

ПРОЦЕДУРИ ГЕОПРОСТОРОВОГО ПРОФІЛЮВАННЯ ТЕРИТОРІЙ МОЖЛИВОГО РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВНАСЛІДОК РАКЕТНО- АРТИЛЕРІЙСКИХ УРАЖЕНЬ

Рашкевич Н. В., Краснов В. А., Гузь А. С.

Національний університет цивільного захисту України

Анотація. Стаття присвячена розробці алгоритму геопросторового профілювання для оцінки радіаційного забруднення та мінімізації екологічних ризиків на територіях, що зазнали ракетно-артилерійських уражень. В роботі описані процедури етапів алгоритму, які включають визначення меж території та наявних даних про обстріли, збір вихідних даних за допомогою дистанційного зондування, картування небезпеки та дослідження забрудненого середовища на периметрі ураженої території. Зазначено використання супутникових знімків, геофізичних вимірювань та польового скринінгу для створення інтегрованих карт забруднень та прогнозування міграції радіоактивних речовин. Зібрані дані можна об'єднати в єдину геоінформаційну структуру, що дозволяє побудувати концептуальну модель забрудненого середовища, виконати моделювання ризиків та приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо моніторингу та відновлення уражених територій.

Ключові слова: забруднення, моніторинг, ГІС, картування небезпеки, управлінські рішення.

Вступ

Масовані ракетно-артилерійські ураження спричиняють не лише масштабні руйнування, а й формують техногенно-екологічне середовище з вторинними небезпечними факторами, серед яких – ризики радіаційного забруднення внаслідок пошкодження радіаційно небезпечних об'єктів. Потрапляння радіонуклідів у довкілля становить загрозу для ґрунтів, поверхневих та підземних вод, якості повітря та здоров'я населення.

Території бойових дій, зазвичай, характеризуються обмеженим або частковим доступом через мінно-вибухову небезпеку, ризик обвалів, пожеж та вторинних викидів. Це ускладнює класичні інструментальні обстеження та повномасштабний відбір проб. За таких умов пріоритет набувають узгоджені організаційно-технічні процедури геопросторового профілювання – стандартизований підхід до швидкого виявлення, локалізації та первинної оцінки ймовірного радіаційного впливу.

Аналіз публікацій

Накопичений науковий досвід дозволяє визначити типові закономірності поширення забруднювачів, оцінити їхню токсикологічну та радіаційну дію, окреслити напрями вдосконалення моніторингу й відбору проб у зонах ведення бойових дій.

За результатами дослідження [1] у ґрунтах Харківської області, що зазнали артилерійських обстрілів, зафіксовано значні концентра-

ції свинцю, цинку та міді, які перевищують фонові значення у 2–5 разів. Подібні закономірності встановлено й у роботі [2], де доведено, що бойові дії призводять не лише до хімічної, а й до структурної деградації ґрунтів, зниження вмісту гумусу та зміни гранулометричного складу.

Небезпечними є зони уражень, розташовані поблизу інфраструктури, що містять токсичні речовини – нафтобази, хімічні склади, очисні споруди. Прикладом є дослідження [3], у якому змодельовано викиди забруднювачів унаслідок пожежі на Калинівській нафтобазі після ракетного удару. Автори визначили перевищення граничнодопустимих концентрацій оксидів вуглецю, сірки, формальдегіду та поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Ці сполуки мають не лише токсикологічну, а й кумулятивну дію, що підвищує довгострокові ризики для екосистем.

У дослідженні [4] встановлено підвищений вміст нікелю, кадмію та хрому у пробах ґрунту, відібраних у районах, де відбувалися обстріли. Отримані результати підтверджують тенденцію до локального формування осередків небезпечного забруднення, які зберігають високу токсичність протягом тривалого часу навіть без безпосереднього контакту з джерелом ураження.

Системний аналіз екологічних наслідків війни подано в оглядовій праці [5], де підкреслюється багатовимірний характер воєнного забруднення – поєднання важких металів,

нітратів, вибухових залишків, радіонуклідів та мікропластику. Аналогічні висновки наводять аналітичний звіт [6], у якому обґрунтовано потребу розроблення методик швидкої ідентифікації цільових забруднювачів у зонах обмеженого доступу.

Дослідження [7–10] деталізують методологічні підходи до оцінки та картографування радіаційного впливу за умов надзвичайних ситуацій. У стандартах МАГАТЕ [7] наголошено на важливості інтеграції дистанційних методів спостереження, польових вимірювань і моделювання для оперативного визначення зон потенційного забруднення. Згідно з рекомендаціями МАГАТЕ з радіоелементного картографування [8], основою створення просторових моделей розподілу потужності дози є гамма-спектрометричні зйомки, що можуть проводитися як наземними, так і повітряними платформами.

В останні роки розвиваються технології безпілотного радіаційного моніторингу, що дають змогу отримувати високоточні дані у зонах з обмеженим доступом [9–11].

Додатковим інструментом є використання даних супутникового зондування та геоінформаційних платформ. Дослідження [12, 13] показують, що поєднання аерофотозйомки, даних Copernicus EMS та топографічних моделей підвищує точність виявлення осередків забруднення та визначення потенційних шляхів міграції радіонуклідів. У моделях прогнозування перенесення радіоактивних речовин найчастіше застосовуються лагранжеві схеми FLEXPART, системи підтримки рішень RODOS [14, 15], що забезпечують побудову карт випадіння, оцінку дозових навантажень, формування рекомендацій щодо зон евакуації чи обмеження доступу.

Аналіз досвіду великих аварій, зокрема узагальнення Комітету UNSCEAR [16], дозволяє визначити референтні рівні експозицій та ключові ізотопи-контамінанти для сценаріїв воєнного походження. У цих матеріалах підкреслюється значення реконструкції доз за допомогою комбінованих підходів — від спектрометрії до біологічного моніторингу. Для забезпечення уніфікованого представлення даних у межах систем цивільного захисту та військово-технічного реагування доцільним є застосування стандартів НАТО [17], які регламентують процедури обміну інформацією, прогнозування зон ураження та створення спільних геопросторових продуктів для оперативного управління ризиками.

Враховуючи складність і небезпечність

робіт у зонах ураження, традиційні способи відбору проб і лабораторного аналізу часто виявляються малоефективними. Це зумовлює необхідність застосування інноваційних рішень для організації моніторингу та збору даних у реальному часі.

У роботі [18] обґрунтовано інформаційну QR-технологію організації моніторингу поверхневих вод у зонах бойових дій, що фактично об'єднує точку відбору, метадані та ланцюжок супроводу проби з цифровою формою.

Дослідниками [19] систематизовано методи попередження надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури через ідентифікацію водних розчинів.

У статті [20] подано приклад практичної методики запобігання техногенним надзвичайних ситуацій у зоні бойових дій із акцентом на швидкий скринінг. Дослідження [21] про динаміку надзвичайних ситуацій від ракетно-артилерійських уражень задає емпіричну базу для пріоритизації територій і ресурсів. Матеріали [22] щодо оптимізації відбору проб ґрунту дають прикладні критерії розміщення точок і глибин, кратності та маршрутів за умов часткового доступу.

Сучасні підходи до забезпечення екологічної безпеки територій, уражених ракетно-артилерійськими ударами, формуються на перетині трьох блоків: польового моніторингу за умов обмеженого доступу, дистанційного зондування та стандартизованих процедур відбору й управління даними.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є розробка алгоритму геопросторового профілювання як невіддільної складової організаційно-технічного методу попередження надзвичайних ситуацій на територіях, що зазнали ракетно-артилерійських уражень. Для досягнення мети пропонується обґрунтувати та описати процедури, що адаптовані до режиму обмеженого доступу, інтегрувати дистанційні, польові та лабораторні дані у єдину схему підтримки рішень.

Алгоритм геопросторового профілювання території можливого радіаційного забруднення

Геопросторове профілювання території, складається з процедур, кожна з яких має на меті забезпечити оцінку забруднення та мінімізацію ризиків для довкілля та здоров'я населення.

Розглянемо послідовність процедур, які можна поєднати в окремі етапи (рис. 1), починаючи з «Визначення меж території та наявних даних про обстріли», що є основою для подальших етапів моніторингу та аналізу.



Рис. 1. Алгоритм геопросторового профілювання території можливого радіаційного забруднення внаслідок ракетно-артилерійських уражень

Метою етапу «Визначення меж території та наявних даних про обстріли» є визначення географічних та адміністративних меж досліджуваної території, а також ідентифікація всіх наявних даних про характер та масштаби уражень.

На цьому етапі здійснюється збір та систематизація інформації щодо типів боєприпасів, щільності та часу обстрілів, орієнтовних координат вирв, а також можливих забруднювачів. Аналізуються географічні та адміністративні дані: межі територій та населених пунктів, санітарно-захисні зони, обмеження доступу, «червоні лінії» та зони мінної небезпеки.

Джерела інформації на цьому етапі охоплюють державні геопортали та кадастри, звіти військових, ДСНС та місцевих органів влади, відкриті супутникові платформи.

Вихідними продуктами є:

- попередня карта території з позначеними межами та адміністративними одиницями;
- базовий реєстр подій ураження з часовими та просторовими мітками;
- таблиця наявних даних про типи боєприпасів;
- зведена аналітична записка, що містить

прогалини даних, припущення, рекомендації для наступного етапу.

Метою етапу «Збору вихідних даних з ураженої території (дистанційно)» є швидке та безпечне формування інформаційної бази, необхідної для первинної оцінки ризику забруднення на територіях, що зазнали ракетно-артилерійських уражень, за умов неможливості прямого доступу до об'єкта.

На цьому етапі слід збирати:

1. Геологічні та гідрогеологічні характеристики ґрунтів, а саме:

- карти розповсюдження ґрунтових та літологічних типів (піски, суглинки, тріщинуваті породи), коефіцієнти фільтрації;
- наявні спостережні свердловини та колодязі, історія рівнів ґрунтових вод;
- топографія та рельєфні особливості території, що впливають на стік і ерозійні процеси.

2. Історичні дані щодо хімічного складу ґрунту (метали, органічні компоненти, наявність залишків вибухових речовин та паливомастильних матеріалів);

3. Дистанційні спостереження:

- супутникові знімки (оптичні та SAR) для порівняння «до/після» обстрілів;
- цифрові моделі рельєфу, межі водозборів, дренажні мережі;
- ознаки ерозії, підтоплення та зміни вологості, а також вегетаційні індекси для оцінки стану ґрунту.

4. Інженерна інфраструктура та водокористування:

- координати, глибини та призначення водозаборів, свердловин, колодязів;
- підземні резервуари, трубопроводи, дренажні системи та очисні споруди.

До джерел інформації відносяться державні геопортали, кадастри, архіви геологорозвідки, гідрогеологічні служби, метеорологічні служби, гідрологічні служби, санітарно-епідеміологічні служби, державні та муніципальні лабораторії, водоканали, екологічні служби, комунальні підприємства, супутникові платформи (оптичні та SAR), OSINT-ресурси, картографічні сервіси, військові служби та ДСНС.

Вихідні продукти формуються у вигляді:

- пакета базових шарів ГІС: карти ґрунтових типів, топографія, точки потенційного забруднення, існуючі свердловини та колодязі, межі небезпечних зон і санітарних охоронних зон;
- таблиці фонового хімічного складу ґрунту з джерелами даних;

– зведеної аналітичної записки, що містить прогалини даних, припущення, рекомендації для наступного етапу.

Метою етапу «Картування небезпеки» є визуалізація просторового розподілу потенційних джерел забруднення, зон ураження та природних характеристик території, що визначають шляхи міграції небезпечних речовин у ґрунті та потенційний контакт із водонесними горизонтами.

На цьому етапі здійснюється просторове відображення інформації, зібраної на попередніх етапах: меж території, точки уражень, типи боєприпасів, потенційні забруднювачі, наявні свердловини та колодязі, топографія, рельєф, гідрологічні характеристики, дренажні системи та межі водозборів. Інтегруються дані дистанційного моніторингу, включаючи супутникові знімки (оптичні та SAR), цифрові моделі рельєфу та вегетаційні індекси, що дозволяють оцінити стан ґрунтів, ознаки ерозії, підтоплення та зміни вологості.

Процес картування включає цифрову обробку даних, геоприв'язку, накладання шарів та класифікацію території за рівнем небезпеки. На основі цих даних створюються карти потенційного розповсюдження забруднювачів, зони пріоритетного моніторингу та можливі маршрути фільтрації у водонесні горизонти.

Вихідні продукти формуються у вигляді:

- карт зон ураження та потенційного забруднення ґрунтів;
- цифрових моделей рельєфу та водозборів з нанесеними точками джерел забруднення;
- шарів ГІС із позначенням наявних свердловин, колодязів, інженерної інфраструктури та дренажних систем;
- інтегрованих карт, які відображають потенційні шляхи міграції забруднювачів і зони пріоритетного моніторингу.

Етап «Дослідження забрудненого середовища на периметрі ураженої території» передбачає комплексну оцінку фізичних, хімічних та гідрологічних характеристик ґрунтового середовища без прямого входу на небезпечну територію.

На цьому етапі застосовуються два взаємодоповнюючих підходи:

1. Геофізичні вимірювання з периметра для оцінки фізичних властивостей ґрунту, виявлення аномальних зон та потенційних концентрацій забруднювачів. Застосовуються георадар, електропровідність, магнітні та

електромагнітні сенсори, інфрачервоні та теплові датчики.

2. Польовий скринінг на периметрі для отримання кількісних та якісних даних про хімічний склад ґрунту. Об'єктами скринінгу є приватні та громадські колодязі, технічні/питні свердловини, витоки, ділянки з підтопленням, дренажні канали.

Вихідні продукти етапу формуються у вигляді:

- карт зон потенційного забруднення ґрунту з оцінкою фізичних та хімічних аномалій;
- бази даних польових проб із зазначенням локалізації, часу відбору та результатів аналізів;
- інтегрованих карт та шарів ГІС, що відображають потенційні шляхи поширення забруднювачів;
- аналітичної записки з визначенням пріоритетних зон для подальшого поглибленого моніторингу.

Таким чином, блок «Дослідження стану забрудненого середовища на периметрі ураженої території» забезпечує безпечне отримання даних, інтегрує дистанційні та польові методи, визначає критичні ділянки для подальших досліджень та слугує основою для побудови концептуальної моделі та планування превентивних та коригувальних заходів.

Етап повторного «Картування небезпеки-2» спрямований на інтеграцію результатів попередніх етапів спостережень і вимірювань – дистанційного картування, геофізичних досліджень із периметра та польового скринінгу – з метою створення узгодженої бази просторових даних, необхідної для подальшого формування математичних моделей, оцінки ризику та планування моніторингу.

Вихідні продукти:

- узагальнена карта «Картування небезпеки-2» з інтеграцією всіх наявних даних у єдину геоінформаційну структуру;
- карти аномалій (вологості, провідності, підтоплення, концентрацій) з ранжуванням зон за рівнем потенційного ризику;
- пакет базових шарів ГІС для подальшого просторового зонування, моделювання небезпеки.

Таким чином, блок «Картування небезпеки-2» виконує роль інтеграційного аналітичного вузла, що забезпечує перехід від фрагментарних даних спостережень до системно узгодженої просторової моделі стану ґрунто-

вого середовища.

На основі перевірки повноти та якості вихідних даних приймається рішення щодо переходу до наступного етапу або повернення до уточнення/доповнення даних.

Повнота визначає, чи зібрано мінімально необхідний набір шарів та вимірів, достатніх для побудови концептуальної моделі забрудненого середовища та обґрунтованого планування подальших дій. Мінімальний набір включає:

1. Геологію/гідрогеологію.
2. Дистанційне картування – локалізація зон уражень/воронок, картка підтоплення та вологості, потенційні шляхи міграції забруднювачів.
3. Геофізичні вимірювання з периметра.
4. Польовий скринінг на периметрі.
5. Дані про ураження – типи боєприпасів, ймовірні забруднювачі, часові мітки, щільність.
6. Вразливі точки – колодязі, свердловини, джерела, поверхневі води в зоні впливу.
7. Метадані – джерело, дата, просторове покриття, точність, проєкція.

Основними індикаторами якості є:

- актуальність у часі, тобто покриття ключових супутникових сцен та подій ураження «до» і «після» та відсутність застарілості для поточної фази оцінки;
- просторова роздільність, що достатня для картування вирв та зон підтоплення;
- геоприв'язка, при якій відхилення не перевищують 1–2 пікселі для растрових шарів та використовується GNSS для точкових даних;
- точність вимірів, забезпечену калібруванням приладів та збіжними повторними вимірами, при яких розкид не перевищує допустимого значення згідно стандартних операційних процедур;
- повторюваність, коли аномалії підтверджуються щонайменше двома незалежними джерелами;
- рівень оцінки невизначеності, коли кожний шар характеризується надійністю (високий, середній або низький).

Якщо дані достатні («Так») побудову у таких випадках алгоритм переходить до побудови концептуальної моделі забрудненого середовища. При цьому:

- чек-лист повноти закритий, усі 7 ключових категорій представлені у мінімальному обсязі;

- існує узгоджена картина «джерело → шлях → реципієнт», ключові аномалії підтверджені перехресно;

- невизначеність керована, відсутні критичні «білі плями», що блокують побудову концептуальної моделі забрудненого середовища.

Якщо дані недостатні («Ні») – повертаються до вищезазначених етапів з конкретним технічним завданням щодо доповнення або повторення вимірів. При цьому:

- відсутній один або кілька базових шарів;
- якість даних неприйнятна;
- висока невизначеність, а саме суперечливі сигнали від різних джерел без пояснення.

Вищезазначені етапи формують інформаційну базу для побудови концептуальної моделі забрудненого середовища, що є основою для подальшої оцінки ризиків та прийняття управлінських рішень. Зібрані дані дозволяють створити точну картину екологічної ситуації на уражених територіях, що дає змогу визначити найбільш небезпечні зони, пріоритетні напрямки для моніторингу та реагування, а також оптимізувати ресурси для ліквідації наслідків забруднення.

Висновки

Розроблений алгоритм геопросторового профілювання території можливого радіаційного забруднення внаслідок ракетно-артилерійських уражень, складається з етапів «Визначення меж території та наявних даних про обстріли», «Збору вихідних даних з ураженої території (дистанційно)», «Картування безпеки», «Дослідження забрудненого середовища на периметрі ураженої території». Процедури на зазначених етапах дозволяють інтегрувати дані з різних джерел, таких як дистанційне зондування, польовий моніторинг та геопросторове картування, для створення загальної інформаційної бази оперативного оцінювання рівня забруднення території, визначення зони найбільшого ризику та прийняття управлінських рішень щодо зменшення екологічних та техногенних загроз.

Література

1. Krainiuk O.V., Buts Y.V., Ponomarenko R.V., Asotskyi V.V., E.A. Damofal, A.Y. Kalinovskiy, Maniuk V.V. Environmental consequences of military operations in Ukraine on the example of soil research in the Kharkiv region. *Journal of Geol. Geograph. Geoecology*, 2024. Vol. 34. № 2. P. 304–317. DOI:10.15421/112526.

2. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L., Mazur S., Vynokurova N., Sementsova K., Marychuk R. Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*, 2024. Vol. 13. № 10. 1614. DOI: 10.3390/land13101614.
3. Boychenko S.G., Karamushka V.I., Khlobystov I.V. Assessment of pollutants emissions into the atmosphere due to the fire at the Kalynivka oil depot caused by a missile strike in March 2022. *Geofizicheskii Zhurnal*, 2025. Vol. 47. № 2. P. 79–84.
4. Petrushka K., Malovanyy M., Skrzypczak D., Chojnacka K., Warchol J. Risks of soil pollution with toxic elements during military actions in Lviv. *Journal of Ecological Engineering*, 2024. Vol. 25. № 1. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/175136>.
5. Hryhorczuk D., Levy B.S., Prodanchuk M., Kravchuk O., Bubalo N., Hryhorczuk A., Erickson T.B. The environmental health impacts of Russia's war on Ukraine. *Journal of occupational medicine and toxicology*, 2024. Vol. 19. 1.
6. Environmental Impacts of the War in Ukraine and Prospects for a Green Reconstruction. OECD Report, 2022. 9. URL: https://www.oecd.org/en/publications/environmental-impacts-of-the-war-in-ukraine-and-prospects-for-a-green-reconstruction_9e86d691-en.html
7. IAEA. *Radiological Monitoring for Emergency Exposure Situations (Draft DS505, ref. to GSR Part 7)*, 2023. 73 p. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/24/01/draft_ds505.pdf?utm_source=chatgpt.com
8. IAEA. *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry*. TECDOC-1363, 2023. 179 p. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1363_web.pdf?utm_source=chatgpt.com
9. Connor D.T., Wood K., Martin P.G., Goren S., Megson-Smith D., Verbelen Y., ... Scott T.B. Corrigendum: Radiological Mapping of Post-Disaster Nuclear Environments Using Fixed-Wing Unmanned Aerial Systems: A Study From Chernobyl. *Frontiers in Robotics and AI*, 2020. Vol. 7. 30.
10. Ardiny H., Beigzadeh A., Mahani H. Applications of unmanned aerial vehicles in radiological monitoring: A review. *Nuclear Engineering and Design*, 2024. Vol. 422. 113110.
11. Ohera M., Gryc L., Nováková M., Češpírová I., Sas, D. *Radiation Measurements*, 2024. Vol. 174. 107111.
12. IAEA Technical Meeting Output. *Use of Uncrewed Aircraft Systems for Radiation Survey and Monitoring*, 2024. 85 p. URL: https://nucleus.iaea.org/sites/nuclear-instrumentation/Documents/TC_UAS_Rad_Surv_final.pdf?utm_source=chatgpt.com
13. Sutcliffe G., Berthoud L., Stinchcombe M. Using satellite data for CBRN (chemical, biological, radiological, and nuclear) threat detection, monitoring, and modelling. *Surveys in Geophysics*, 2021. Vol. 42. № 3. P. 727–755.
14. Copernicus EMS – Mapping Service. URL: https://mapping.emergency.copernicus.eu/?utm_source=chatgpt.com
15. RODOS Decision Support System. URL: https://www.bfs.de/EN/topics/ion/accident-management/bfs/rlz/rodos.html?utm_source=chatgpt.com
16. Rakesh P.T., Reddy B.R., Srinivas C.V., Shekhar, S.R., Venkatesan R., Gopalakrishnan V., Venkatraman B. Validation of a modified FLEXPART model for short-range radiological dispersion and dose assessments in ONERS Decision Support System. *Progress in Nuclear Energy*, 2021. Vol. 136. article number 103739.
17. UNSCEAR 2020/2021: *Fukushima Scientific Annex B*. URL: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2020_2021_2.html?utm_source=chatgpt.com
18. Вовчук Т., Лобойченко В., Рашкевич Н., Шевченко О., Шевченко Р. Формування інформаційної QR – технології моніторингу стану поверхневих вод на територіях, які постраждали внаслідок бойових дій. *Scientific foundations in research in Engineering: collective monograph*. Korniylo I., Gnyp O. etc. International Science Group. Boston: Primedia eLaunch, 2022. С. 357–368. DOI: 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.
19. Лобойченко В.М., Дівізінюк М.М., Шевченко Р.І., Федорчук-Мороз В.І., Рашкевич Н.В. Методи попередження надзвичайних ситуацій техногенного та медико-біологічного характеру на об'єктах критичної інфраструктури за використання ідентифікації водних розчинів: монографія. Луцьк: Вежа-Друк, 2025. 324 с.
20. Рашкевич Н.В., Рашкевич О.С., Ребров О.В., Шевченко Р.І. Попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру в зоні бойових дій. *Комунальне господарство міст*, 2024. Том 4. Вип. 185. С. 211–200.
21. Рашкевич Н.В., Рушак І.І., Рашкевич О.С. Аналіз динаміки надзвичайних ситуацій, спричинених ракетно-артилерійськими обстрілами. *Комунальне господарство міст*, 2025. Том 4. Вип. 192. С. 400–408.
22. Рашкевич Н.В., Шевченко Р.І., Ребров О.В. Обґрунтування процедур з оптимізації відбору проб ґрунту з метою попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру. *Problems of Emergency Situations: мат. Міжнародної науково-практичної конференції (Харків: НУЦЗ України, 2024 р.)*. С. 93–94.

References

1. Krainiuk O.V., Buts Y.V., Ponomarenko R.V., Asotskyi V.V., E.A. Damofal, A.Y. Kalinovskiy, Maniuk V.V. (2024). Environmental consequences of military operations in Ukraine on the example of soil research in the Kharkiv region. *Journal of Geol. Geograph. Geoecology*, 34(2), 304–317. DOI:10.15421/112526.
2. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L.,

- Mazur S., Vynokurova N., Sementsova K., Marychuk R. (2024). Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*, 13(10), 1614. DOI: 10.3390/land13101614.
3. Boychenko S.G., Karamushka V.I., Khlobystov I.V. (2025). Assessment of pollutants emissions into the atmosphere due to the fire at the Kalynivka oil depot caused by a missile strike in March 2022. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 47(2), 79–84.
 4. Petrushka K., Malovanyy M., Skrzypczak D., Chojnacka K., Warchoń J. (2024). Risks of soil pollution with toxic elements during military actions in Lviv. *Journal of Ecological Engineering*, 25(1). DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/175136>.
 5. Hryhorczuk D., Levy B.S., Prodanchuk M., Kravchuk O., Bubalo N., Hryhorczuk A., Erickson T.B. (2024). The environmental health impacts of Russia's war on Ukraine. *Journal of occupational medicine and toxicology*, 19, 1.
 6. Environmental Impacts of the War in Ukraine and Prospects for a Green Reconstruction. OECD Report, 2022. 9. URL: https://www.oecd.org/en/publications/environmental-impacts-of-the-war-in-ukraine-and-prospects-for-a-green-reconstruction_9e86d691-en.html
 7. IAEA. *Radiological Monitoring for Emergency Exposure Situations (Draft DS505, ref. to GSR Part 7)*. 2023. 73. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/24/01/draft_ds505.pdf?utm_source=chatgpt.com
 8. IAEA. *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry*. TECDOC-1363. 2023. 179. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1363_web.pdf?utm_source=chatgpt.com
 9. Connor D.T., Wood K., Martin P.G., Goren S., Megson-Smith D., Verbelen Y., ... Scott T.B. (2020). Corrigendum: Radiological Mapping of Post-Disaster Nuclear Environments Using Fixed-Wing Unmanned Aerial Systems: A Study From Chernobyl. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, 30.
 10. Ardiny H., Beigzadeh A., Mahani H. (2024). Applications of unmanned aerial vehicles in radiological monitoring: A review. *Nuclear Engineering and Design*, 422, 113110.
 11. Ohera M., Gryc L., Nováková M., Češpírová I., Sas, D. (2024). *Radiation Measurements*, 174, 107111.
 12. IAEA Technical Meeting Output. *Use of Uncrewed Aircraft Systems for Radiation Survey and Monitoring*. 2024. 85. URL: https://nucleus.iaea.org/sites/nuclear-instrumentation/Documents/TC_UAS_Rad_Surv_final.pdf?utm_source=chatgpt.com
 13. Sutcliffe G., Berthoud L., Stinchcombe M. (2021). Using satellite data for CBRN (chemical, biological, radiological, and nuclear) threat detection, monitoring, and modelling. *Surveys in Geophysics*, 42(3), 727–755.
 14. Copernicus EMS – Mapping Service. URL: https://mapping.emergency.copernicus.eu/?utm_source=chatgpt.com
 15. RODOS Decision Support System. URL: https://www.bfs.de/EN/topics/ion/accident-management/bfs/rlz/rodos.html?utm_source=chatgpt.com
 16. Rakesh P.T., Reddy B.R., Srinivas C.V., Shekhar, S.R., Venkatesan R., Gopalakrishnan V., Venkatraman B. (2021). Validation of a modified FLEXPART model for short-range radiological dispersion and dose assessments in ONERS Decision Support System. *Progress in Nuclear Energy*, 136, 103739.
 17. UNSCEAR 2020/2021: *Fukushima Scientific Annex B*. URL: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2020_2021_2.html?utm_source=chatgpt.com
 18. Vovchuk T., Loboychenko V., Rashkevich N., Shevchenko O., Shevchenko R. (2022). Formuvannya in-formatsiynoyi QR – tekhnolohiya monitorynhu sta-nu poverkhnevyykh vod na terytoriyakh, yaki postrazhdaly vnaslidok boyovykh diy. [Formation of information QR – technology for monitoring the state of surface waters in territories affected by hostilities]. *Scientific foundations in research in Engineering: collective monograph*. Korniylo I., Gnyp O. etc. International Science Group. Boston: Primedia eLaunch, 357–368. DOI: 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2 [in Ukrainian].
 19. Loboychenko V.M., Divizinyuk M.M., Shevchenko R.I., Fedorchuk-Moroz V.I., Rashkevich N.V. (2025). Metody poperedzhennya nadzvychaynykh sytuatsiy tekhnohennoho ta medyko-biologichnoho kharakteru na ob'yektakh krytychnoyi infrastruktury dlya vykorystannya [Methods for preventing emergencies of a technogenic and medical-biological nature at critical infrastructure facilities using the identification of aqueous solutions: monograph]. Luts'k: Vezha-Druk, 324 [in Ukrainian].
 20. Rashkevich N.V., Rashkevych O.S., Rebrov O.V., Shevchenko R.I. (2024). Poperedzhennya nadzvi-chaynykh sytuatsiy tekhnohennoho kharakteru v zoni boyovykh diy [Prevention of technogenic emergencies in the combat zone]. *Municipal economy of cities*, 4(185) 211–200 [in Ukrainian].
 21. Rashkevich N.V., Rushchak I.I., Rashkevych O.S. (2025). Analiz dynamiky nadzvychaynykh sytuatsiy, spry-chynenykh raketno-artyleryys'kymy obstrilamy. [Analysis of the dynamics of emergency situations caused by rocket and artillery shelling]. *Municipal economy of cities*, 4(192), 400–408 [in Ukrainian].
 22. Rashkevich N.V., Shevchenko R.I., Rebrov O.V. (2024). Obgruntuvannya protsedury z optymizatsiyi vidboru prob obgruntuvannya z pryznachennyam poperedzhennya nadzvychaynykh sytuatsiy tekhnohennoho

kharku. [Analysis of the dynamics of emergency situations caused by rocket and artillery shelling]. *Problems of Emergency Situations: materialy mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi* (Kharkiv: NUTSZ Ukrainy, 2024) [in Ukrainian].

Рашкевич Ніна Владиславна, PhD, доцент кафедри державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки, rashkevych_nina@nuczu.edu.ua

Краснов Вячеслав Анатолійович, ад'юнкт, ORCID: 0000-0002-8445-6843, krasnov.viacheslav_2022phd@nuczu.edu.ua

Гузь Артем Сергійович, ад'юнкт, huz.artem_2025phd@nuczu.edu.ua

Національний університет цивільного захисту України, 18034, Україна, м. Черкаси, вул. Онопрієнка.

Procedures for Geospatial Profiling of Territories with Potential Radiation Contamination as a Result of Rocket and Artillery Strikes

Abstract. Problem. Massive missile and artillery strikes on energy and industrial infrastructure facilities create risks of local radioactive contamination, including as a result of the destruction of waste storage sites. Limited access to such territories makes prompt field monitoring impossible; therefore, the development of remote procedures for assessing the levels and structure of potential contamination is of particular relevance. **Goal.** The aim of the study is to develop an algorithm of geospatial profiling as an integral component of the organizational and technical method for preventing emergencies in areas affected by missile and artillery attacks. **Methodology.** The methodological framework of the study is based on the integration of Earth remote sensing

data, satellite and aerial imagery, field radiometric measurements, and geophysical screening. A step-by-step geospatial profiling procedure has been developed, which includes: "Defining the boundaries of the territory and available data on shelling," "Collecting initial data from the affected area (remotely)," "Hazard mapping," and "Studying the contaminated environment along the perimeter of the affected area". **Originality.** The concept of a "contaminated territory profile" is proposed as a generalized indicator of the contamination state. For the first time, procedures of geospatial profiling have been systematized for conditions of limited access, enabling the assessment of hazard levels without direct contact with the territory. **Practical value.** The obtained results can be used for rapid assessment of environmental risks following missile and artillery strikes, for planning access restriction zones, determining priority directions for field studies, and optimizing measures for the elimination of radioactive contamination consequences. **Key words:** contamination, monitoring, GIS, hazard mapping, management decisions.

Rashkevich Nina, Ph.D., Associate Professor of the Department of State Supervision in the Field of Fire and Technogenic Safety, ORCID: 0000-0001-5124-6068, rashkevych_nina@nuczu.edu.ua

Krasnov Viacheslav, PhD Student, ORCID: 0000-0002-8445-6843, krasnov.viacheslav_2022phd@nuczu.edu.ua

Huz Artem, PhD Student, huz.artem_2025phd@nuczu.edu.ua
National University of Civil Protection of Ukraine, St. Onopriyenko, 8, Cherkasy, Ukraine, 18034.