

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ МІСЦЬ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА ЗНИЩЕННЯ БОЄПРИПАСІВ

Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Національний університет цивільного захисту України,
Україна,

Колоскова Г.М., Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Україна

На сучасному етапі розвитку Збройних Сил України особливої актуальності набуває завдання забезпечення екологічної безпеки місць зберігання та знешкодження боєприпасів, які вичерпали термін безпечної експлуатації, або ж умови зберігання яких було суттєво порушено. Особливої гостроти це завдання набуває у зв'язку з агресією Російської Федерації на сході України та пов'язаним з нею масштабним забрудненням території нашої держави вибухонебезпечними предметами.

Близько 85% вибухових речовин належать до надзвичайно небезпечних (1-й клас) і високонебезпечних (2-й клас) речовин [1]. Попередні дослідження різних авторів показали наявність суттєвих за рівнем небезпеки забруднень повітря, води та ґрунту у місцях, де відбуваються вибухи боєприпасів [2]. Зокрема, було встановлено наявність важких металів – хрому, нікелю, свинцю, цинку, марганцю – у ґрунті [3] та поверхневих водах [4] військових полігонів у концентраціях, що перевищують фонові значення.

Значні шкідливі наслідки для навколишнього середовища чинять нітроароматичні та нітрамінові вибухові речовини, зокрема, 2,4,6-тринітротолуол (тринітротолуол), гексагідро-1,3,5-тринітро-1,3,5-триазин (гексоген) та октагідро-1,3,5,7-тетранітро-1,3,5,7-тетразоцин (октоген) [5]. До переліку «пріоритетних забруднювачів» Американським агентством охорони навколишнього природного середовища включено гексоген, октоген та тринітротолуол [6]. Їх видалення із ділянок, що піддалися забрудненню, є першочерговим.

За певних умов вибухові речовини або продукти їх деградації можуть завдяки міграції забруднювати підземні води. Втім, найбільшого забруднення зазнають саме ґрунти. Вплив на ґрунти у місці знешкодження та наступного знищення боєприпасів визначається чинниками вибуху та складається з наступних фізичних та хімічних компонентів [7-13]:

- елементи боєприпасів, які утворюються під час вибухів та можуть розлітатися на достатньо велику відстань та заглиблюватися у ґрунт;
- зміна рельєфу у місцях вибухів з утворенням кратерів або воронок;
- компресійний вплив ударної вибухової хвилі, який змінює густину ґрунту та його структуру;
- забруднення вибуховими речовинами або паливом, які є за своєю природою органічними речовинами,
- забруднення важкими металами;
- забруднення хімічними речовинами, що є складовою частиною заряду боєприпасів.

Слід зазначити, що радіаційне забруднення у випадку знищення боєприпасів вибухом можливе лише у випадку наявності у складі боєприпасів радіоактивних речовин, наприклад, збідненого урану. Наслідком вибуху може стати також непрямий вплив на довкілля через виникнення загоряння трав'яного покриву, або дерев, попередження яких є обов'язковим при підготовці вибуху.

Для відновлення ґрунтів, забруднених внаслідок вибухів, можна запропонувати використання наступних технологій [7]:

- технології цивільного будівництва, зокрема, утворення покривних чи бар'єрних споруд на території місця знищення боєприпасів або полігонів утилізації відходів;

- біотехнології, включаючи біоремедіацію ґрунтів з використанням мікроорганізмів або грибків та фіторемедіацію ґрунтів за допомогою рослин;

- хімічні технології, зокрема, промивання ґрунтів з наступним виділенням розчинених компонентів;

- фізичні технології, які також базуються на промиванні ґрунтів з механічним виділенням невеликих фрагментів боєприпасів;

- теплові технології, зокрема, термічна десорбція органічних вибухових речовин.

Утворення покривних споруд для місць знешкодження та знищення боєприпасів не є доцільним, оскільки таким чином вміст забруднювачів консервується у ґрунті, натомість, не заважаючи їх подальшому переміщенню в товщі землі та подальшому розповсюдженню. Втім, ця технологія може бути використана як тимчасова у випадку неможливості прибрати наявні залишки боєприпасів.

Біотехнології можуть бути застосовані для видалення з ґрунту забруднень у вигляді органічних вибухонебезпечних та паливних речовин або важких металів [6, 14]. Обов'язковою умовою ефективного використання біотехнологій є присутність забруднень у вигляді достатньо невеликих за розміром часток. Натомість після знищення боєприпасів з дискретним наповненням (гранули, пластини, тощо) біотехнології потребують попередньої підготовки ґрунтів з метою видалення великих шматків забруднюючої речовини, або їх зменшення. Також погіршують умови роботи біотехнології наслідки компресійного впливу ударної вибухової хвилі, зокрема, ущільнення ґрунту, яке погіршує умови надходження вологи та кисню углиб його поверхні.

Через велику стійкість вибухових та паливних речовин у ґрунті проведення для них біоремедіації *in situ* (безпосередньо на місці вибуху) є практично неможливим. Натомість достатню ефективність демонструють методи біоремедіації *in situ* у вигляді фіторемедіації [15, 16], зокрема, при видаленні важких металів – свинцю, кадмію, миш'яку, тощо. Для органічних речовин ефективним є біоремедіація *ex situ* (на підготовленому майданчику) з використанням компостування або біокуп [17].

Окремо слід відзначити можливість переміщення забрудненого ґрунту на полігон накопичення відходів, однак у цьому випадку за наявності в ґрунті вибухонебезпечних речовин у достатньо великій кількості поводження з ним

потребує забезпечення особливих вимог стосовно безпеки транспортування та зберігання.

Промивання ґрунту може використовуватися як для видалення шматків забруднюючих речовин, так і для розчинення та виділення з ґрунту їх малих часток. Втім, за такого підходу властивості ґрунту суттєво погіршуються, а його використання є доцільним лише за наявності великих обсягів забруднень. Натомість, просіювання ґрунту дозволить видалити великі шматки забруднюючих речовин, які становлять небезпеку.

Використання термічної десорбції засноване на випалюванні забруднюючих речовин з оброблюваного ґрунту і може використовуватися як *in situ* так і *ex situ*. Суттєвим недоліком такої технології є виділення великих обсягів оксидів азоту, що є продуктами спалювання органічних вибухових та паливних речовин. Її практичне використання потребує відповідного очищення газів, що викидатимуться в атмосферу.

У окремих випадках за наявності в ґрунті вибухонебезпечних предметів постає завдання їх ідентифікації та видалення до початку процесу відновлення ґрунту. Пошук таких предметів найдоцільніше проводити з використанням дистанційних методів контролю. Для їх нейтралізації (або у певних випадках для доведення їх відсутності) може застосовуватися технологія контрольованого вибуху.

За результатами аналізу вищенаведених технологій у порівнянні з чинниками негативного впливу на ґрунти місця знешкодження та знищення боєприпасів можна зробити висновок про відсутність на сьогоднішній день єдиної технології рекультивації земель подібних об'єктів, яка б дозволила вирішити всі посталі завдання. Необхідним є створення на їх основі єдиного комплексу технологій захисту навколишнього середовища та методики їх застосування з метою швидкого та ефективного видалення з ґрунтів всіх наявних забруднюючих речовин з урахуванням факторів вибухонебезпеки, яку можуть становити не лише залишки боєприпасів, а й сам забруднений вибуховими речовинами ґрунт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Нечипорук Н. В., Стеблина М. А., Полищук Е. А., Колосков В. Ю. Утилизация непригодных для дальнейшего использования авиационных боеприпасов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. 2010. № 48. С. 227–233.

2. Lima D., Bezerra M., Neves E., Moreira F. Impact of ammunition and military explosives on human health and the environment // Reviews on environmental health. 2011. Vol. 26, No. 2. P. 101-110.

3. 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, No. 4. P. 132-137.

4. Idzelis R. L., Greičiūte K., Paliulis D. Investigation and evaluation of surface water pollution with heavy metals and oil products in Kairiai Military Ground

territory // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 2006. Vol. 14, No. 4. P. 183-190.

5. Lewis T. A., Newcombe D. A., Crawford R. L. Bioremediation of soils contaminated with explosives // Journal of Environmental Management. 2004. Vol. 70, No. 4. P. 291–307

6. Hawari J., Beaudet S., Halasz A., Thiboutot S., Ampleman G. Microbial degradation of explosives: biotransformation versus mineralization // Applied Microbiology and Biotechnology. 2000. Vol. 54, No. 5. P. 605-618.

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

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

9. 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.

10. 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.

11. Hathaway J. E., Rishel J. P., Walsh M. E., Walsh M. R., Taylor S. Explosive particle soil surface dispersion model for detonated military munitions. // Environmental Monitoring and Assessment. 2015. Vol. 187, No. 415.

12. Broomandi P., Guney M., Kim J. R., Karaca F. Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. // Sustainability. 2020. Vol. 12, No. 9002.

13. 2021 BATA Explosions – Equatorial Guinea. Multi-Cluster/Sector Initial Rapid Assessment (MIRA). – OCHA, 2021. – 14 p.

14. Ndibe T., Benjamin B., Eugene W., Usman J. A Review on Biodegradation and Biotransformation of Explosive Chemicals. // European Journal of Engineering and Technology Research. 2018. Vol. 3, No. 11. P. 58-65.

15. Kanwar V. S., Sharma A., Srivastav A. L., Rani L. Phytoremediation of toxic metals present in soil and water environment: a critical review. // Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27. P. 44835–44860.

16. Gao J.-j., Peng R.-h., Zhu B., Tian Y.-s., Xu J., Wang B., Fu X.-y., Han H.-j., Wang L.-j., Zhang F.-j., Zhang W.-h., Deng Y.-d., Wan Y., Li Z.-J., Yao Q.-H. Enhanced phytoremediation of TNT and cobalt co-contaminated soil by AfSSB transformed plant. // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021. Vol. 220, No. 112407.

17. Doyle R. C., Isbister J. D., Anspach G. L., Kitchens J. F. Composting Explosives/Organics Contaminated Soils. Atlantic Research Corporation, 1986. – 198 p.