

ЕКОЛОГІЯ

УДК 614.8

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2025.111.0.158

**ПРОЦЕДУРИ ГЕОПРОСТОРОВОГО ПРОФІЛЮВАННЯ ТЕРИТОРІЇ
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 аналізу рівня радіаційного забруднення та мінімізації екологічних ризиків на територіях, що зазнали ракетно-артилерійських уражень. У роботі наведено процедури етапів алгоритму, які містять визначення меж території і інформацію про обстріли, пошук вихідних даних за допомогою дистанційного зондування, картування небезпеки та дослідження забрудненого середовища на периметрі ураженої території. Проаналізовано процес використання супутникових знімків, геофізичних вимірювань і польового скринінгу для створення інтегрованих карт забруднень і прогнозування міграції радіоактивних речовин. Цю інформацію можна об'єднати в єдину геоінформаційну структуру, що дозволяє побудувати концептуальну модель забрудненого середовища, здійснити моделювання ризиків і прийняти обґрунтовані управлінські рішення щодо моніторингу та відновлення уражених територій.

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

Вступ

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

Території бойових дій зазвичай визначаються обмеженням або частковим доступом через мінно-вибухову небезпеку, ризик обвалів, пожеж і вторинних викидів. Це ускладнює класичні інструментальні обстеження й повномасштабний відбір проб. За таких умов пріоритетом є узгоджені організаційно-технічні процедури геопросторового профілювання – стандартизований підхід до швидкого виявлення, локалізації і первинного аналізу ймовірного радіаційного впливу.

Аналіз публікацій

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

За результатами дослідження [1] у ґрунтах Харківської області, що зазнали артилерійсь-

ких обстрілів, зафіксовано значні концентрації свинцю, цинку та міді, які перевищують фонові значення в 2–5 разів. Ці закономірності зазначені 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 містить 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 гранично-допустимих концентрацій оксидів вуглецю, сірки, формальдегіду та поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Ці сполуки мають не лише токсикологічну, а й кумулятивну дію, що збільшує довгострокові ризики для екосистем.

У дослідженні [4] визначено підвищений вміст нікелю, кадмію та хрому в 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 визна-

чено багатовимірний тип воєнного забруднення – поєднання важких металів, нітратів, вибухових залишків, радіонуклідів та мікропластику. Аналогічні висновки наведено в аналітичному звіті [6], у якому обґрунтовано потребу розроблення методик швидкої ідентифікації цільових забруднювачів у зонах обмеженого доступу.

Дослідження [7–10] деталізують методологічні підходи до аналізу 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.

Останнім часом розвиваються технології безпілотного радіаційного моніторингу, що дають змогу отримувати високоточні результати в зонах з обмеженим доступом [9–11].

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

Аналіз досвіду великих аварій, зокрема узагальнення Комітету UNSCEAR [16], дозволяє визначити референтні рівні експозицій й основні ізотопи-контаміанти для сценаріїв воєнного походження. У цих матеріалах аналізується значення реконструкції доз за допомогою комбінованих підходів – від спектрометрії до біологічного моніторингу. Для забезпечення уніфікованого наведення результатів 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.

З огляду на складність і небезпечність робіт у зонах ураження традиційні способи відбору проб і лабораторного аналізу часто є малоефективними. Це зумовлює необхідність застосування інноваційних рішень для організації моніторингу та збору інформації 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 надзвичайним ситуаціям у зоні бойових дій із акцентом на швидкий скринінг. Дослідження [21] динаміки надзвичайних ситуацій від ракетно-артилерійських уражень є емпіричною основою для пріоритизації територій і ресурсів. Матеріали [22] щодо оптимізації відбору проб ґрунту містять 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 розроблення алгоритму геопросторового профілювання як невід'ємної 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 результати роботи в єдину схему підтримки рішень.

Алгоритм геопросторового профілювання території можливого радіаційного забруднення

Геопросторове профілювання території складається з процедур, кожна з яких має на меті забезпечити аналіз забруднення, мінімі-

зацію ризиків для довкілля та здоров'я населення.

Розглянемо послідовність процедур, які можна поєднати в окремі етапи (рис. 1). Перший етап «Визначення меж території і наявної інформації про обстріли» є основою для подальших етапів моніторингу й аналізу.



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

Метою етапу «Визначення меж території та наявної інформації про обстріли» є аналіз географічних та адміністративних меж досліджуваної території, а також ідентифікація всієї наявної інформації про тип і масштаби уражень.

На цьому етапі здійснюється пошук і систематизація інформації щодо типів боєприпасів, щільності та часу обстрілів, орієнтовних координат вирв, а також можливих забруднювачів. Аналізується географічна й адміністративна інформація: межі територій і 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, доступні супутникові платформи.

Вихідними елементами є такі:

- попередня карта території з позначеними межами й адміністративними одиницями;
- базовий реєстр подій ураження з часовими та просторовими мітками;
- таблиця наявної інформації про типи боєприпасів;
- зведена аналітична записка, що містить прогалини в отриманні інформації, припущення, рекомендації для наступного етапу.

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

На цьому етапі варто здійснити таке:

1 проаналізувати геологічні та гідрогеологічні характеристики ґрунтів, а саме:

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

2 дослідити інформацію щодо хімічного складу ґрунту (метали, органічні компоненти, наявність залишків вибухових речовин і паливо-мастильних матеріалів);

3 здійснити дистанційні спостереження:

- супутникових знімків (оптичних і SAR) для порівняння «до/після» обстрілів;
- цифрових моделей рельєфу, меж водозборів, дренажних мереж;
- ознак ерозії, підтоплення та змін вологості, а також вегетаційних індексів для аналізу стану ґрунту;

4 проаналізувати інженерну інфраструктуру та водокористування:

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

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

Вихідна інформація формується так:

- як пакет базових шарів ГІС: карти ґрунтових типів, топографія, точки потенційного забруднення, наявні свердловини та колодязі, межі небезпечних зон і санітарних охоронних зон;
- як таблиці фонового хімічного складу ґрунту з джерелами інформації;
- як зведена аналітична записка, що містить прогалини в інформації, припущення, рекомендації для наступного етапу.

Метою етапу «Картування небезпеки» є візуалізація 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, отриманої на попередніх етапах: меж території, точок уражень, типів боєприпасів, потенційних забруднювачів, наявних свердловин та колодязів, топографії, рельєфу, гідрологічних характеристик, дренажних систем і меж водозборів. Інтегруються результати дистанційного моніторингу, зокрема супутникові знімки (оптичні та SAR), цифрові моделі рельєфу та вегетаційні індекси, що дозволяють проаналізувати стан ґрунтів, ознаки ерозії, підтоплення та зміни вологості.

Процес картування складається з процесів цифрового оброблення інформації, геоприв'язки, накладання шарів і класифікації території за рівнем небезпеки. На основі цієї інформації створюються карти потенційного розповсюдження забруднювачів, зони пріоритетного моніторингу та можливі маршрути фільтрації у водонесні горизонти.

Ця інформація формується в такий спосіб:

- як карти зон ураження та потенційного забруднення ґрунтів;
- як цифрові моделі рельєфу та водозборів з нанесеними точками джерел забруднення;
- як шари ГІС із зазначенням наявних свердловин, колодязів, інженерної інфраструктури та дренажних систем;
- як інтегровані карти, які відображають потенційні шляхи міграції забруднювачів і зони пріоритетного моніторингу.

Етап «Дослідження забрудненого середовища на периметрі ураженої території» передбачає комплексний аналіз фізичних, хімічних і гідрологічних характеристик ґрунтового середовища без прямого входу на небезпечну територію.

На цьому етапі застосовуються два взаємодоповнювальні підходи:

1 геофізичні вимірювання з периметра для аналізу фізичних властивостей ґрунту, виявлення аномальних зон і потенційних концентрацій забруднювачів. Застосовуються георадар, електропровідність, магнітні й електромагнітні сенсори, інфрачервоні та теплові датчики;

2 польовий скринінг на периметрі для здійснення кількісного та якісного аналізу

хімічного складу ґрунту. Об'єктами скринінгу є приватні та громадські колодязі, технічні/питні свердловини, витоки, ділянки з підтопленням, дренажні канали.

Вихідні продукти етапу формуються так:

- як карти зон потенційного забруднення ґрунту з визначенням фізичних і хімічних аномалій;
- як бази даних польових проб із зазначенням локалізації, часу відбору та результатів аналізів;
- як інтегровані карти та шари ГІС, що відображають потенційні способи поширення забруднювачів;
- як аналітичні записки з визначенням пріоритетних зон для подальшого поглибленого моніторингу.

Таким чином, блок «Дослідження стану забрудненого середовища на периметрі ураженої території» забезпечує безпечне отримання інформації, інтегрує дистанційні та польові методи, визначає критичні ділянки для подальших досліджень та є основою для побудови концептуальної моделі та планування превентивних і 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, аналізу ризику та планування моніторингу.

Вихідні продукти:

- узагальнена карта «Картування небезпеки-2» з інтеграцією всієї наявної інформації в 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» здійснює функцію інтеграційного аналітичного вузла, що забезпечує перехід від фрагментарних результатів спостережень до системно узгодженої просторової моделі стану ґрунтового середовища.

На основі перевірки вичерпності та якості вихідної інформації приймається рішення щодо переходу до наступного етапу або повернення до її уточнення/доповнення.

Вичерпність визначає, чи отримано мінімально необхідний набір шарів і вимірювань, достатніх для побудови концептуальної мо-

делі забрудненого середовища й обґрунтованого планування подальших дій. Мінімальний набір містить такі елементи:

- 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 інформація про ураження – типи боєприпасів, імовірні 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 такі:

- актуальність у часі, тобто покриття ключових супутникових сцен і подій ураження «до» і «після» та відсутність застарілості для поточної фази аналізу;
- просторова роздільність, що достатня для картування вивів і зон підтоплення;
- геоприв'язка, за якої відхилення не перевищують 1–2 пікселі для растрових шарів і використовується GNSS для точкових даних;
- точність вимірювань, забезпечену калібруванням приладів і збіжними повторними вимірюваннями, за яких розкид не перевищує допустимого значення згідно зі стандартними операційними процедурами;
- повторюваність, коли аномалії підтверджуються щонайменше двома незалежними джерелами;
- рівень невизначеності, коли кожний шар визначається надійністю (високий, середній або низький).

Якщо інформації достатньо («Так»), можна переходити до побудови концептуальної моделі забрудненого середовища. У цьому випадку:

- чек-лист повноти закритий, усі 7 ключових категорій мають мінімальний обсяг;
- існує узгоджена картина «джерело → шлях → реципієнт», ключові аномалії підтверджені перехресно;
- невизначеність керована, відсутні критичні «білі плями», що блокують побудову концептуальної моделі забрудненого середовища.

Якщо інформації недостатньо («Ні»), повертаються до вищезазначених етапів з конкретним технічним завданням щодо доповнення або повторення вимірювань. У цьому випадку:

- відсутні один або декілька основних шарів;
- якість інформації не прийнятна;
- висока невизначеність, тобто суперечливі сигнали від різних джерел без пояснення.

Вищезазначені етапи формують інформаційну базу для побудови концептуальної моделі забрудненого середовища, що є основою для подальшого аналізу ризиків і прийняття управлінських рішень. Отримана інформація дозволяє правильно оцінити екологічну ситуації на уражених територіях, що дає змогу визначити найбільш небезпечні зони, пріоритетні напрями 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 наявної інформації про обстріли», «Пошуку вихідної інформації з ураженої території (дистанційно)», «Картування небезпеки», «Дослідження забрудненого середовища на периметрі ураженої території». Процедури на зазначених етапах дозволяють інтегрувати інформацію з різноманітних джерел, зокрема з дистанційного зондування, польового моніторингу та геопросторового картування, для створення загальної інформаційної бази оперативного аналізу рівня забруднення території, визначення зони найбільшого ризику та прийняття управлінських рішень щодо зменшення екологічних і техногенних загроз.

Література

1. Environmental consequences of military operations in Ukraine on the example of soil research in the Kharkiv region / O. V. Krainiuk et al. *Journal of Geol. Geograph. Geoecology*. 2024. Vol. 34. № 2. P. 304–317. DOI:10.15421/112526.
2. Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine / M. Solokha et al. *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. *Geofizicheskiy Zhurnal*. 2025. Vol. 47. № 2. P. 79–84.
4. Risks of soil pollution with toxic elements during military actions in Lviv / K. Petrushka et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2024.

- Vol. 25. № 1. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/175136>.
5. The environmental health impacts of Russia's war on Ukraine / D. Hryhorczuk et al. *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. Corrigendum: Radiological Mapping of Post-Disaster Nuclear Environments Using Fixed-Wing Unmanned Aerial Systems: a Study From Chernobyl / D. T. Connor et al. *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. *Radiation Measurements* / M. Ohera et al. 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. Validation of a modified FLEXPART model for short-range radiological dispersion and dose assessments in ONERS Decision Support System / P. T. Rakesh et al. *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. Формування інформаційної QR- технології моніторингу стану поверхневих вод на територіях, які постраждали внаслідок бойових дій / Т. Вовчук та ін. *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. Методи попередження надзвичайних ситуацій техногенного та медико-біологічного характеру на об'єктах критичної інфраструктури за використання ідентифікації водних розчинів: монографія / В. М. Лобойченко та ін. Луцьк: Вежа-Друк, 2025. 324 с.
 20. Попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру в зоні бойових дій / Н. В. Рашкевич та ін. *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., Damofal, E. A., Kalinovskiy, A. Y., 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., Mariychuk, 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. Sutliff, 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., Divizynuk, M. M., Shevchenko, R. I., Fedorchuk-Moroz, V. I., Rashkevich, N. V. (2025). Metody poperedzhennya nadzvychnykh 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 nadzvychnykh 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 nadzvychnykh sytuatsiy, spry-chynenykh raketno-artyleryi'skymy 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 nadzvychnykh sytuatsiy tekhnohennoho kharakteru [Analysis of the dynamics of emergency situations caused by rocket and artillery shelling]. *Problems of Emergency Situations: materialy mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi* (Kharkiv: NUTSZ Ukrayiny, 2024) [in Ukrainian].

Рашкевич Ніна Владиславівна, PhD, доцент кафедри державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки, rashkevych_nina@nuczu.edu.ua
Краснов В'ячеслав 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, вул. Онопрієнка, 8, 18034, м. Черкаси, Україна.

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 “con-

taminated 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. Onopriyenka, 8, Cherkasy, Ukraine, 18034.