

Н.В. Рашкевич<sup>1</sup>, Р.І. Шевченко<sup>1</sup>, О.В. Нешпор<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

<sup>2</sup>Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Київ, Україна

## ФОРМУВАННЯ АЛГОРИТМУ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ НА ТЕРИТОРІЯХ, ЩО ЗАЗНАЛИ РАКЕТНО-АРТИЛЕРІЙСЬКИХ УРАЖЕНЬ

У процесі досліджень виділені та описані процедури інформаційно-технічного методу попередження надзвичайної ситуації на територіях, що зазнали ракетно-артилерійських уражень. Розроблений відповідний алгоритм. Автори приділяють увагу попередженню надзвичайних ситуацій унаслідок наявності в ґрунті шкідливих (забруднювальних) речовин понад гранично допустиму концентрацію.

**Ключові слова:** алгоритм, ґрунт, забруднення, моніторинг, надзвичайна ситуація.

### Постановка проблеми

Військові конфлікти залишають по собі негативний вплив на екологічну систему, зокрема ґрунти, що може призвести до серйозних наслідків для життя та здоров'я населення.

Моніторинг забруднених ґрунтів є ключовим елементом у визначенні стратегій відновлення та подальшого використання постраждалих територій. Однак існують обмеження щодо фізичного доступу до уражених територій, що породжують проблеми відбору проб ґрунтів у зонах бойових дій та подальшої ідентифікації потенційних джерел небезпеки.

На сьогодні не створено універсальних методологій оцінки небезпеки виникнення надзвичайної ситуації на територіях, які зазнали воєнного впливу, з метою попередження їх поширення [1].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні під час війни застосовуються різні типи бойових дій і боєприпасів. Під час перманентної бойової діяльності в ґрунтах накопичуються свинець, кадмій, оксид вуглецю, нафтопродукти [2].

Відбір проб ґрунту є основним етапом проведення моніторингу надзвичайної ситуації унаслідок наявності в ґрунті шкідливих (забруднювальних) речовин понад гранично допустиму концентрацію.

Під час пробовідбору ґрунту використовують дискретний відбір проб [3], за результатом якого виявляють найвищі рівні забруднення на ділянці.

Систематичний випадковий відбір передбачає поділ досліджуваної території за допомогою сітки та відбір проб з вузлів. У [4] представлені схеми відбору репрезентативних проб, що мають квадратний (прямокутний) та круговий візерунки.

Простий випадковий відбір передбачає пробовідбір з випадково обраних місць на ділянці [5]. Це

дозволяє забезпечити об'єктивність та репрезентативність вибірки, оскільки відбувається уникнення систематичних або суб'єктивних впливів на вибір проб.

Також застосовується стратегія багатоступеневого польового відбору проб [6]. Одна проба формується на базі 100 інкрементних проб, відібраних із шару 0–5 см через рівномірні інтервали.

Вибухові речовини можуть призвести до утворення кратерів і ярів, що створюють просторову нерівномірність у розподілі забруднень. Важкі метали, залежно від їх хімічних властивостей та впливу середовища, можуть накопичуватись у певних ділянках ґрунту, утворюючи плями або зони з концентрованими забрудненнями [7]. Дві проби ґрунту, зібрані на відстані одного метра одна від одної, можуть відрізнитися на 50–100 % за концентрацією окремих забруднювачів [8].

Крім того, проби ґрунту можуть бути відібрані лише в місцях, де зафіксовані ознаки забруднення (маслянисті плями, фрагменти вибухонебезпечних речовин) [9]. При використанні цієї стратегії важливо враховувати можливість наявності невидимих забруднень, які можуть бути розподілені неоднорідно. Тому, окрім проб на місцях очевидного забруднення, може бути корисним також відбір проби у прилеглих ділянках для повного оцінювання рівня забруднення та його можливого впливу на довкілля.

Оптимізація відбору проб ґрунту є ключовим елементом для забезпечення надійних і репрезентативних результатів з дослідження їх небезпеки, що впливає на своєчасне обмеження поширення наслідків забруднення за площею, кількістю жертв та постраждалих [10].

### Мета та завдання статті

Мета роботи полягає у розробці алгоритму інформаційно-технічного методу попередження надзвичайної ситуації на територіях, що зазнали ракетно-

артилерійських уражень, з метою подальшої розробки відповідної методології попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру більш високого рівня поширення.

Для досягнення зазначеної мети необхідно виділити та описати основні процедури інформаційно-технічного методу попередження надзвичайної ситуації.

### Виклад основного матеріалу

Під час попередження надзвичайної ситуації

моніторинг розглядається як один із основних процесів в системі цивільного захисту населення та територій [11]. Прийняття рішень та визначення необхідного комплексу заходів з протидії наслідкам небезпеки залежать від якісного та своєчасного виявлення та оцінки, у нашому випадку, забруднення ґрунтів у зоні бойових дій.

Процес попередження надзвичайної ситуації потребує виконання цілої низки процедур з організації та здійснення моніторингу зони небезпеки, що наведений на рис. 1.

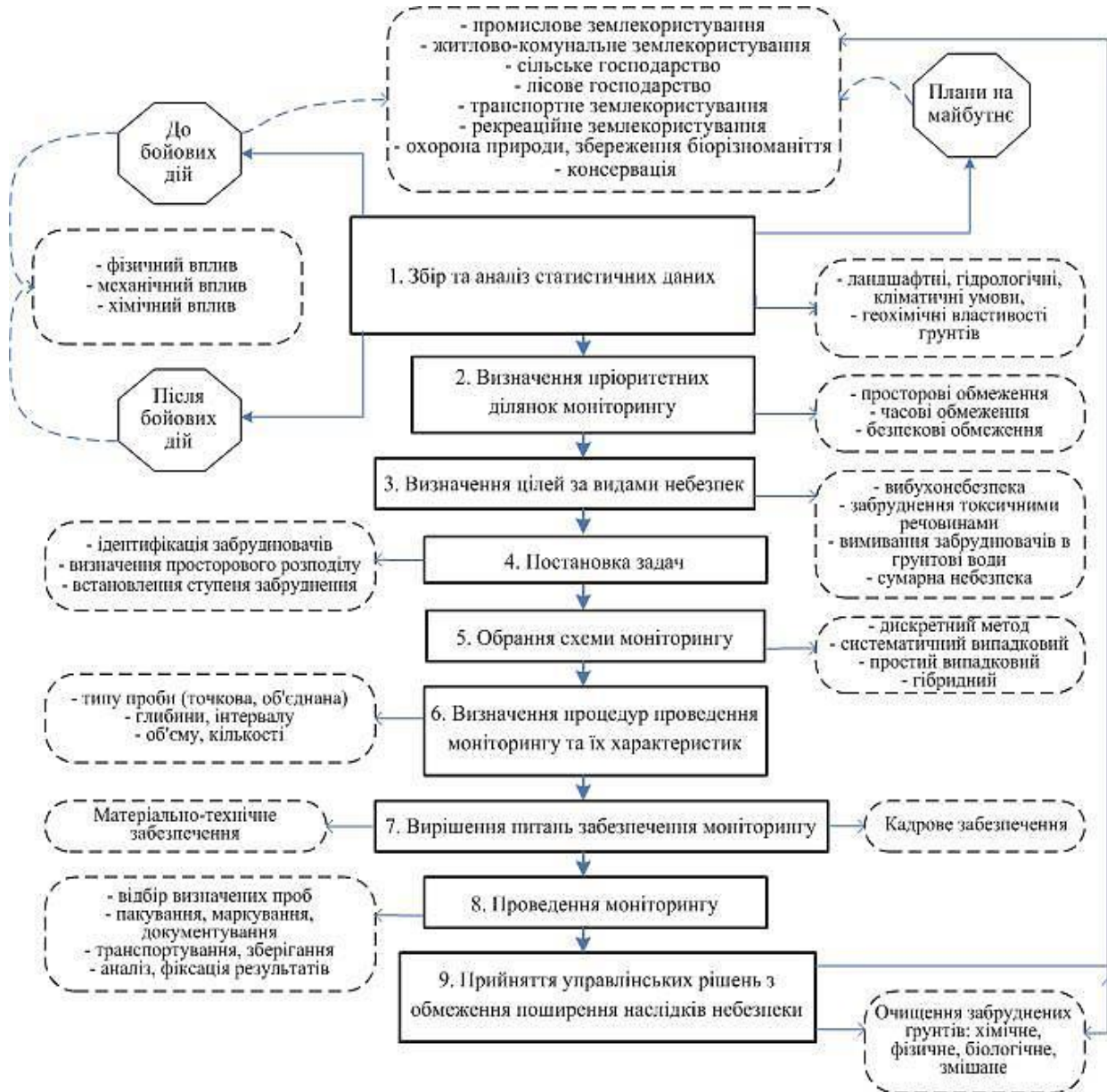


Рис. 1. Алгоритм інформаційно-технічного методу попередження надзвичайної ситуації на територіях, що зазнали ракетно-артилерійських уражень

На початковому етапі слід проводити **збір та аналіз статистичних даних**.

Ґрунти зазнають фізичного, механічного, хімічного впливу, як внаслідок господарської діяльності

людини (забруднення пестицидами, промисловими викидами, стічними водами тощо), так і бойових дій (деформації ґрунту, засмічення та забруднення продуктами бойової діяльності).

Метою цього етапу є попереднє ознайомлення з територією зі встановленням провідного типу впливу, визначення характеристик забруднювачів, зважаючи на ландшафтні, гідрологічні, кліматичні умови, геохімічні властивості ґрунтів, плани на майбутнє землекористування.

Топографія, типи ґрунтів, рельєф та водний режим можуть впливати на розподіл та переміщення забруднювальних речовин у ґрунті.

Реакція ґрунту (рН), його пористість, мінеральний склад та інші геохімічні властивості впливають на здатність ґрунту адсорбувати або розчиняти забруднювальні речовини. Наприклад, глинисті ґрунти можуть мати високу адсорбційну здатність, тоді як піщані ґрунти можуть бути менш ефективними з цього погляду.

Глибина ґрунтових вод, їхні напрямки руху та швидкість фільтрації можуть визначати, наскільки швидко та як далеко розповсюджується забруднення у ґрунтових водах.

Кліматичні фактори, як-от опади, температура та вологість, можуть впливати на процеси фізичного та хімічного розпаду забруднювальних речовин у ґрунті та воді. Все це потрібно враховувати під час моніторингу.

Інструментом для отримання статистичних даних є візуальний огляд щодо можливих розливів паливомастильних матеріалів, наявності оборонних споруд, техніки, вибухонебезпечних предметів, боєприпасів, кратерів від ракетно-артилерійських уражень тощо, поруч розташованих населених пунктів.

Територія може бути вогневою точкою або характеризуватись опосередкованим впливом.

**Визначення пріоритетних ділянок моніторингу** потребує означення просторових, часових та безпечних обмежень.

Просторові обмеження включають географічні характеристики (розмір та масштаб зони бойових дій), наявність природних об'єктів (важливих екосистем, водойм, джерел питної води).

Часові обмеження полягають у врахуванні терміну конфлікту та часу, що пройшов після закінчення бойових дій.

Безпечні обмеження передбачають потребу забезпечення безпеки персоналу під час проведення моніторингових робіт. Існує ризик детонації вибухонебезпечних предметів, продовження воєнних дій.

#### **Визначення цілей за видами небезпек.**

Саме від виду небезпеки будуть залежати цілі моніторингу.

Внаслідок вибухонебезпеки території до основних цілей можна віднести:

- виявлення та ідентифікацію нерозірваних боєприпасів та небезпечних місць;
- оцінку ступеня ризику вибухів для людей та навколишнього середовища;

– визначення можливих зон безпеки для подальшого знешкодження вибухонебезпечних предметів.

Унаслідок забруднення токсичними речовинами основними цілями є:

- встановлення рівнів токсичних речовин у ґрунті та воді;
- оцінка потенційних ризиків для здоров'я людей та екосистем;
- визначення масштабів забруднення та виділення пріоритетних зон для реабілітації.

Унаслідок вимивання забруднювачів в ґрунтові води можна виділити такі цілі, як:

- моніторинг рівнів забруднювачів у ґрунтових водах та їхній розподіл;
- визначення шляхів поширення забруднень та ідентифікація вразливих водних ресурсів;
- розробка стратегій запобігання подальшому вимиванню та захисту джерел питної води.

Унаслідок сумарної небезпеки це:

- оцінка загального впливу всіх видів небезпек на здоров'я, середовище та економіку;
- визначення найбільш критичних аспектів, що потребують негайного управління;
- розробка стратегій та планів дій для зменшення небезпеки та захисту населення.

Залежно від цілей відбувається **постановка завдань**:

- ідентифікація небезпеки (виявлення джерел потенційної небезпеки, як-от нерозірвані боєприпаси, місця забруднення токсичними речовинами або зони вимивання забруднювачів у ґрунтові води; оцінка рівня ризику, пов'язаного з кожним із ідентифікованих джерел небезпеки);
- визначення просторового розподілу;
- визначення ступеня забруднення (вимірювання рівнів забруднення в ґрунті, воді на обраних ділянках; аналіз зібраних даних для визначення масштабів забруднення, виділення «гарячих» точок та оцінки потенційних наслідків для здоров'я населення та навколишнього середовища).

Для визначення просторового розподілу забруднювачів можна використовувати польові дослідження, лабораторний аналіз проб (хімічний, спектральний тощо), геоінформаційні системи, дистанційне зондування, лазерне сканування.

#### **Обрання схеми моніторингу.**

Схема моніторингу обирається з огляду на поставлені завдання, результати збору та аналізу статистичних даних.

Дискретний підхід відбору застосовується для чітко окреслених місць небезпеки, коли є всі підстави підозрювати забруднення у певному місці.

При застосуванні систематичного методу побудови схеми моніторингу на зону бойових дій накладається сітка (квадратна, прямокутна або ялинкова).

Початок і напрямок розміщення сітки задається за допомогою початкової випадкової точки. З цієї точки будується вісь координат і сітка на всій ділянці. Проби відбираються з кожного квадрата. Відстань між точками відбору визначається розміром ділянки, на якій відбираються проби.

Відбір проб з випадково обраних місць на ділянці використовується для оцінки середнього рівня забруднення території. Кожна з точок обирається незалежно від розташування всіх інших.

Гібридний підхід об'єднує дискретний та систематичний. Реалізується на базі сітки координат для встановлення місць відбору проб. Необхідність забору з кожної точки визначається з огляду явних ознак небезпеки.

Схема моніторингу повинна бути гнучкою і може змінюватися з часом відповідно до нових умов.

Після обрання схеми **визначаються з процедурами проведення моніторингу та їх характеристиками:**

1. Типом проб.

Точкова проба, що береться в конкретному місці на ділянці, дозволяє отримати детальне уявлення про рівень забруднення в різних точках цієї ділянки. Вона також допомагає визначити, наскільки забруднення може варіюватися в просторі.

Об'єднана проба складається з багатьох індивідуальних точкових проб, які об'єднуються пропорційно до ваги або площі кожної ділянки, яку представляє кожна проба. Цей тип проби надає середнє значення забруднення для досліджуваної площі ділянки.

2. Глибиною, інтервалом проб.

У разі поверхневого забруднення пробу відбирають з поверхні 0–5 см зазвичай з інтервалом 5–10 см або 20–30 см за глибиною.

Для оцінки ризику для здоров'я людини поверхневий шар ґрунту часто визначається як верхні 15 см, 30 см або іноді 60 см.

3. Об'ємом, кількістю проб.

Для різних цілей характеристики свої.

**Вирішення питань забезпечення моніторингу** полягає в обранні та підготовці матеріально-технічного забезпечення процедур моніторингу (обладнання для відбору проб, зберігання, аналізу, відповідних реактивів, транспортних засобів для перевезення; засобів захисту від ризику вибуху, контакту з токсичними речовинами), залученні компетентних фахівців за напрямом робіт.

**Проведення моніторингу передбачає** роботи з відбору визначених проб, пакування, маркування, документування, подальшого транспортування, за необхідності зберігання, аналізу та фіксації результатів.

**Прийняття управлінських рішень з обмеження поширення наслідків небезпеки.**

До основних управлінських рішень можна

віднести консервацію, заборону доступу та використання ґрунтів, джерел водопостачання.

Для реабілітації ґрунтів застосовуються різні методи очищення, серед яких:

– біологічні. Наприклад, фітоекстракція, коли рослини накопичують забруднювачі у своїх тканинах; біоремедіація, коли мікроорганізми розкладають забруднювачі);

– хімічні. Наприклад, хімічна екстракція – це процес видалення забруднювальних речовин з ґрунту за допомогою хімічних реагентів, які взаємодіють з цими речовинами, утворюючи розчини, які потім можна видалити або переробити. Цей метод використовується для очищення ґрунту від різних видів забруднювальних речовин, зокрема важки металів, органічних забруднювачів та хімічних сполук;

– фізичні. Наприклад, екскавація, захоронення, електролітичні технології.

Змішані методи очищення ґрунтів поєднують в собі елементи різних технологій для досягнення більш ефективного та комплексного результату.

На управлінські рішення впливають майбутні плани землекористування, так само, як вони визначають плани на майбутнє щодо ґрунтів, що зазнали ракетно-артилерійських уражень. Напрямами землекористування можуть бути:

- промислове землекористування;
- житлово-комунальне землекористування;
- сільське господарство;
- лісове господарство;
- транспортне землекористування;
- рекреаційне землекористування;
- охорона природи, збереження біорізноманіття;
- консервація.

Ефективно спланована процедура моніторингу, яка враховує особливості території воєнного впливу, використання наявних ресурсів для забезпечення адекватного охоплення досліджуваної області, дозволить зібрати репрезентативний набір проб, який точно відобразить рівні забруднення та дозволить попередити поширення наслідків небезпеки.

## Висновки

У процесі досліджень був розроблений алгоритм інформаційно-технічного методу попередження надзвичайної ситуації на територіях, що зазнали ракетно-артилерійських уражень, з метою подальшої розробки відповідної методології попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру більш високого рівня поширення.

Основними процедурами алгоритму інформаційно-технічного методу попередження надзвичайної ситуації, що можна об'єднати в консервативний (етапи 1–7) та прогресивний (етапи 8, 9) контури управління, є:

- 1) збір та аналіз статистичних даних;

- 2) визначення пріоритетних ділянок моніторингу;
- 3) визначення цілей за видами небезпек;
- 4) постановка завдань;
- 5) обрання схеми моніторингу;
- 6) визначення процедур проведення моніторингу та їх характеристик;
- 7) вирішення питань забезпечення моніторингу;
- 8) проведення моніторингу;
- 9) прийняття управлінських рішень з обмеження поширення наслідків небезпеки.

### Література

1. Рашкевич, Н.В. Аналіз сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій на територіях України, які зазнали ракетно-артилерійських уражень [Текст] / Н.В. Рашкевич // *Комунальне господарство міст. – 2023. – Том 4. – Вип. 178. – С. 232–251. DOI: 10.33042/2522-1809-2023-4-178-232-251*
2. Сплодитель, А. Влияние войны России против Украины на состояние украинских земель. Результаты анализа [Электрон. ресурс] / А. Сплодитель, О. Голубцов, С. Чумаченко, Л. Сорокина // – *Екодія. – 2023. – 155 с. – Режим доступу: <https://dSPACE.organic-platform.org/xmlui/handle/data/618>*
3. Brewer, R., Peard, J., & Heskett, M. (2017). A critical review of discrete soil sample data reliability: part 2—implications. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 26(1), 23–44.
4. Thiboutot, S., Ampleman, G., Brochu, S., Poulin, I., Marois, A., Gagnon, A., Defence Research AND Development Canada Valcartier (QUEBEC). (2012). Guidance document: surface soils sampling for munitions residues in military live fire training ranges: Canadian protocol. *Technical Report DRDC Valcartier TR 2011-447*, 1–108.
5. Yang, L., Zhu, A., Zhang, S., An, Y. (2015). A comparative study of multi-grade representative sampling and stratified random sampling for soil mapping. *Acta Pedologica Sinica*, 52(1), 28–37.
6. Clausen, J.L., Georgian, T., Bednar, A.J. (2013). Cost and performance report of incremental sampling methodology for soil containing metallic residues. *Environmental Science and Technology Certification Program. Project ER-0918*. 80 p.
7. Pichtel, J. (2012). Distribution and fate of military explosives and propellants in soil: a review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012. DOI: 10.1155/2012/617236
8. IAEA. (2004). Soil sampling for environmental contaminants. *IAEA Tec-Doc-1415*. 81 p. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1415\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1415_web.pdf)
9. Broomandi, P., Guney, M., Kim, J. R., Karaca, F. (2020). Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review. *Sustainability*, 12(21), 9002.
10. Myroshnychenko, A., Loboichenko, V., Divizinyuk, M., Levterov A., Rashkevich N., Shevchenko O., Shevchenko R. (2022). Application of Up-to-Date Technologies for Monitoring the State of Surface Water in Populated Areas Affected by Hostilities. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 16(3), 50–59.
11. Теоретичні засади парадигми «Цивільний захист»: монографія [Текст] / М.М. Дівізійук, С.А. Єременко, О.А. Левтеров, А.В. Пруський, В.В. Стрілець, В.М. Стрілець, Р.І. Шевченко // Під заг. редакцією М.М. Дівізійука та Р.І. Шевченка. – Київ: ТОВ «АЗИМУТ-ПРИНТ», 2022. – 335 с.
12. *pal economy of cities*, 4(178), 232–251. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-232-251>
13. Splidnyk, O., Holubtsov, O., Chumachenko, S., Sorokina, L. (2023). *Vplyv viyny Rosiyi proty Ukrainy na stan ukrayins'kykh gruntiv. Rezul'taty analizu. Ekodiya*. 155. <https://dSPACE.organic-platform.org/xmlui/handle/data/618>
14. Brewer, R., Peard, J., & Heskett, M. (2017). A critical review of discrete soil sample data reliability: part 2—implications. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 26(1), 23–44.
15. Thiboutot, S., Ampleman, G., Brochu, S., Poulin, I., Marois, A., Gagnon, A., Defence Research AND Development Canada Valcartier (QUEBEC). (2012). Guidance document: surface soils sampling for munitions residues in military live fire training ranges: Canadian protocol. *Technical Report DRDC Valcartier TR 2011-447*, 1–108.
16. Yang, L., Zhu, A., Zhang, S., An, Y. (2015). A comparative study of multi-grade representative sampling and stratified random sampling for soil mapping. *Acta Pedologica Sinica*, 52(1), 28–37.
17. Clausen, J.L., Georgian, T., Bednar, A.J. (2013). Cost and performance report of incremental sampling methodology for soil containing metallic residues. *Environmental Science and Technology Certification Program. Project ER-0918*. 80 p.
18. Pichtel, J. (2012). Distribution and fate of military explosives and propellants in soil: a review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012. DOI: 10.1155/2012/617236
19. IAEA. (2004). Soil sampling for environmental contaminants. *IAEA Tec-Doc-1415*. 81 p. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1415\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1415_web.pdf)
20. Broomandi, P., Guney, M., Kim, J. R., Karaca, F. (2020). Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review. *Sustainability*, 12(21), 9002.
21. Myroshnychenko, A., Loboichenko, V., Divizinyuk, M., Levterov A., Rashkevich N., Shevchenko O., Shevchenko R. (2022). Application of Up-to-Date Technologies for Monitoring the State of Surface Water in Populated Areas Affected by Hostilities. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 16(3), 50–59.
22. Divizinyuk, M.M., Yeremenko, S.O., Lyevtyerov, O.O., Prus'kyi, O.V., Strilets', V.V., Strilets', V.M., Shevchenko, R.I. (2022). *Teoretychni zasady paradyhmy «Tsyvil'nyy zakhyst»: monohrafiya*. Pid zah. redaktsiyeyu M.M. Divizinyuka ta R.I. Shevchenka. Kyiv: TOV "AZIMUT-PRINT", 335 s.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., заступник начальника інституту з навчальної та наукової роботи О.М. Мирошник, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Україна.

**Автор:** РАШКЕВИЧ Ніна Владиславна  
доктор філософії, доцент кафедри пожежної профілактики в населених пунктах  
Національний університет цивільного захисту України  
E-mail – [nine291085@gmail.com](mailto:nine291085@gmail.com)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5124-6068>

**Автор:** ШЕВЧЕНКО Роман Іванович  
доктор технічних наук, професор, начальник кафедри автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій  
Національний університет цивільного захисту України  
E-mail – [shevchenko605@i.ua](mailto:shevchenko605@i.ua)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9634-6943>

**Автор:** НЕШПОР Олег Валерійович  
заступник начальника інституту  
Інститут державного управління та наукових  
досліджень з цивільного захисту  
E-mail – [neshpor\\_mns@ukr.net](mailto:neshpor_mns@ukr.net)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0670-5445>

**DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM OF THE INFORMATION AND TECHNICAL METHOD  
OF EMERGENCY PREVENTION IN THE TERRITORIES AFFECTED BY ROCKET  
AND ARTILLERY DAMAGE**

N. Rashkevych<sup>1</sup>, R. Shevchenko<sup>1</sup>, O. Neshpor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine

*During the scientific research, the authors identified and described the main procedures of the information and technical method of preventing emergencies in the territories affected by rocket and artillery impacts. These procedures take the form of the corresponding algorithm of the information and technical method of emergency prevention. The authors pay attention to preventing emergencies due to harmful (polluting) substances in the soil above the maximum permissible concentration. The main focus is on the optimisation of soil sampling. Optimisation is a vital element of the reliability and representativeness of the results of soil hazard research. It affects the timely limitation of the spread of the effects of pollution in terms of area and number of victims.*

*During emergency prevention, monitoring is considered one of the main processes in the civil protection system of the population and territories. Decision-making and determination of the necessary measures to counteract the consequences of hazards depend on high-quality and timely detection and assessment, in this case, of soil contamination in the combat zone.*

*The main procedures of the algorithm of the information and technical method of preventing emergencies include:*

- 1) collecting and analysing statistical data;*
- 2) determining priority of monitoring areas;*
- 3) determining goals by types of hazards;*
- 4) setting tasks;*
- 5) choosing a monitoring scheme;*
- 6) determining monitoring procedures and their characteristics;*
- 7) solving monitoring issues;*
- 8) monitoring;*
- 9) making management decisions to limit the spread of the consequences of hazards.*

*An effectively planned monitoring procedure that takes into account the features of the territory of military influence and the use of available resources to ensure adequate coverage of the studied area will allow the collection of a representative set of samples that will accurately reflect the levels of pollution and will allow to prevent the spread of the consequences of hazards from the object level to higher levels (occurrence of emergency at the local or even regional level).*

**Keywords:** *algorithm, soil, pollution, monitoring, emergency.*