

UDC 528.88:550.34.01:623.45

**Viacheslav Vyshniakov**<sup>1</sup>, PhD, Associate Professor of the Department of Geospatial Support and Application of Space Systems, National Defence University of Ukraine  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2057-0505> **e-mail:** [wishnya\\_dzz@ukr.net](mailto:wishnya_dzz@ukr.net)

**Oleksandr Liashchuk**<sup>2</sup>, PhD, Senior Researcher, Deputy Head of the Main Center for Special Monitoring of the National Space Facilities Control and Test Center  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8690-1808> **e-mail:** [alex\\_liashchuk@ukr.net](mailto:alex_liashchuk@ukr.net)

**Viktor Mamarev**<sup>3</sup>, PhD, Deputy Head of Analytical Department, National Space Facilities Control and Test Center  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2233-7432> **e-mail:** [mamarev@spacecenter.gov.ua](mailto:mamarev@spacecenter.gov.ua)

**Yurii Andrushchenko**<sup>2</sup>, PhD, Head of the Information Collection and Processing Center of the Main Center for Special Monitoring of the National Space Facilities Control and Test Center  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8993-0113> **e-mail:** [andruschenko\\_yuriy@ukr.net](mailto:andruschenko_yuriy@ukr.net)

**Oleksandr Koshlan**<sup>1</sup>, PhD, Senior Researcher, Associate Professor of the Department of Infrastructure and Transport Support, National Defence University of Ukraine  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9678-6463> **e-mail:** [koshlan\\_sasha@ukr.net](mailto:koshlan_sasha@ukr.net)

<sup>1</sup>National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Main Center for Special Monitoring of the National Space Facilities Control and Test Center, Ukraine

<sup>3</sup>National Space Facilities Control and Test Center, Kyiv, Ukraine

## COMPREHENSIVE INFORMATION AND EARTH-SPACE MONITORING OF NATURAL PHENOMENA AND MAN-MANUFACTURED DISASTERS

**Abstract.** *The article examines approaches to ensuring situational awareness under current threats to national security through the integration of heterogeneous data sources. The aim of the study is to harmonize methods for using Earth remote sensing data, ground-based geophysical monitoring, and open-source information to detect and verify natural and technogenic events.*

*The research methodology is based on a comprehensive analysis of multisensor information, including satellite imagery of various spatial resolutions, seismic and infrasound data, as well as mass media reports. Methods of spatio-temporal correlation, signal processing, and comparative analysis were applied.*

*The results confirm the effectiveness of the integrated approach for determining the parameters of technogenic events, including the time, location, and energy characteristics of explosions. Case studies of real events demonstrate the possibility of reliable verification even under conditions of limited availability of individual data sources.*

*The theoretical significance lies in the development of methodologies for spectral analysis of geophysical processes. The practical significance is associated with the application of the results to support decision-making in the field of security and defense.*

*The scientific novelty is defined by the integration of data sources of different physical nature into a unified event verification system.*

*The limitations of the study are related to the availability of very high-resolution satellite data and the technical characteristics of sensors. Future research prospects include the development of automated data processing algorithms and the expansion of monitoring networks.*

**Keywords:** *Earth remote sensing; emergencies; situational awareness; seismic signals; satellite imagery; integrated analysis.*

**В.Ю. Вишняков<sup>1</sup>, О.І. Ляшук<sup>2</sup>, В.М. Мамарев<sup>3</sup>, Ю.А. Андрущенко<sup>2</sup>, О.В. Кошлянь<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Головний центр спеціального контролю НЦУВКЗ, сел. Городок, Україна

<sup>3</sup>Національний центр управління та випробувань космічних засобів, м. Київ, Україна

## **КОМПЛЕКСНИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ ТА НАЗЕМНО-КОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПРИРОДНИХ ЯВИЩ ТА ТЕХНОГЕННИХ КАТАСТРОФ**

**Анотація.** У статті досліджено підходи до забезпечення ситуаційної обізнаності в умовах сучасних загроз національній безпеці шляхом інтеграції різномірних джерел даних. Метою дослідження є узгодження методів використання даних дистанційного зондування Землі, наземного геофізичного моніторингу та відкритих інформаційних джерел для виявлення та верифікації природних і техногенних подій.

Методологія дослідження базується на комплексному аналізі мультисенсорної інформації, включаючи супутникові знімки різної просторової розрізненості, сейсмічні та інфразвукові дані, а також повідомлення засобів масової інформації. Використано методи просторово-часової кореляції, обробки сигналів і порівняльного аналізу.

Результати дослідження підтверджують ефективність інтегрованого підходу для визначення параметрів техногенних подій, зокрема часу, місця та енергетичних характеристик вибухів. На прикладах реальних подій доведено можливість достовірної верифікації навіть за умов обмеженості окремих джерел інформації.

Теоретичне значення полягає у розвитку методології спектрального аналізу геофізичних процесів. Практичне значення полягає у можливості застосування результатів для підтримки прийняття управлінських рішень у сфері безпеки та оборони.

Наукова новизна визначається інтеграцією різних за природою джерел інформації в єдину систему верифікації подій.

Обмеження дослідження пов'язані з доступністю супутникових даних надвисокої просторової розрізненості та технічними характеристиками сенсорів. Перспективи подальших досліджень полягають у розвитку автоматизованих алгоритмів обробки даних та розширенні мереж моніторингу.

**Ключові слова:** зондування Землі; надзвичайні ситуації; ситуаційна обізнаність; сейсмічні сигнали; інфразвук; супутникові знімки; комплексний аналіз.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2026.2.172-188>

## **Вступ**

В умовах сучасних викликів національній безпеці та обороні України, зокрема збройної агресії російської федерації, масштабного техногенного екоциду та змушеного проведення превентивних заходів безпеки на території агресора критичного значення набуває здатність держави здійснювати безперервний та всепогодний контроль безпекового простору.

Інтенсивний розвиток засобів і мереж передачі та обробки даних створив передумови для розвитку різноманітних підходів до комплексування інформації від вимірювальних систем, що побудовані на різних фізичних принципах. Одночасне вимірювання «фізичних полів» різної природи дозволяє забезпечити принципово нову «якість» інформації про об'єкти, події та явища. Станом на сьогодні в Україні функціонує Національний центр управління та випробувань космічних засобів (НЦУВКЗ), який здатен отримувати дані інформації з використанням наземних методів геофізичного моніторингу, дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та здійснювати аналіз з відкритих джерел та засобів масової інформації (ЗМІ). Комплексне використання цих методів дозволить отримати об'єктивну картину, що не залежить від маніпуляцій у медіапросторі: від моменту вибуху до детальної фіксації руйнувань на об'єктах, як на нашій території, так і в глибокому тилу противника.

## **Постановка проблеми**

Гібридна війна та активне використання засобів масової інформації для введення в оману вимагають нових підходів для отримання достовірної інформації як органами державної влади, так і керівництвом сил безпеки та оборони для забезпечення прийняття вірних управлінських рішень. Активне застосування Україною повітряного та ракетного озброєння для нанесення ударів по інфраструктурі РФ для послаблення логістичного забезпечення агресії проти України вимагають створення принципово нових систем ситуаційної обізнаності.

У цьому контексті актуальність комплексного інформаційного та наземно-космічного моніторингу трансформується у задачу верифікації руйнувань критичних об'єктів, складів боєприпасів та логістичних вузлів агресора. Використання лише одного джерела даних (зі ЗМІ чи супутникових знімків) може бути хибним або недостатнім через хмарність і можливість маскування наслідків. Натомість, інтеграція даних ЗМІ, сейсмічних, акустичних методів та даних ДЗЗ дозволяє створити систему, в якій поєднуються різні джерела інформації та здійснюється достовірний, об'єктивний аналіз ситуації. При цьому система комплексного моніторингу має використовувати ЗМІ як оперативний індикатор, а геофізичні методи та ДЗЗ як інструменти об'єктивного підтвердження та верифікації.

Таким чином, розробка методології комплексного інформаційного та наземно-космічного моніторингу є пріоритетним напрямом для забезпечення інформаційної переваги та прийняття своєчасних рішень у сфері безпеки та оборони України.

## Аналіз останніх досліджень і публікацій

Впродовж останніх десятиліть розвиток геофізичного моніторингу та ДЗЗ перейшов від етапу фундаментальних спостережень до формування систем глобальної ситуаційної обізнаності. Сучасна науково-методична база дозволяє не лише накопичувати значні обсяги даних, а й здійснювати їх автоматизовану інтерпретацію в інтересах національної безпеки та оборони.

Аналіз фахових публікацій [1–10] свідчить про зміщення акцентів у бік прикладного використання мультисенсорних мереж. Дослідники все частіше розглядають антропогенні та природні явища не як ізольовані події, а як складні геофізичні процеси, що потребують комплексного аналізу.

Водночас, повномасштабна збройна агресія проти України виявила потребу у критичному переосмисленні існуючих підходів. Виникає необхідність адаптації цивільних методик моніторингу для вирішення специфічних військових завдань, які традиційними методами розвідки не можуть бути визначені.

**Метою дослідження** є узгодження підходів до комплексного застосування методів ДЗЗ, наземного геофізичного моніторингу та аналізу даних з відкритих інформаційних джерел. Впевнитися в ефективності виявлення та оцінювання наслідків природних і техногенних явищ, подій та катастроф в системі ситуаційної обізнаності.

## Результати дослідження

На сьогодні в Україні здійснюється ДЗЗ та контактне зондування Землі (КЗЗ), що дає можливість проводити випереджальну верифікацію повідомлень з відкритих інформаційних джерел на основі об'єктивних даних. Основними функціями зазначених систем моніторингу є накопичення, оброблення, інтерпретування та розповсюдження даних, а також результатів їх оброблення.

Для задач космічного моніторингу надзвичайних подій природного та техногенного походження використовуються як пасивні (оптичні), так і активні (радіолокаційні) системи. Сучасні засоби ДЗЗ надають можливість отримання інформації з просторовою розрізненістю від десятків кілометрів до десятків сантиметрів. Суттєвими перешкодами для отримання цих даних є непередбачена хмарність (для оптичних систем) і технічні особливості супутників, на яких розташовані системи ДЗЗ, а саме висота орбіти, періодичність прольоту над певною територією.

Прийом та оброблення даних ДЗЗ здійснюється на наземних приймальних станціях в X, L та S діапазонах, станціях нормалізації, тематичного оброблення та збереження даних в більшості в денний час. В залежності від просторової розрізненості та спектральних властивостей каналів отриманих даних ДЗЗ фахівцями визначаються:

- за даними низької та середньої просторової розрізненості: температурні аномалії (ймовірні надзвичайні ситуації (НС)), ділянки з аномальними геофізичними показниками підстильної поверхні (температура земної та водної поверхні, різноманітні індекси, димові шлейфи);

- за даними високої та надвисокої просторової розрізненості: часові зміни на урбанізованих та природних ділянках, визначення об'єктів і джерел надзвичайних ситуацій, фіксація умов, що призвели до виникнення НС [7–9, 11].

На відміну від ДЗЗ, КЗЗ дозволяє здійснювати моніторинг безперервно і не залежить від зовнішніх чинників. Наземна складова традиційно використовує комплекс пасивних геофізичних методів, що дозволяють проводити виміри аномалій геофізичних полів від літосфери/гідросфери до атмосфери, іоносфери та магнітосфери.

Для здійснення задачі геофізичного моніторингу за природними та штучними геофізичними полями та явищами, а також для спостереження забруднення довкілля радіоактивними речовинами використовується територіально рознесена мережа сенсорів (пасивні сейсмічні, інфрашумові, геомагнітні, радіонуклідні, радіотехнічні), об'єднаних каналами зв'язку та єдиним центром даних в режимі 24/7.

Так, наприклад, будь-який вибух (техногенний чи природний) створює пружні хвилі, які поширюються в земній корі та атмосфері і можуть бути зафіксовані відповідними сенсорами.

Перевагами методів геофізичного моніторингу можна вважати оперативність, незалежність від погодних умов, добового чи сезонного періоду. В той же час, зазначені методи не дають можливості проведення комплексного моніторингу, що охоплює різні характеристики досліджуваних об'єктів, відображення динаміки протікання процесів, картографування потенційно небезпечних ділянок, визначення наслідків надзвичайної ситуації (ступені ушкодження об'єктів, площі пошкодження).

У подальшому, в разі необхідності, до аналізу можуть залучатися дані метеорологічного та радіонуклідного моніторингу, дані ДЗЗ з архівів комерційних супутників, застосування безпілотних літальних апаратів та плануватися заходи з подальшого моніторингу. Використання вказаних методів у комплексі дозволяє здійснювати безперервний моніторинг території України та інших держав на предмет визначення НС (рис. 1).

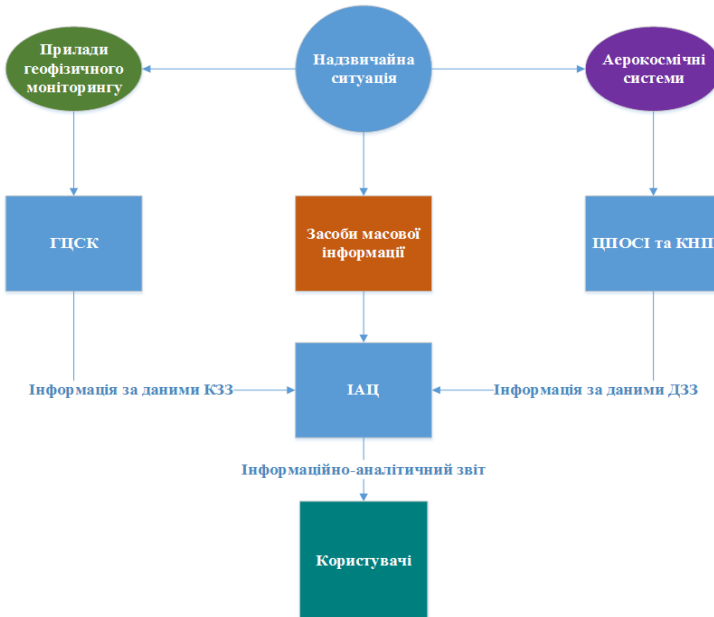


Рис. 1. Схема комплексного інформаційного та наземно-космічного моніторингу природних і техногенних явищ та катастроф

Інформація про НС фіксується трьома шляхами: з застосуванням аерокосмічних систем, приладів геофізичного моніторингу та засобів масової інформації. Отримані дані потрапляють в Інформаційно-аналітичний центр, де аналізуються та трансформуються в інформаційно-аналітичний звіт, який надається користувачу для прийняття управлінських рішень.

З метою оцінки ефективності виявлення та оцінювання наслідків природних і техногенних явищ, подій та катастроф в системі ситуаційної обізнаності авторами були опрацьовані та проаналізовані виявлені вибухи, що сталися на території держави та у глибокому тилу агресора під час повномасштабного вторгнення.

### ***Підри्व греблі Каховської ГЕС 5 червня 2023 року***

Аналіз даних ДЗЗ дозволив виявити аномальну роботу дамби, яка почалася з листопада 2022 року. З 15 листопада 2022 року і до моменту підриву ГЕС скидання води здійснювалось з одного і того ж елемента греблі, що підтверджується космічними знімками компанії Planet Lab, отриманими у період з 2022-11-15 по 2023-06-03 (рис. 2). Однак ймовірність руйнування конструкції оцінювалася як низька, за умови належного обслуговування дамби. Також висувалася гіпотеза можливого впливу попередніх пошкоджень та підвищення рівня води.

Масштаби та характер руйнування були зафіксовані за допомогою супутникових оптичних знімків SkySat, опублікованих Planet Lab, що надає додаткові цінні докази стану дамби [12] (рис. 3).



Рис. 2. Ймовірні ознаки пошкодження запірних шандорів Каховської ГЕС

Аналіз даних ЗМІ показав, що перші повідомлення з'явилися у ЗМІ вже через десяток хвилин після прориву дамби. Хвиля повідомлень зростала по мірі накопичення інформації. Норвезький інститут NOR SAR повідомив про виявлення сейсмічних сигналів, ймовірно, від сильного вибуху, зазначивши, що час і місце відповідають інформації ЗМІ.

За результатами аналізу сейсмоакустичних даних було визначено, що вибух стався 5 червня 2023 року 23:34:50 UTC. Обробка сейсмічних сигналів проводилася у програмному пакеті Seiscomp5 з використанням стандартної швидкісної моделі IASPI91 та локатора LOCSAT. Зазначимо, що визначення



Рис. 3. Руїнування Каховської греблі 05.06.2023, джерело – SkySat

точного часу події супроводжувалося певними складнощами. По-перше, малою потужністю вибуху і, як наслідок, малою кількістю сейсмічних станцій, які його зареєстрували. Сигнал було зареєстровано сейсмічними масивами PS45 (Україна) та BURARI (Румунія) і сейсмічними станціями SORM (Молдова) та LUBAR (Україна). По-друге, змішуванням сигналів від різних подій на одному часовому проміжку. Так, на сейсмічній станції PS45 сигнал від вибуху наклався на сигнал від іншої події (Тонга, 23:16:02, -19.4 -175.52,  $M=4.3$ ). Однак застосування фільтрації в різних частотних смугах дало можливість розділити високочастотний локальний та низькочастотний телесеїсмічний сигнали. Сейсмічна обстановка в Україні була також ускладнена іншими вибухами в результаті ракетно-бомбових ударів агресора, втім сейсмічні сигнали від цих подій мали інші локації та час.

Однозначним підтвердженням вибухової природи події стали сигнали, зареєстровані мережею українських інфразвукових масивів. Залучалися інфразвукові групи мікробарографів KPDA (Кам'янець-Подільський), МААГ (Малин) та GRDI (Городок). Суть роботи таких масивів полягає у виявленні когерентної складової на фоні некогерентного шуму, що дозволяє виявляти сигнали навіть на рівні фону. Обробка даних інфразвукових масивів дає можливість визначати азимут на подію, а при подальшому використанні мережі станцій і локалізувати її. Аналіз даних проводився в програмному пакеті WinPMCC (рис. 3–5) з використанням алгоритму прогресивної мультіканальної кореляції (*Progressive Multi Channel Correlation* (PMCC)) [13]. Після визначення часу події сейсмічними засобами, спрогнозовано час

прибуття інфразвукових сигналів на кожен елемент інфразвукового масиву. Прогноз фаз збігся із часом їх реального вступу для швидкості сигналу 290-300 м/с. Мапа з результатами розрахунків наведена на рис. 4.

Ідентифікація події та визначення її потужності проводилася за методикою, апробованою на інших вибухових подіях на території України [14].

Оцінка енергії в тротиловому еквіваленті для сейсмічних даних проводиться на основі енергетичного класу  $K$ . При визначенні енергетичного класу події використовувалася максимальна амплітуда в  $P$ - і  $S(Lg)$ - фазах сейсмічних хвиль на короткоперіодних каналах. Далі розрахунок проводився за формулою (1):

$$K = 1,8 \lg(A_p + A_s) + \sigma(\Delta), \quad (1)$$

де:  $A_p$  і  $A_s$  – максимальна амплітуда  $P$  і  $S$  – хвиль в мікронах;  $\sigma(\Delta)$  – калібрувальна функція для  $(A_p + A_s)$  в діапазоні відстаней від 10 до 3000 км.

Для оцінки залежності між енергетичним класом і оцінками потужності вибухів в тротиловому еквіваленті використовувалися статистичні дані про вибухи у північних та центральних областях України [15].

Отримана залежність між енергетичним класом  $K$  і потужністю вибухів  $Y$  має вигляд:

$$K = 1,5511 \lg(Y) + 1,2653, \quad (2)$$

що еквівалентно наступному:

$$Y = 10^{(K-1,2653)/1,5511}. \quad (3)$$

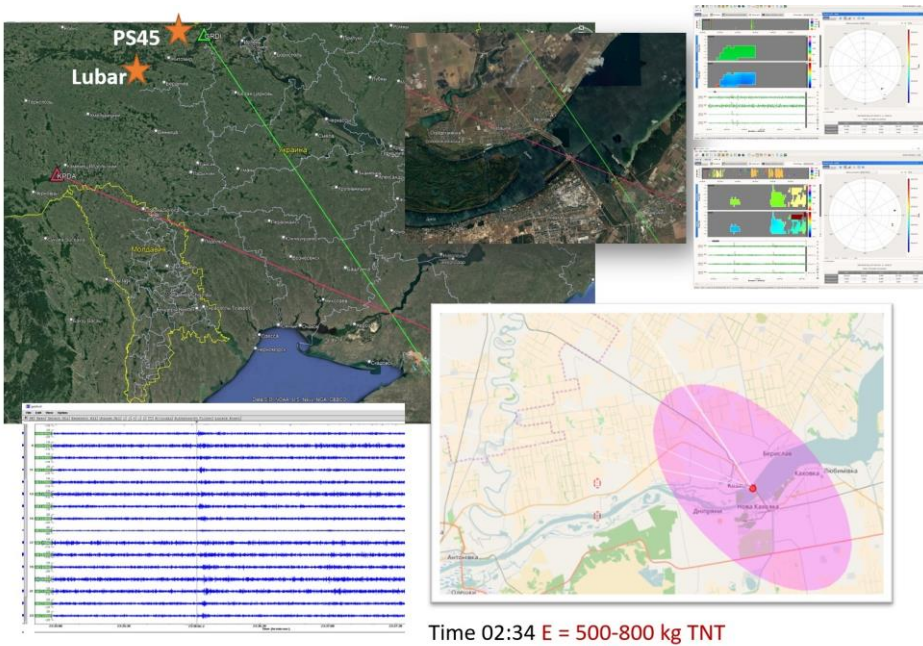


Рис. 4. Карта (згори) і результат розрахунків за інфразвуковими даними, сейсмічні дані та мапа з результатами виявлення

Для конкретної події енергетичний клас склав  $K=5,74$  (магнітуди  $M=1$ ,  $mb=1.99$ ), що відповідає потужності 767 кг ТНТ.

Оцінка енергетичних параметрів за акустичними даними здійснювалася за допомогою емпіричної формули, запропонованої АFTAC (Air Force Technical Applications Center) [16]:

$$Y_{(TNT)} = 2 * \left( \frac{T}{5.92} \right)^{3.34}, \quad (4)$$

де  $Y$  – потужність в кілотоннах ТНТ,  $T$  – період інфразвукового сигналу, виміряний на ділянці максимальної амплітуди.

Переважаючі періоди склали для інфразвукової станції МААГ  $T = 0,55$  с, для станції КРДА  $T = 0,59$  с, та  $T = 0,6$  с для GRDI, що відповідно має енергію 714 кг ТНТ, 903 кг ТНТ та 956 кг ТНТ.

В цілому, розраховані значення енергії з використанням сейсмічних та акустичних даних корелюють між собою, тож наданий усереднений результат для органів реагування склав близько 800 кг ТНТ.

Таким чином, комплексне застосування методів ДЗЗ, наземного геофізичного моніторингу та аналізу даних з відкритих інформаційних джерел дозволив констатувати факт підриву греблі Каховської ГЕС 5 червня 2023 року о 23:34:50 UTC.

### ***Вибухи на 107-му арсеналі ГРАУ мін. оборони рф, 18 вересня 2024 року***

За даними ЗМІ рф у ніч проти 18 вересня відбулася масована атака безпілотників у місті Торопець Тверської області. Оголошено про евакуацію населення з території, де працювала ППО і спалахнула пожежа. В мережі з'явилися відео потужних вибухів та масштабних пожеж від місцевих жителів, які повідомили, що був атакований склад із боєприпасами.

Пізніше ряд українських ЗМІ із посиланням на СБУ повідомили, що склад головного ракетно-артилерійського управління мін. оборони рф у Торопці атакували дрони СБУ, ГУР та ССО. На цьому складі зберігались ракети для комплексів «Іскандер» і «Точка-У», а також керовані авіаційні бомби (КАБи).

Сейсмічним та акустичним методами виявлення у період з 03:56 до 18:00 18 вересня 2024 року було зареєстровано серію з 22 сигналів техногенного походження. Перелік сейсмічних джерел з території м. Торопець, Тверської області, рф, зареєстрованих технічними засобами Головного центру спеціального контролю (ГЦСК) 18 вересня 2024 року, представлено в таблиці 1. За результатами поглибленого аналізу геофізичної інформації з пунктів спостереження встановлено, що джерела сигналів знаходяться у районі м. Торопець, Тверської області, рф: розрахункові координати місця події: 56,50 пн.ш., 31,70 сх.д. (рис. 5).

При обробці даних сейсмічного і акустичного методу виявлення були використані сигнали, зареєстровані пунктами спостереження «Балта» та «Малин», малоапертурними акустичними групами МААГ1, КРДА та сейсмічною станцією PS45. Крім того, окремі акустичні сигнали від найбільш потужних вибухів були зареєстровані інфразвуковими станціями IS26 (Німеччина) та IS43 (Російська Федерація) Міжнародної системи моніторингу Організації договору про всеосяжну заборону ядерних вибухів (ОДВЗЯВ).

Діапазон розрахункових потужностей склав 20-155 тонн ТНТ. Значення потужності, визначені з використанням сейсмічних та акустичних даних, показали високу кореляцію, що свідчить про ефективність застосованих методик розрахунків.

Аналіз результатів даних ДЗЗ підтвердив факт виникнення та масштаби надзвичайної події на території військового арсеналу. На першому етапі за допомогою сервісів оперативного моніторингу, зокрема системи FIRMS (Fire Information for Resource Management System), було зафіксовано численні теплові аномалії. Використання стандартних продуктів низької просторової розрізненості MODIS Land (MOD14/MYD14) дозволило оперативно ідентифікувати осередки горіння в тепловому інфрачервоному діапазоні (рис. 6), що безпосередньо свідчить про інтенсивну пожежу, спричинену серією вибухів на об'єкті.

Для проведення детальної оцінки пошкоджень та оцінки ступеня руйнувань було залучено космічні знімки високої просторової розрізненості.

Порівняльний аналіз мультиспектральних зображень дозволив верифікувати наслідки прямих влучань та вторинної детонації боеприпасів.

Таблиця 1

№ з/р	Час в джерелі (Київський)	Магнітуда	Розрахована потужність (Тонн ТНТ)
1.	03:56:27	2.8	110
2.	04:23:27	2.9	155
3.	04:29:24	2.8	100
4.	04:38:55	2.4	40
5.	04:41:43	2.4	35
6.	04:43:55	2.5	54
7.	05:04:04	2.4	36
8.	05:28:58	2.4	42
9.	05:32:27	2.6	57
10.	05:37:02	2.3	32
11.	05:39:24	2.4	36
12.	05:43:04	2.2	23
13.	05:46:12	2.4	40
14.	05:56:33	2.2	23
15.	06:00:50	2.4	36
16.	06:06:57	2.3	26
17.	06:23:30	2.7	88
18.	06:43:11	2.4	35
19.	06:54:21	2.3	27
20.	08:38:46	-	63
21.	09:03:07	-	102
22.	17:56:46	2.9	118

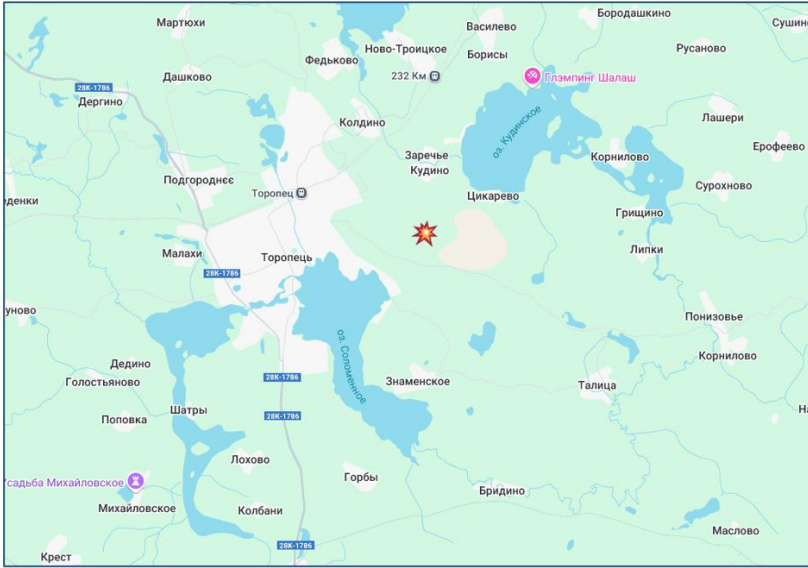


Рис. 5. Розташування джерела сейсмічних сигналів з території м. Торопець, Тверської області, рф, зареєстрованих технічними засобами ГЦСК 18.09.2024 року



Рис. 6. Система інформації про пожежі для управління ресурсами (FIRMS) NASA

На рис. 7 візуалізовано результати дешифрування: зірочками ідентифіковано місця повного або часткового руйнування споруд та критично важливих сховищ. Окреслена зона максимальних ушкоджень надала можливість встановити точну площу ураження та оцінити рівень втрат інфраструктури об'єкта. Поєднання даних різної просторової розрізненості підтвердило свою ефективність для верифікації масштабних техногенних подій та їх подальшої експертної оцінки.

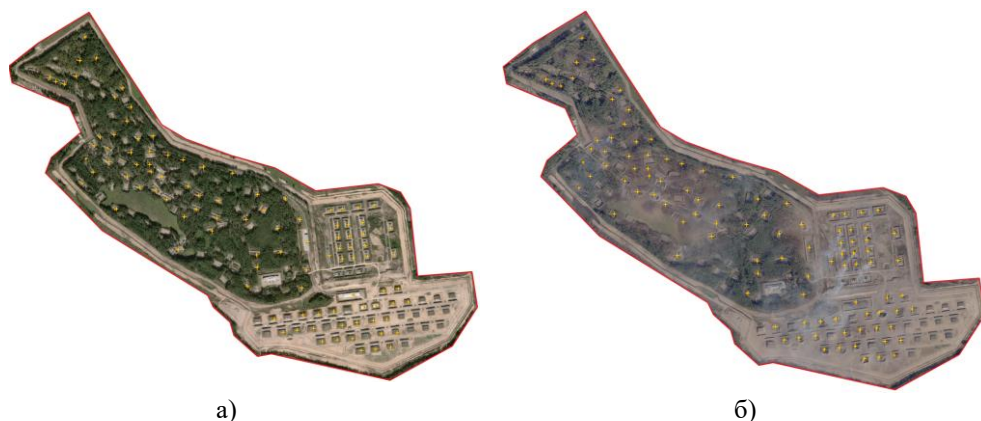


Рис. 7. Оцінка результатів вогневого ураження 107-го арсеналу Головного управління ракетно-артилерійського управління за бітемпоральними оптичними знімками: а) 09.09.2024 (до ураження), б) 21.09.2024 (після ураження)

### ***Вибухи на аеродромі "Енгельс" у Саратовській області рф 20 березня 2025 року***

20 березня 2025 року сейсмічним та акустичним методами виявлення було зареєстровано сигнал техногенного походження з району м. Енгельс, Саратовської області, рф. Перелік сейсмічних джерел з території м. Енгельс, Саратовської області, рф, зареєстрованих технічними засобами ГЦСК 20 березня 2025 року, представлено в таблиці 2. Розрахункова потужність сигналу склала близько 40 тонн TNT.

При обробці даних акустичного методу виявлення були використані сигнали, зареєстровані пунктами спостереження «Балта» та «Малин». Крім того, окремі акустичні сигнали від найбільш потужних вибухів були зареєстровані інфразвуковими станціями IS26 (Німеччина) та IS43 (рф) Міжнародної системи моніторингу Організації договору про всеосяжну заборону ядерних вибухів (ОДВЗЯВ) (рис. 8).

У ЗМІ Генеральним штабом ЗСУ було повідомлено, що підрозділами СБУ, ССО ЗСУ, у взаємодії з іншими складовими Сил оборони, у ніч на 20 березня було завдано удару по аеродрому "Енгельс" у Саратовській області рф. Пізніше зроблене уточнення, що ворог втратив 96 крилатих ракет повітряного базування (зокрема, і внаслідок вторинної детонації). Надана інформація корелюється із даними, отриманими засобами геофізичного контролю.

Таблиця 2

№ з/п	Дата	Час в джерелі (київський)	Координати джерела		Розрахункова потужність вибуху, тонн TNT	Місце джерела
			широта	довгота		
1.	20.03.25	05:09:11	51,49 пн.ш.	46,19 сх.д.	близько 40	Саратовська область, рф

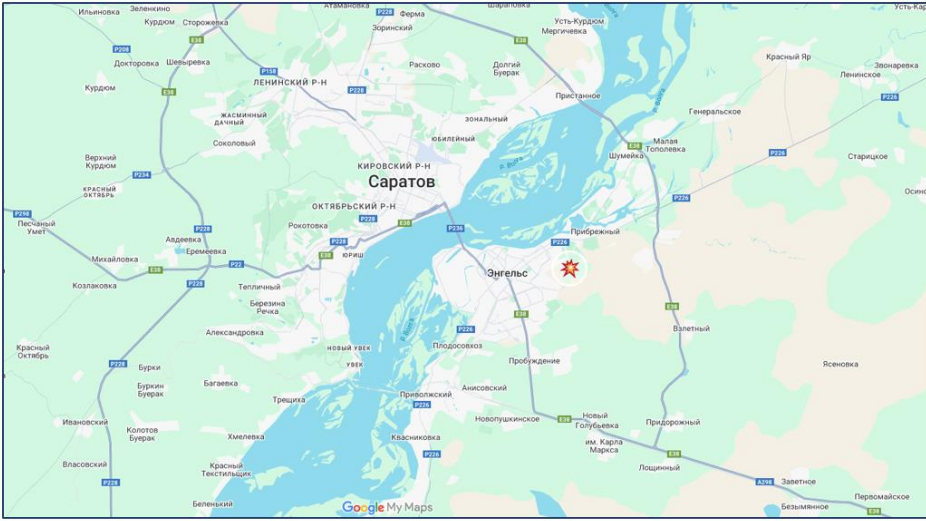


Рис. 8. Результат реєстрації інфразвукових сигналів від вибухів на військовому об'єкті, район м. Енгельс

Порівняльний аналіз космічних знімків високої розрізненості за 14.10.2024 та 21.03.2025 дозволив верифікувати значне вогневе ураження складу ракетно-авіаційного озброєння авіабази «Енгельс». Шляхом пооб'єктного дешифрування встановлено повну деструкцію щонайменше 11 спеціалізованих сховищ та ангарів, що позначені на знімку маркерами (рис. 9). Характер пошкоджень (обвал покрівель та руйнування стін) свідчить про прямі влучання та ймовірну вторинну детонацію боєприпасів всередині будівель.

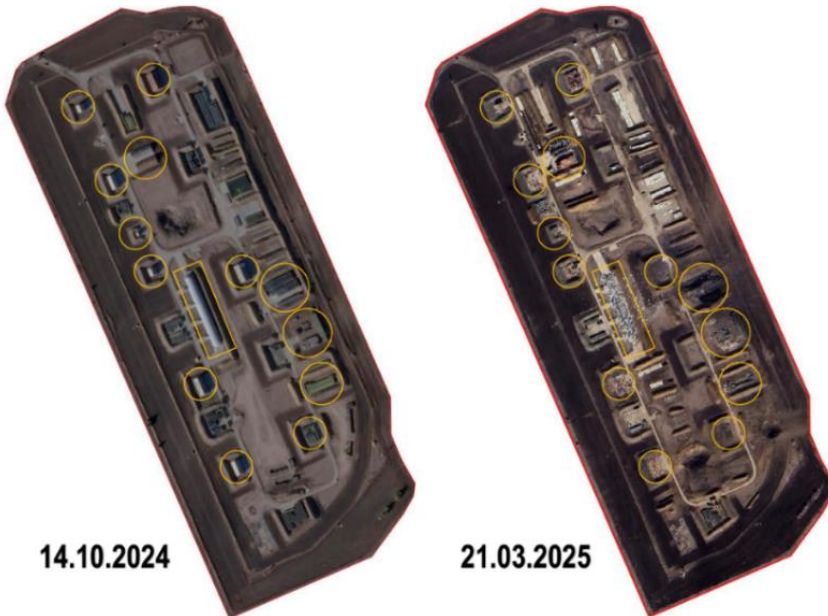


Рис. 9. Оцінка результатів вогневого ураження складу ракетно-авіаційного озброєння авіабази «Енгельс» за бітемпоральними оптичними знімками

Окремо зафіксовано тотальне знищення центральної споруди (виділено прямокутником), на місці якої спостерігається масштабне поле уламків будівельних конструкцій. Окрім механічних руйнувань, на території об'єкта виявлено численні термічні аномалії у вигляді зміненого кольору ґрунту, що є прямим наслідком інтенсивного горіння та розльоту вибухонебезпечних матеріалів. Сукупність виявлених деструктивних ознак у межах окресленого периметру свідчить про критичне ураження інфраструктури та фактичну втрату об'єктом можливостей для подальшого зберігання і обслуговування ракетно-авіаційного озброєння.

## **Висновки та перспективи подальших досліджень**

За результатами проведених досліджень було визначено, що в умовах сучасної війни жоден метод моніторингу небезпечних природних явищ та техногенних подій (надзвичайних ситуацій) не є самодостатнім. Практично доведено ефективність використання комплексного наземно-космічного моніторингу з застосуванням як власних національних засобів (підрозділів НЦУВКЗ), так і залученням міжнародних мереж.

Інтеграція комплексного наземно-космічного моніторингу у загальну систему управління силами безпеки та оборони дозволить забезпечити керівництво держави обґрунтованими даними для прийняття управлінських рішень. Поєднання дистанційного зондування Землі, засобів геофізичного моніторингу та аналізу даних ЗМІ дозволяє не лише розраховувати просторово-енергетичні параметри джерел техногенних подій, а й оцінювати динаміку протікання процесів, проводити картографування потенційно небезпечних ділянок та визначати наслідки надзвичайних ситуацій. Запропонований підхід дозволить Україні мати власну незалежну систему верифікації подій, що критично важливо для протидії проведенню ворожих інформаційно-психологічних операцій та уникнення дезінформації. Крім того, геофізичні методи можуть стати унікальним інструментом технічної розвідки, що дозволить фіксувати результати вогневого ураження в глибокому тилу ворога незалежно від погодних умов.

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Черногор Л. Ф., Лящук А. И., Шевелев Н. Б. Временной и системный спектральный анализы инфразвуковых сигналов в атмосфере, сгенерированных в течение техногенной катастрофы. Космічна наука і технологія. 2020. Т. 26, № 3. С. 81–96. DOI: 10.15407/knit2020.03.081.
2. Черногор Л. Ф., Лящук А. И., Шевелев Н. Б. Параметры инфразвуковых сигналов в атмосфере, сгенерированных массовыми взрывами на арсенале боеприпасов. Радиофизика и радиоастрономия. 2018. Т. 23, № 4. С. 280–293. DOI: 10.15407/rpra23.04.280.
3. Liashchuk O., Andrushchenko Yu., Topolnytskyi P., Poikhalo A., Mamariev V. Ground and space complex monitoring of natural and anthropogenic phenomena and disasters. In: Proceedings of the XIII International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”. 2019. P. 1–5. DOI: 10.3997/2214-4609.201903261.
4. Liashchuk O., Kariahin Y., Andrushchenko Y., Tolchonov I., Kolesnykov L. Regional infrasound monitoring in Ukraine. In: EGU General Assembly 2021. 2021. EGU21-6271. DOI: 10.5194/egusphere-egu21-6271.

5. Вишняков В. Ю., Ткачук П. А. Особливості методів визначення температурних аномалій за даними ДЗЗ MODIS (TERRA) та AVHRR (NOAA): оцінка їх якості. Екологічна безпека та природокористування. 2012. № 10. С. 81–90.
6. Вишняков В. Ю., Гринюк С. В., Глущенко О. М. та ін. Автоматизація оброблення інформації дистанційного зондування Землі для вирішення завдань оперативного моніторингу території України. Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем. Житомир: ЖВІРЕ, 2007. № 11. С. 44–51.
7. Костюченко Ю. В. та ін. Методика комплексної оцінки ризиків ландшафтних пожеж за даними супутникових спостережень. Космічна наука і технологія. 2011. № 6. С. 30–44.
8. Trofymchuk O., Vishnyakov V., Sheviakina N., Klymenko V., Zagorodnia S. Analysis of impacts of war on ecosystems of protected areas of Ukraine. In: Proceedings of the 23rd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2023. 2023. DOI: 10.5593/sgem2023v/3.2/s14.36.
9. K.Tretyak, O.Zayats, V.Kuplovskiy, A.Liashchuk, T.Korliatovych, S.Nesterenko, Yu.Bisovetskiy (2026) Assessment of the causes of the Kakhovka HPP dam collapse based on a comprehensive analysis of structural monitoring, seismic, and infrasound studies, Progress in Disaster Science, Volume 30. 100549, <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2026.100549>
10. Dando, B. D., Goertz-Allmann, B. P., Brissaud, Q., Köhler, A., Schweitzer, J., Kværna, T., & Liashchuk, A. (2023). Identifying attacks in the Russia–Ukraine conflict using seismic array data. *Nature*, 621(7980), 767–772. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06416-7>
11. Космічне та геоінформаційне забезпечення прийняття рішень у ключових сферах національної безпеки і оборони України : монографія / за ред. О. В. Скидана. Житомир: Поліський національний університет, 2022. 355 с. ISBN 978-617-7684-81-6.
12. Satellite Imagery Gallery. *Planet Labs*. URL: <https://www.planet.com/gallery/#!/post/destruction-of-the-kakhovka-dam> (дата звернення: 24.12.2023).
13. Cansi Y. An automated seismic event processing for detection and location: the P.M.C.C. method. *Geophysical Research Letters*. 1995. Vol. 22. P. 1021–1024.
14. Osadchii V., Andrushchenko Yu., Liashchuk O. Identification of natural and technogenic seismic events by energy characteristics. *Geodynamics*. 2023. No. 2 (35). P. 99–105.
15. Андрущенко Ю. А., Лящук О. І., Осадчий В. І., Корнієнко І. В. Залежність магнітудних оцінок від потужностей хімічних вибухів на промислових кар'єрах у межах Українського щита. *Геофізичний журнал*. 2018. Т. 40, № 3. С. 157–164. DOI: 10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137196.
16. ReVelle D. O. Historical detection of atmospheric impacts by large bolides using acoustic-gravity waves. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1997. Vol. 822. P. 284–302.

*Стаття надійшла до редакції 03.02.2026, надійшла після рецензування 27.03.2026, прийнята 15.04.2026*

## REFERENCES

1. Chernohor, L. F., Liashchuk, A. I., & Shevelev, N. B. (2020). Vremennoy i sistemnyy spektral'nyy analizy infrzvukovykh signalov v atmosfere, sgenerirovannykh v techenie tekhnogennoy katastrofy. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia*, 26(3), 81–96. <https://doi.org/10.15407/knit2020.03.081>
2. Chernohor, L. F., Liashchuk, A. I., & Shevelev, N. B. (2018). Parametry infrzvukovykh signalov v atmosfere, sgenerirovannykh massovymi vzryvami na arsenale boepripasov. *Radiophysics and Radio Astronomy*, 23(4), 280–293. <https://doi.org/10.15407/rpra23.04.280>
3. Liashchuk, O., Andrushchenko, Y., Topolnytskyi, P., Poikhalo, A., & Mamariev, V. (2019). Ground and space complex monitoring of natural and anthropogenic phenomena and disasters. In *Proceedings of the XIII International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903261>

4. Liashchuk, O., Kariahin, Y., Andrushchenko, Y., Tolchonov, I., & Kolesnykov, L. (2021). Regional infrasound monitoring in Ukraine. In *EGU General Assembly 2021 (EGU21-6271)*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-6271>
5. Vyshniakov, V. Y., & Tkachuk, P. A. (2012). Osoblyvosti metodiv vyznachennia temperaturnykh anomalii za danymy DZZ MODIS (TERRA) ta AVHRR (NOAA): Otsinka yikh yakosti. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia*, 10, 81–90.
6. Vyshniakov, V. Y., Hryniuk, S. V., Hlushchenko, O. M., et al. (2007). Avtomatyzatsiia obroblennia informatsii dystantsiinoho zonduvannia Zemli dlia vyrishennia zavdan operatyvnoho monitorynhu terytorii Ukrainy. *Problemy stvorennia, vyprovuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system*, 11, 44–51.
7. Kostiuchenko, Y. V., et al. (2011). Metodyka kompleksnoi otsinky ryzykiv landshaftnykh pozhezh za danymy sputnykovykh sposterezhen. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia*, 6, 30–44.
8. Trofymchuk, O., Vishnyakov, V., Sheviakina, N., Klymenko, V., & Zagorodnia, S. (2023). Analysis of impacts of war on ecosystems of protected areas of Ukraine. In *Proceedings of the 23rd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2023*. <https://doi.org/10.5593/sgem2023v/3.2/s14.36>
9. Tretyak, K., Zayats, O., Kuplovskiy, B., Liashchuk, A., Korliatovych, T., Nesterenko, S., Bisovetskyi, Yu. (2026). Assessment of the causes of the Kakhovka HPP dam collapse based on a comprehensive analysis of structural monitoring, seismic, and infrasound studies. *Progress in Disaster Science*, 30, 100549. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2026.100549>
10. Dando, B. D., Goertz-Allmann, B. P., Brissaud, Q., Köhler, A., Schweitzer, J., Kværna, T., & Liashchuk, A. (2023). Identifying attacks in the Russia–Ukraine conflict using seismic array data. *Nature*, 621(7980), 767–772 <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06416-7>
11. Skydan, O. V. (Ed.). (2022). Kosmichne ta heoinformatsiine zabezpechennia pryiniattia rishen u kliuchovykh sferakh natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy. Zhytomyr: Polissia National University.
12. Planet Labs. (n.d.). Satellite imagery gallery. Retrieved December 24, 2023, from <https://www.planet.com/gallery/#!/post/destruction-of-the-kakhovka-dam>
13. Cansi, Y. (1995). An automated seismic event processing for detection and location: The P.M.C.C. method. *Geophysical Research Letters*, 22, 1021–1024.
14. Osadchii, V., Andrushchenko, Y., & Liashchuk, O. (2023). Identification of natural and technogenic seismic events by energy characteristics. *Geodynamics*, 2(35), 99–105.
15. Andrushchenko, Y. A., Liashchuk, O. I., Osadchii, V. I., & Korniienko, I. V. (2018). Zalezhnist mahnutudnykh otsinok vid potuzhnosti khimichnykh vybukhiv na promyslovykh karierakh u mezhakh Ukrainskoho shchyta. *Geophysical Journal*, 40(3), 157–164. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137196>
16. ReVelle, D. O. (1997). Historical detection of atmospheric impacts by large bolides using acoustic-gravity waves. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 822, 284–302.

*The article was received 03.02.2026, received after revision 27.03.2026, accepted 15.04.2026*

### **Вишняков В'ячеслав Юрійович**

кандидат технічних наук, доцент кафедри геопросторової підтримки та застосування космічних систем Національного університету оборони України

**Адреса робоча:** 03049 Україна, м. Київ, Проспект Повітряних сил, 28

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2057-0505> **e-mail:** wishnya\_dzz@ukr.net

### **Лящук Олександр Іванович**

кандидат фізико-математичних наук, старший дослідник, заступник начальника Головного центру спеціального контролю (начальник науково-дослідного, випробувального центру) Національного центру управління і випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України

**Адреса робоча:** 12265 Україна, сел. Городок, вул. Космічна, 1

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8690-1808> **e-mail:** alex\_liashchuk@ukr.net

**Мамарєв Віктор Миколайович**

кандидат технічних наук, заступник начальника інформаційно-аналітичного центру  
Національного центру управління та випробувань космічних засобів

**Адреса робоча:** 01010 Україна, м. Київ, вул. Князів Острозьких, 8

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2233-7432> **e-mail:** [mamarev@spacecenter.gov.ua](mailto:mamarev@spacecenter.gov.ua)

**Андрущенко Юрій Анатолійович**

кандидат геологічних наук, начальник центру збору і обробки інформації Головного  
центру спеціального контролю Національного центру управління і випробувань  
космічних засобів Державного космічного агентства України

**Адреса робоча:** 12265 Україна, сел. Городок, вул. Космічна, 1

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8993-0113> **e-mail:** [andruschenko\\_yuriy@ukr.net](mailto:andruschenko_yuriy@ukr.net)

**Кошлань Олександр Анатолійович**

доктор філософії, старший дослідник, доцент кафедри інфраструктурного та  
транспортного забезпечення Національного університету оборони України

**Адреса робоча:** 03049 Україна, м. Київ, Проспект Повітряних сил, 28

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9678-6463> **e-mail:** [koshlan\\_sasha@ukr.net](mailto:koshlan_sasha@ukr.net)