

ЗАСМІЧЕННЯ ҐРУНТІВ ПОТЕНЦІЙНО ТОКСИЧНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ПРИ РОЗРИВІ БОЙОВИХ РАКЕТ: МАТЕРІАЛИ, ЇХ ХІМІЧНИЙ СКЛАД, ПРОБЛЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ

Михайлюк В.І.,

доктор географічних наук, професор
професор кафедри геодезії, землеустрою та земельного кадастру,
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна

Проведені дослідження [1] виявили відсутність забруднення ґрунтів при підриві протитанкових мін та артилерійських снарядів. При цьому було зауважено, що значну небезпеку становлять так звані «потенційно токсичні елементи», якими є металеві і неметалеві рештки бойових засобів, що з часом, після відповідних хімічних та фізичних процесів і реакцій, можуть трансформуватися в токсичні сполуки. Так, дослідження військових полігонів засвідчило їхнє значне забрудненіми токсичними сполуками, головним чином вибуховими речовинами та рештками боєприпасів, що містять шкідливі речовини, включаючи сурму (Sb), свинець (Pb), уран (U), 2, 4-динітротолуол (ДНТ), 2, 4, 6-тринітротолуол (тротил), 1, 3, 5-тринітро-1,3,5-тріазациклогексан (RDX) та інші. Переважна більшість цих сполук є стійкими до біологічного розкладання, залишаються в біосфері, стаючи джерелом забруднення її компонентів [2].

Обстеження місця розриву бойової ракети (ймовірно крилатої ракети «Іскандер») в м. Одесі виявило значну кількість різноманітних її решток на поверхні ґрунту і в ґрунтовій масі вирви (рис.). Наявні рештки, у свою чергу, засвідчили складність дослідження їхньої потенційної небезпеки і необхідність міждисциплінарного підходу для ідентифікації і прогнозування рівня забруднення ґрунтів. Проблемними є такі питання: - недостатня інформація про специфічний хімічний склад бойових ракет; - складність ідентифікації токсичних елементів через їхнє нерівномірне розподілення в ґрунті і трансформацію під час вибуху; - оцінка довготривалого впливу решток бойових засобів на ґрунти; - розробка ефективних методів ремедіації, що відповідають локальним екологічним умовам.

Сучасні бойові ракети мають складну конструкцію, яка включає метали, полімери, композитні матеріали та вибухові речовини. У разі вибуху ракети основними джерелами забруднення ґрунтів, яке може мати довготривалий характер, є залишки корпусу, ущільнювальних матеріалів, продуктів згоряння палива та решток вибухових речовин. Виявлені рештки ракети у вирві і на поверхні ґрунту включали сталі осколки, уламки алюмінієвих елементів ракети, дрібні мідні деталі, резину, обгорілу структуру, що нагадує тканину зі штучного волокна, в тому числі із полімерним покриттям, порошкоподібний матеріал білого кольору.

Із відкритих джерел відомо, що основними матеріалами, що утворюються при розриві ракет, є:

Метали та їхні сплави:

- сталь, основним компонентом якої є залізо (Fe), а також додаткові легуючі елементи – нікель (Ni), хром (Cr), молібден (Mo).

- дюралюміній (сплав алюмінію (Al) з міддю (Cu), магнієм (Mg), і марганцем (Mn), алюміній-літєві (Li) сплави і сплави алюмінію з кремнієм (Si). Алюміній може входити до складу пального (твердого палива) як порошок.

- титан (Ti), що залишається у вигляді уламків, стійких до корозії.

- мідь (Cu): потрапляє у ґрунт як частина електронних компонентів або провідників.

- свинець (Pb) присутній у детонаторах і вибухових речовинах для стабільності та підвищення ефективності; також використовується у вигляді сполук у деяких вибухових сумішах.

- кадмій (Cd) використовується в електронних компонентах ракет і для захисту деталей від корозії.

- ртуть (Hg) може входити до складу електронних сенсорів і систем керування.

Полімерні матеріали:

- каучуки, що використовуються в ущільненнях та ізоляції. Наприклад, бутадієн-нітрильний каучук (NBR) або силіконові полімери.

- фенолформальдегідні смоли, які присутні у теплозахисних покриттях і композитах.

- тефлон, полііміди, силікони, поліуретан, кевлар, епоксидні смоли.

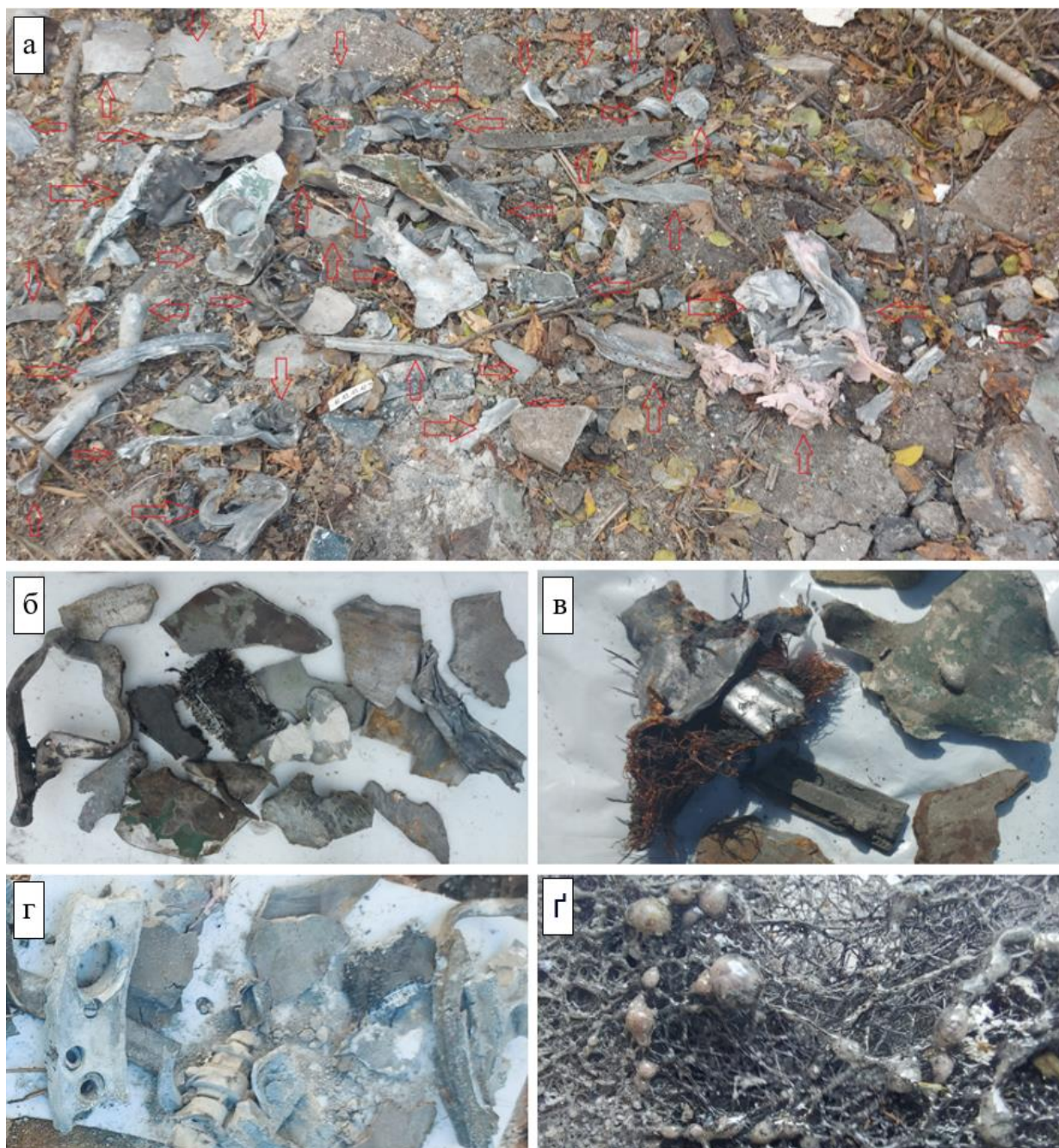


Рис. Рештки бойової ракети як потенційно токсичні елементи: а) на поверхні ґрунту; б), в), г) металеві (сталеві, алюмінієві, мідні) осколки, фрагменти полімерних матеріалів і порошкоподібні рештки; г) мікрофотографія горілого матеріалу

Залишки твердого ракетного палива:

- поліуретанові або полібутадієнові сполуки, а також окисники, такі як перхлорати або нітрати. Після вибуху залишають тверді частинки, що можуть включати токсичні компоненти.

Теплозахисні матеріали:

- композити на основі карбонових волокон, які залишають у ґрунті крихкі залишки.

- магнієві сплави, силіконові та фенольні смоли, алюмосилікатні матеріали, гідрогелі та полімерні теплоізоляційні матеріали.

Продукти розкладу вибухових речовин:

- нітрати та нітроти як результат взаємодії речовин після детонації тротилу, гексогену, октогену; динітротолуол, мононітротолуол та інші нітросполуки як результат неповного розкладання вибухових речовин; оксиди алюмінію і магнію; сірковмісні компоненти; поліциклічні ароматичні вуглеводні; хлорорганічні сполуки.

Таким чином, рештки бойових ракет є значним джерелом забруднення ґрунтів, яке буде мати довготривалі екологічні наслідки, зважаючи на те, що залишки металів, полімерів та вибухових речовин мають комплексний негативний вплив на екологічні функції ґрунту. Для дослідження потенційно токсичних елементів, які залишаються після вибуху ракети, та їхнього впливу на ґрунти та інші компоненти екосистеми необхідно залучати комплексні міждисциплінарні підходи з участю фахівців у галузях екології, хімії, токсикології, матеріалознавства та ґрунтознавства.

Список джерел:

1. Михайлюк В. Вплив воєнних дій на ґрунтовий покрив та проблеми його оцінювання. *Актуальні аспекти розвитку науки і освіти*: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конф. науково-педагогічних працівників та молодих науковців, 24 - 25 жовтня 2024 р., Одеса : Одеський державний аграрний університет, 2024. С. 279-284. URL: https://osau.edu.ua/wp-content/uploads/2024/11/Zbirnyk-materialiv_24-25.10e.2024.pdf#pag=281.
2. Broomandi P. et al. Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review. *Sustainability*. 2020. 12 (21): 9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002>.