reviews on Environmental Health*. 2011. Vol. 26(2). P. 101-110.
30. Olson K., Tharp M. How did the Passaic River, a Superfund site near Newark, New Jersey, become an Agent Orange dioxin TCDD hotspot? *Journal of Soil and Water Conservation*. 2020. Vol. 75(2). P. 33A–37A.
31. Pichtel J. Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review. *Applied and Environmental Soil Science*. 2012. Art. 617236.
32. Human health risk assessment of explosives and heavy metals at a military gunnery range / Ryu H. et al. *Environmental Geochemistry and Health*. 2007. Vol. 29(4). P. 259–269.
33. Vasarevicius S., Greičiūte K. Investigation of soil pollution with heavy metals in Lithuanian military grounds. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2004. Vol. 12(4). P. 132-137.
34. Lewis T. A., Newcombe D. A., Crawford R. L. Bioremediation of soils contaminated with explosives. *Journal of Environmental Management*. 2004. Vol. 70(4). P. 291–307.
35. Dinake P., Kelebemang R., Sehube N. A comprehensive approach to speciation of lead and its contamination of firing range soils: a review. *Soil & Sediment Contamination*. 2019. Vol. 28. P. 1–29.
36. Etim E.U. Batch leaching of Pb contaminated shooting range soil using citric acid modified washing solution and electrochemical reduction. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2018. Vol. 16. P. 3013–3020.
37. Immobilization of lead in contaminated firing range soil using biochar / Moon D. H. et al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013. Vol. 20. P. 8464–8471.
38. Lead transformation and distribution in the soils of shooting ranges in Florida, USA / Cao X. et al. *Science of the Total Environment*. 2003. Vol. 307. P. 179–189.
39. The chemical and mineralogical behaviour of Pb in shooting range soils from central Sweden / Lin Z., Comet B., Qvarfort U., Herbert R. *Environmental Pollution*. 1995. Vol. 89. P. 303–309.
40. Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті: наказ М-ва охорони здоров'я України від 14 лип. 2020 р. № 1595. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text (дата звернення: 10.10.2022).

41. Phytotoxicity assays with hydroxyapatite nanoparticles lead the way to recover firing range soils / Lago-Vila M., Rodríguez-Seijo A., Vega F. A., Arenas-Lago D. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 690. P. 1151–1161.

42. Bullet on bullet fragmentation profile in soils / Martin W. A., Nestler C. C., Wynter M., Larson S. L. *Journal of Environmental Management*. 2014. Vol. 146. P. 369–372.

43. Модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів / Дідовець Ю. Ю., Колосков В. Ю., Колоскова Г.М., Джінаду А. *Техногенно-екологічна безпека*. 2021. № 10 (2/2021). С. 64–69.

44. 2021 BATA Explosions – Equatorial Guinea. Multi-Cluster/Sector Initial Rapid Assessment (MIRA). OCHA, 2021. 14 p.

45. Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review / Broomandi P., Guney M., Kim J. R., Karaca F. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Art. 9002.

46. Land Contamination: Technical Guidance on Special Sites: Explosives Manufacturing & Processing Sites. R&D Technical Report P5-042/TR/03 / Bulloch G. et al. Environment Agency, 2001. 68 p.

47. Environmental Impact of Munition and Propellant Disposal. Final Report of Task Group AVT-115. Research and Technology Organisation / North Atlantic Treaty Organisation, 2010. 86 p.

48. Guilbaud M. The Environmental Impact of an Explosion. White Paper. Geode, 2020. 43 p.

49. Explosive particle soil surface dispersion model for detonated military munitions / Hathaway J. E. et al. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. Vol. 187(415). P. 4652.

50. Zwijnenburg W., te Pas K. Amidst the debris... A desktop study on the environmental and public health impact of Syria's conflict. Colophon, 2015. 84 p.

51. Project Management Institute, Inc. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). – Fifth Edition. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc, 2013.

52. Никифоров Л. Л. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник. Дашков і К, 2013.

53. Andronov V., Koloskov V. Factors of environmental condition of territories adjoined to municipal solid wastes landfills. *XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екологічної безпеки». Матеріали конференції*. Кременчук: КрНУ, 2019. С. 204–207.

54. Поспелов Б. Б., Андронов В. А. Модели качества обнаружения экологической опасности по реальным данным мониторинга / *Техногенно-екологічна безпека*. 2018. № 3 (1/2018). С. 3–7.

55. Колосков В. Ю. Визначення значущих показників критерію екологічного резерву територій, прилеглих до місць зберігання відходів. *Техногенно-екологічна безпека*. 2018. № 3 (1/2018). С. 44–51.

56. Пат. 149180 Україна, F42D 5/02 (2006.01), G01V 3/16 (2006.01), G01V 8/00. Спосіб виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів / Дідовець Ю. Ю., Колосков В. Ю., Колоскова Г. М.; (Україна), заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № u202103377, заяв. 15.06.2021; опубл. 20.10.2021, бюл. № 42.

Andronov V., Didovets Yu., Koloskov V., Koloskova H., Jinadu A.

IMPROVED CRITERION IN METHOD OF ASSESSMENT OF THE SAFETY LEVEL OF THE PROCESS OF LAND RECULTIVATION OF PLACES OF AMMUNITION DISPOSAL AND DESTRUCTION

The relevance of the research and the need to develop methods that allow assessing the level of safety of the disposal and destruction of ammunition sites are shown not only at the present time, but also in the future when land reclamation measures are applied. An improved criterion for assessing the safety level of the reclamation process of the lands of the disposal and destruction of ammunition sites was developed based on the use of a regulatory approach, and significant indicators were determined, namely: the probability of an explosion, the amount of excessive pressure in the air shock wave, and the level of degradation of the lands of the disposal and destruction of ammunition sites.

An improved method of assessing the safety level of the process of land reclamation of the disposal and destruction of munitions by using an improved criterion for assessing the safety level of the process has been developed. The proposed method is suitable not only for long-term evaluation, but also for operational safety management of similar objects. The main advantage of the proposed method in comparison with those used today is to take into account the entire complex of active factors of explosion risk and environmental danger, while minimizing the number of significant environmental quality indicators. Thanks to this, it becomes possible to reduce the amount of calculations required for accurate assessment by a set of regulatory criteria, and also simplifies the assessment procedure without loss of accuracy.

Key words: safety level, assessment criterion, assessment method, land recultivation, ammunition disposal and destruction, danger of explosion.

REFERENCES

1. Spain, J. C. (1995). Biodegradation of nitroaromatic compounds. *Annual Review of Microbiology*, 49, 523–555.

2. Ahluwalia, S. S., & Goyal, D. (2007). Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology*, 98, 2243–2257.

3. Kim, K. H., Ebinghaus, R., Schroeder, W. H., Blanchard, P., Kock, H. H., Steffen, A., Froude, F. A., Kim, M. Y., Hong, S., & Kim, J. H. (2005). Atmospheric mercury concentrations from several observatory sites in the northern hemisphere. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 50(1), 1–24.

4. Kumar, P., Deep, A., Kim, K. H., & Brown, R. J. C. (2015). Coordination polymers: opportunities and challenges for monitoring volatile organic compounds. *Progress in Polymer Science*, 45, 102–118.

5. Nyarko, B. J. B., Dampare, S. B., Serfor-Armah, Y., Osae, S., Adotey, D., & Adomako, D. (2008). Biomonitoring in the forest zone of Ghana: the primary results obtained using neutron activation analysis and lichens. *International Journal of Environment and Pollution*, 32, 467–476.

6. Ekmekyapar, F., Sabudak, T., & Seren, G. (2012). Assessment of heavy metal contamination in soil and wheat (*Triticum Aestivum L.*). plant around The Corlu-Cerkezko highway in Thrace Region. *Global NEST Journal*, 14(4), 496–504.

7. Jamali, M. K., Kazi, T. G., Arain, M. B., Afridi, H. I., Jalbani, N., Kandhro, G. A., Shah, A. Q., & Baig, J. A. (2009). Heavy metal accumulation in different varieties of wheat (*Triticum aestivum L.*). grown in soil amended with domestic sewage sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 164(2–3), 1386–1391.

8. Srivastav, A. L., Kaur, T., Rani, L., & Kumar, A. (2019). Scientific research production of India and China in environmental chemistry: a bibliometric assessment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 4989–4996.

9. Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., & Ma, L. Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*, 368, 456–464.

10. Leong, Y. K., & Chang, J.-S. (2020). Bioremediation of heavy metals using microalgae: recent advances and mechanisms. *Bioresource Technology*, 30, 122886.

11. Zou, Y., Wang, X., Khan, A., Wang, P., Liu, Y., Alsaedi, A., Hayat, T., & Wang, X. (2016). Environmental remediation and application of nanoscale zero-valent iron and its composites for the removal of heavy metal ions: a review. *Environmental Science & Technology*, 50, 7290–7304.

12. Zhang, C., Li, X., Chen, Z., Wen, T., Huang, S., Hayat, T., Alsaedi, A., & Wang, X. (2018). Synthesis of ordered mesoporous carbonaceous materials and its highly efficient capture of uranium from solutions. *Science China Chemistry*, 61, 281–293.

13. Wu, Q., Leung, J. Y. S., Du, Y., Kong, D., Shi, Y., Wang, Y., & Xiao, T. (2019). Trace metals in e-waste lead to serious health risk through consumption of rice growing near an abandoned e-waste recycling site: comparisons with PBDEs and AHFRs. *Environmental Pollution*, 247, 46–54.

14. Wu, Y., Pang, L. Y., Wang, X., Yu, S., Fu, D., Chen, J., & Wang, X. (2019). Environmental remediation of heavy metal ions by novelnanomaterials: a review. *Environmental Pollution*, 246, 608–620.

15. Chu, Z., Fan, X., Wang, W., & Huang, W. C. (2019). Quantitative evaluation of heavy metals' pollution hazards and estimation of heavy metals' environmental costs in leachate during food waste composting. *Waste Management*, 84, 119–128.

16. Gumpu, M. B., Sethuraman, S., Krishnan, U. M., & Rayappan, J. B. B. (2015). A review on detection of heavy metal ions in water – an electrochemical approach. *Sensors & Actuators, B: Chemical*, 213, 515–533.

17. Gong, T., Liu, J., Liu, X., Liu, J., Xiang, J., & Wu, Y. (2016). A sensitive and selective platform based on CdTe QDs in the presence of Lcysteine for detection of silver, mercury and copper ions in water and various drinks. *Food Chemistry*, 213, 306–312.

18. Guilarte, T. R. (2011). Manganese and Parkinson's disease: a critical review and new findings. *Cien Saude Colet*, 16, 4549–4566.

19. Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151, 362–367.

20. Kumar, P., Kim, K. H., Bansal, V., Lazarides, T., & Kumar, N. (2017). Progress in the sensing techniques for heavy metal ions using nanomaterials. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 54, 30–34.

21. Lim, H. S., Lee, J. S., Chon, H. T., Sager, M. (2008). Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au–Ag mine in Korea. *Journal of Geochemical Exploration*, 96, 223–230.

22. Mehta, J., Bhardwaj, S. K., Bhardwaj, N., Paul, A. K, Kumar, P., Kim, K. H., & Deep, A. (2016). A progress in the biosensing techniques for trace-level heavy metals. *Biotechnology Advances*, 34(1), 47–60.

23. Oves, M., Saghir, K. M., Huda, Q. A., Nadeen, F. M., & Almeelbi, T. (2016). Heavy metals: biological importance and detoxification strategies. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 7, 2.

24. Sevim, C., Dogan, E., & Comakli, S. (2020). Cardiovascular disease and toxic metals. *Current Opinion in Toxicology*, 19, 88–92.

25. Deutsche Forschungsgemeinschaft, & Trautwein, A. (1997). *Bioinorganic chemistry: transition metals in biology and their coordination chemistry*. Weinheim; New York; Chichester; Brisbane; Singapore; Toronto: Wiley-VCH.

26. Turdean, G. L. (2011). Design and development of biosensors for the detection of heavy metal toxicity. *International Journal of Electrochemical Science*, 2011, 1–15.

27. Wallace, D. R, & Djordjevic, A. B. (2020). Heavy metal and pesticide exposure: a mixture of potential toxicity and carcinogenicity. *Current Opinion in Toxicology*, 19, 72–79.

28. Gorecki, S., Nesslany, F., Hube, D., Mullot, J., Vasseur, P., Marchioni, E., Camel, V., Noël, L., Le, B. B., Guérin, T., Feidt, C., Archer, X., Mahe, A., & Rivière, G. (2017). 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. *Science of the Total Environment*, 599–600, 314–323.

29. Lima, D., Bezerra, M., Neves, E., & Moreira, F. (2011). Impact of ammunition and military explosives on human health and the environment. *Reviews on Environmental Health*, 26(2), 101-110.

30. Olson, K., & Tharp, M. (2020). How did the Passaic River, a Superfund site near Newark, New Jersey, become an Agent Orange dioxin TCDD hotspot? *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(2), 33A–37A.

31. Pichtel, J. (2012). Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012, 617236.

32. Ryu, H., Han, J., Jung, J. W., Bae, B., & Nam, K. (2007). Human health risk assessment of explosives and heavy metals at a military gunnery range. *Environmental Geochemistry and Health*, 29(4), 259–269.

33. Vasarevicius, S., & Greičiūte, K. (2004). Investigation of soil pollution with heavy metals in Lithuanian military grounds. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 12(4), 132-137.

34. Lewis, T. A., Newcombe, D. A., & Crawford, R. L. (2004). Bioremediation of soils contaminated with explosives. *Journal of Environmental Management*, 70(4), 291–307.

35. Dinake, P., Kelebemang, R., & Sehube, N. (2019). A comprehensive approach to speciation of lead and its contamination of firing range soils: a review. *Soil & Sediment Contamination*, 28, 1–29.

36. Etim, E.U. (2018). Batch leaching of Pb contaminated shooting range soil using citric acid modified washing solution and electrochemical reduction. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 3013–3020.

37. Moon, D. H., Park, J. W., Chang, Y. Y., Ok, Y. S., Lee, S. S., Ahmad, M., Koutsospyros, A., Park, J.H., & Baek, K. (2013). Immobilization of lead in contaminated firing range soil using biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 8464–8471.

38. Cao, X., Ma, L. Q., Chen, M., Hardison, D, W., & Harris, W. G. (2003). Lead transformation and distribution in the soils of shooting ranges in Florida, USA. *Science of the Total Environment*, 307, 179–189.

39. Lin, Z., Comet, B., Qvarfort, U., & Herbert, R. (1995). The chemical and mineralogical behaviour of Pb in shooting range soils from central Sweden. *Environmental Pollution*, 89, 303–309.

40. *Pro zatverdzhennja Gigijenichnyh reglamentiv dopustymogo vmistu himichnyh rechovyn u g'runti* [*On approval of Hygienic regulations for the permissible content of chemicals in the soil*], 1595 Order of the Ministry of Health of Ukraine (2020). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text. [in Ukrainian].

41. Lago-Vila, M., Rodríguez-Seijo, A., Vega, F. A., & Arenas-Lago, D. (2019). Phytotoxicity assays with hydroxyapatite nanoparticles lead the way to recover firing range soils. *Science of the Total Environment*, 690, 1151–1161.

42. Martin, W. A., Nestler, C. C., Wynter, M., & Larson, S. L. (2014). Bullet on bullet fragmentation profile in soils. *Journal of Environmental Management*, 146, 369–372.

43. Didovets, Yu., Koloskov, V., Koloskova, H., & Jinadu, A. (2021). Model' systemy upravlinnja bezpekoju rekul'tyvacii' zemel' misc' zneshkodzhennja ta znyshhennja bojeprypasiv [Model of safety management system of land recultivation of places of ammunition disposal and destruction]. *Technogenic and ecological safety*, 10(2/2021), 64–69. [in Ukrainian].

44. 2021 BATA Explosions – Equatorial Guinea. Multi-Cluster/Sector Initial Rapid Assessment (MIRA). (2021). OCHA, 14 p.

45. Broomandi, P., Guney, M., Kim, J. R., & Karaca, F. (2020). Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability*, 12, 9002.

46. Bulloch, G., Green, K., Sainsbury, M. G., Brockwell, J. S., Steeds, J. E., & Slade, N. J. (2001). Land Contamination: Technical Guidance on Special Sites: Explosives Manufacturing & Processing Sites. R&D Technical Report P5-042/TR/03. Environment Agency, 68 p.

47. Environmental Impact of Munition and Propellant Disposal. Final Report of Task Group AVT-115. (2010). Research and Technology Organisation / North Atlantic Treaty Organisation, 86 p.

48. Guilbaud, M. (2020). *The Environmental Impact of an Explosion. White Paper*. Geode, 43 p.

49. Hathaway, J. E., Rishel, J. P., Walsh, M. E., Walsh, M. R., & Taylor, S. (2015). Explosive particle soil surface dispersion model for detonated military munitions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(415), 4652.

50. Zwijnenburg, W., & te Pas, K. (2015). *Amidst the debris... A desktop study on the environmental and public health impact of Syria's conflict*. Colophon, 84 p.

51. Project Management Institute, Inc. (2013). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). – Fifth Edition. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc

52. Nykyforov, L. L. (2013). *Bezpeka zhyttjedijal'nosti: Navchal'nyj posibnyk* [*Safety of habitability: Tutorial*]. Dashkov i K. [in Ukrainian].

53. Andronov, V., & Koloskov, V. (2019). Factors of environmental condition of territories adjoined to municipal solid wastes landfills. *XVII Mizhnarodna naukovo-tehnichna konferencija «Problemy ekologichnoi' bezpeky». Materialy konferencii'* [*XVII International Scientific and Technical Conference "Problems of Environmental Safety". Conference proceedings*], Kremenchuk, KrNU, 204–207.

54. Pospelov, B. B., & Andronov, V. A. (2018). Modeli kachestva obnaruzhenija jekologicheskoj opasnosti po real'nym dannym monitoringa [Quality models of environmental hazard detection based on real monitoring data]. *Technogenic and ecological safety*, 3(1/2018), 3–7. [in Russian].

55. Koloskov, V. (2018). Vyznachennja znachushhyh pokaznykiv kryteriju ekologichnogo rezervu terytorij, pryleglyh do misc' zberigannja vidhodiv [Identification of significant indicators for environmental reserve criterion of territories adjoined to wastes storage places based]. *Technogenic and ecological safety*, 3(1/2018), 44–51. [in Ukrainian].

56. *Sposib vyjavlennja oseredkiv nebezpeky pid chas rekul'tyvacii' zemel' miscja zneshkodzhennja ta znyshhennja bojeprypasiv* [*Method of detecting hazard foci during land reclamation of the place of neutralization and destruction of ammunition*] (UA Patent 149180). (20.10.2021). UA Patent. [in Ukrainian].