

---

# МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВОЄННИХ ДІЙ

---

УДК 528.8:528.9:504.064.3:355.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.2-65.43>

## ІНТЕГРАЦІЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА САД-МОДЕЛЮВАННЯ У ПРОЦЕСИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ І ВІДНОВЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ ПІСЛЯ ВОЄННИХ ДІЙ

Гребенюк Т.В., Броницький В.О., Ган О.В., Кот І.Т.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Берестейський пр., 37, 03056, м. Київ

t.hrebeniuk07@gmail.com, vadim.bronytskyu@gmail.com, gelena170283@gmail.com,

kotivantarasovich@gmail.com

У статті досліджено можливості інтеграції методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), геоінформаційних систем (ГІС) та інженерного моделювання для оцінювання геоекологічних наслідків воєнних дій і обґрунтування заходів відновлення територій. Об'єктом дослідження обрано територію села Кам'янка Харківської області, що зазнала інтенсивного артилерійського та механізованого впливу. На основі аналізу супутникових знімків «до» та «після» бойових дій із застосуванням методу change detection виявлено суттєві зміни землекористування, руйнування інфраструктури та деградацію природних компонентів середовища.

Для кількісного оцінювання змін використано спектральні індекси NDVI та NBR/dNBR, що дозволили ідентифікувати зони деградації рослинного покриву та ділянки термічного ураження.

Встановлено, що утворення вивв, порушення ґрунтового профілю та накопичення токсичних речовин формують довготривалі геоекологічні наслідки, зокрема забруднення ґрунтів і підземних вод. Розглянуто особливості дозвільної діяльності у сфері природокористування, зокрема необхідність проведення оцінки впливу на довкілля (ОВД) при реалізації заходів з відновлення територій та гуманітарного розмінування.

Практична значимість роботи полягає у можливості використання запропонованого підходу та інтегрального індексу для підтримки прийняття рішень при плануванні заходів рекультивації, екологічного моніторингу, підготовці матеріалів ОВД та створенні інженерно-графічної документації у САД- та ГІС-середовищах. Отримані результати можуть бути застосовані для обґрунтування ефективних технологій відновлення порушених екосистем у післявоєнний період. *Ключові слова:* дистанційне зондування Землі; геоінформаційні системи; гуманітарне розмінування; деградація ґрунтів; оцінка впливу на довкілля; післявоєнне відновлення територій, просторовий аналіз, САД моделювання, геоекологічна оцінка.

### **Integration of remote sensing data and cad modeling into environmental impact assessment and post-war recovery processes. Hrebeniuk T., Bronytskyi V., Han O., Kot I.**

The article investigates the possibilities of integrating remote sensing (RS), geographic information systems (GIS), and engineering modelling for assessing the geoeological consequences of military actions and substantiating territorial restoration measures. The study focuses on the territory of Kamyanka village in the Kharkiv region, which has experienced intensive artillery and mechanized impacts. Based on the analysis of satellite images acquired before and after military operations, and using the change detection method, significant changes in land use, infrastructure destruction, and degradation of environmental components were identified.

For quantitative assessment, spectral indices NDVI and NBR/dNBR were applied, enabling the identification of vegetation degradation zones and areas affected by thermal impact.

It has been established that the formation of craters, disturbance of the soil profile, and accumulation of toxic substances lead to long-term geoeological consequences, including soil and groundwater contamination. The study also considers specific aspects of environmental permitting in the field of natural resource management, particularly the necessity of conducting Environmental Impact Assessment (EIA) during the implementation of post-war restoration measures and humanitarian demining.

The practical significance of the research lies in the applicability of the proposed approach and integrated index for supporting decision-making in land reclamation planning, environmental monitoring, preparation of EIA documentation, and development of engineering drawings in CAD and GIS environments. The obtained results can be used to substantiate effective technologies for the restoration of disturbed ecosystems in the post-war period. *Key words:* remote sensing; geographic information systems; humanitarian demining; soil degradation; environmental impact assessment; post-war territorial restoration; spatial analysis; CAD modeling; geoeological assessment.



© Гребенюк Т.В., Броницький В.О., Ган О.В., Кот І.Т., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

**Постановка проблеми.** Сучасні воєнні конфлікти супроводжуються значними трансформаціями природного середовища, що проявляються у вигляді руйнування ґрунтового покриву, деградації рослинності, змін гідрологічного режиму та накопичення токсичних речовин. Особливої актуальності набуває проблема мінно-вибухового та техногенного забруднення територій, що створює довготривалі екологічні ризики та обмежує можливості їх подальшого використання.

Традиційні методи оцінювання стану довкілля в умовах воєнного впливу є недостатньо ефективними через обмежений доступ до небезпечних територій, фрагментарність даних та значні часові витрати на проведення польових досліджень. У зв'язку з цим виникає необхідність застосування сучасних інструментів, зокрема дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних систем (ГІС), які забезпечують оперативне отримання та аналіз просторових даних.

Разом з тим, незважаючи на значний потенціал ДЗЗ і ГІС, існує проблема недостатньої інтеграції отриманих результатів у практику прийняття управлінських рішень, зокрема у процедури оцінки впливу на довкілля (ОВД), планування гуманітарного розмінування та відновлення територій. Відсутність узгоджених підходів до використання супутникових даних у дозвільній діяльності знижує ефективність управління екологічною безпекою в умовах воєнного впливу.

**Актуальність** дослідження зумовлена масштабними геоекологічними наслідками воєнних дій, що проявляються у вигляді мінно-вибухового забруднення, руйнування ґрунтового покриву, деградації рослинності та порушення водного режиму територій. Такі зміни мають довготривалий характер і створюють суттєві обмеження для подальшого використання земельних ресурсів, а також підвищують екологічні ризики для населення та природних екосистем. Традиційні методи оцінювання стану довкілля в умовах післявоєнного впливу є обмеженими через обмежений доступ до небезпечних територій, фрагментарність польових даних та значні часові витрати на їх отримання. У зв'язку з цим зростає роль дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій, які забезпечують оперативне отримання, обробку та аналіз просторових даних.

Особливої актуальності набуває інтеграція результатів ДЗЗ та ГІС-аналізу у процедури дозвільної діяльності, зокрема оцінкою впливу на довкілля (ОВД), що є обов'язковим етапом реалізації заходів з відновлення територій та гуманітарного розмінування. Використання супутникових даних, геоінформаційного аналізу та інженерно-графічного моделювання дозволяє забезпечити науково обґрунтоване прийняття рішень, підвищити ефективність екологічного моніторингу та

обґрунтувати вибір технологій відновлення порушених територій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасних дослідженнях доведено, що дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційні системи (ГІС) є ключовими інструментами для оцінювання геоекологічних наслідків воєнних дій. Дані супутникових місій Sentinel та Landsat широко застосовуються для моніторингу стану рослинності, ґрунтів і змін землекористування, що дозволяє оперативно виявляти деградацію територій та наслідки бойових дій [1, 2].

У роботах, присвячених гуманітарному розмінуванню, підкреслюється важливість інтеграції ДЗЗ і ГІС для картографування небезпечних територій, оцінки ризиків і планування операцій очищення місцевості. Зокрема, використання геопросторових технологій дозволяє підвищити ефективність прийняття рішень та оптимізувати процес розмінування [3].

Окрему увагу приділено оцінці екологічних наслідків війни на основі супутникового моніторингу. У звітах міжнародних організацій, зокрема Zoі Environment Network, показано, що поєднання ДЗЗ, просторового аналізу та експертної інтерпретації є ефективним підходом для визначення масштабів руйнувань, деградації екосистем і забруднення територій [4].

Водночас аналіз літератури свідчить, що недостатньо дослідженими залишаються питання інтеграції результатів ДЗЗ і ГІС у процедури оцінки впливу на довкілля (ОВД), дозвільну діяльність та інженерно-графічне забезпечення відновлення територій, що зумовлює актуальність подальших досліджень у цьому напрямі.

**Методика дослідження** базується на комплексному застосуванні методів дистанційного зондування Землі, геоінформаційного аналізу та інженерного моделювання для оцінювання геоекологічного стану територій, що зазнали воєнного впливу [5, 6].

Об'єктом дослідження обрано територію села Кам'янка Харківської області, яка зазнала значного антропогенного навантаження внаслідок бойових дій. Для аналізу використано супутникові знімки високої роздільної здатності місії Sentinel-2 та Landsat, отримані для двох часових зрізів: "до" початку активної фази бойових дій (рис. 1), "після" воєнного впливу (рис. 2). Використані знімки попередньо пройшли атмосферну та геометричну корекцію і були приведені до єдиної системи координат.

Для виявлення змін використано метод change detection, який дозволяє визначити просторові відмінності між двома часовими станами території. Під час візуального порівняння знімків було виявлено ознаки впливу бойових дій. Тотальне руйнування забудови, на знімку «ПІСЛЯ» (рис. 2) чітко видно відсутність дахів та масштабні руйнування стін у переважній більшості приватних будинків (залишилися лише контури фундаментів та будівельне



Рис. 1. Супутниковий знімок території с. Кам'янка до початку інтенсивних бойових дій



Рис. 2. Супутниковий знімок території с. Кам'янка після бойових дій (фіксація руйнувань забудови та інфраструктури)

сміття). Також зруйновано будівлю Центру надання адміністративних послуг, яка була помітним об'єктом на знімку «ДО» (рис. 1).

Деградація сільськогосподарських угідь. Акуратні, оброблені ділянки відкритого ґрунту (темного кольору на знімку «ДО») повністю заросли неконтрольованою дикою рослинністю (суцільний світло-зелений покрив на знімку «ПІСЛЯ»). Це свідчить про тривале припинення землекористування [7].

Локальні порушення поверхні. На колишніх городах та подвір'ях проглядаються хаотичні світлі плями – вирви від влучань артилерійських снарядів та порушення ґрунтового покриву.

Стан інфраструктури. Дороги загалом проглядаються, але їх контури стали менш чіткими через відсутність експлуатації, можливе пошкодження

покриття та наявність уламків від прилеглих зруйнованих будівель.

Для кількісного оцінювання стану території застосовано спектральні індекси NDVI, NBR, dNBR. Отримані значення дозволяють оцінити ступінь деградації територій, зокрема наслідки пожеж та вибухових впливів [8].

Зміни землекористування (Land Use/Land Cover, LULC) визначалися на основі порівняння класифікованих зображень «до» та «після» воєнного впливу.

Показник зміни землекористування визначається як частка трансформованої площі:

$$\Delta LULC = \frac{A_{\text{changed}}}{A_{\text{total}}},$$

де  $A_{\text{changed}}$  – площа змінених територій;  $A_{\text{total}}$  – загальна площа дослідження.

Для комплексного оцінювання екологічного стану територій, що зазнали техногенного та воєнного впливу, запропоновано інтегральний показник – індекс екологічної стабільності території  $I_{eco}$ , який поєднує результати дистанційного зондування Землі та просторового аналізу. Індекс обчислюється за формулою:

$$I_{eco} = w_1 \cdot NDVI + w_2 \cdot (1 - dNBR) + w_3 \cdot (1 - \Delta LULC),$$

де  $NDVI$  – нормалізований індекс рослинності, що характеризує стан біомаси та рівень відновлення рослинного покриву;  $dNBR$  – диференційний індекс вигорання (Normalized Burn Ratio), який відображає ступінь деградації території внаслідок пожеж або вибухових впливів;  $\Delta LULC$  – показник змін землекористування (Land Use/Land Cover change), що характеризує ступінь трансформації території;  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  – вагові коефіцієнти (0.33), які визначають внесок кожного фактору в інтегральний показник.

Результат розрахунку показав різке падіння значень індексу на ділянках лісосмуг та полів, що свідчить про деградацію рослинності. Розрахунок різниці ( $dNBR$ ) чітко локалізував зони пожеж, спричинених обстрілами.

Виявлені зміни мають катастрофічний характер і прямі наслідки для довкілля. Масове утворення вирв призвело до порушення ґрунтового покриву. Відбувається переміщення горизонтів, хімічне забруднення важкими металами та залишками вибухівки. Пожежі та механічне знищення дерев призвели до зникнення вітрозахисних лісосмуг, що посилює вітрову ерозію. Територія стала абсолютно

непридатною для ведення сільського господарства. Для безпеки населення: щільність вирв та траншей прямо корелює з високим рівнем мінної небезпеки та наявністю нерозірваних боєприпасів (UXO) [9].

Важливим практичним результатом дослідження є можливість інтеграції отриманих даних у процедури дозвільної діяльності, зокрема в оцінку впливу на довкілля (ОВД), планування гуманітарного розмінування та заходи з відновлення територій, що зазнали воєнного впливу.

Результати дистанційного зондування Землі та геоінформаційного аналізу формують інформаційну основу (рис. 3) для деталізації початкового екологічного стану території, що є ключовим етапом проведення ОВД. Зокрема, їх використання дозволяє ідентифікувати зони деградації ґрунтів і рослинного покриву, оцінити масштаби порушення ландшафтної структури, визначити можливі напрями поширення забруднювачів та локалізувати потенційно небезпечні ділянки, пов'язані з мінно-вибуховим забрудненням і техногенними об'єктами.

Отримані геоінформаційні дані використовуються для обґрунтування управлінських рішень на різних етапах відновлення територій, зокрема при визначенні пріоритетних ділянок для гуманітарного розмінування, оцінці доступності територій, виборі оптимальних маршрутів виконання робіт та врахуванні екологічних обмежень. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності та безпеки виконання робіт, а також мінімізації вторинного впливу на довкілля.

Інтеграція результатів у CAD-середовище забезпечує створення інженерно-графічної документа-

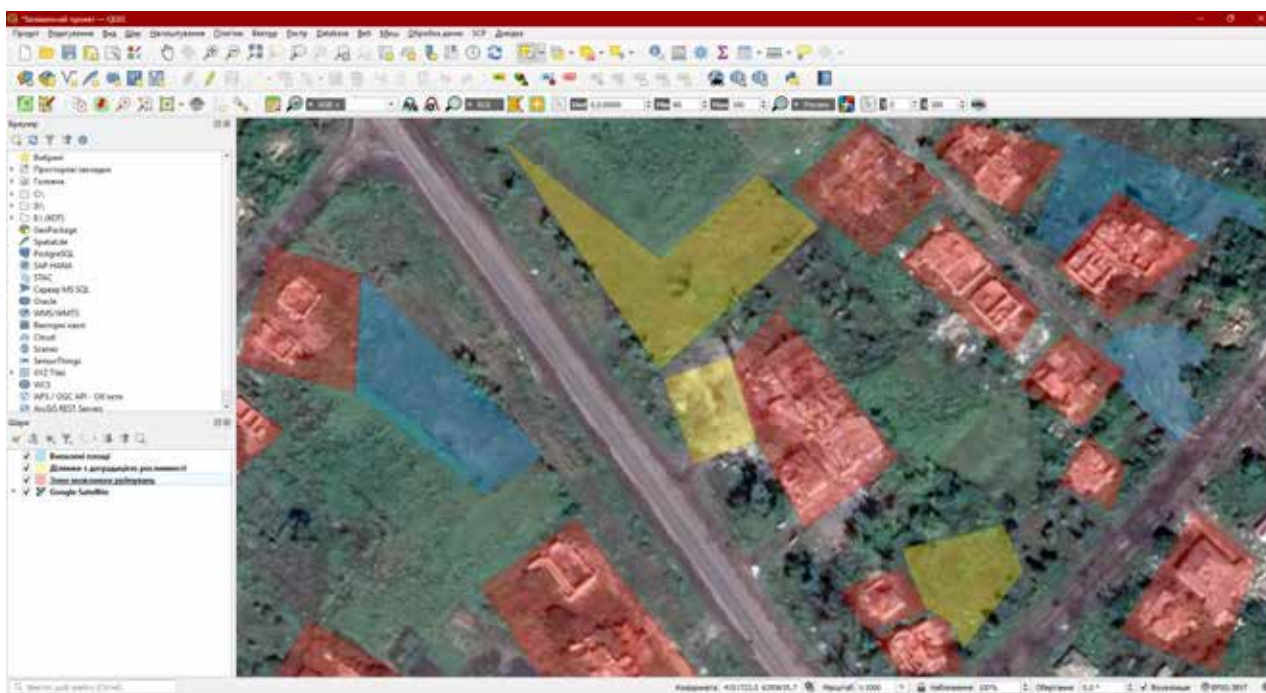


Рис. 3. Візуалізація результатів просторового аналізу зон впливу в середовищі QGIS

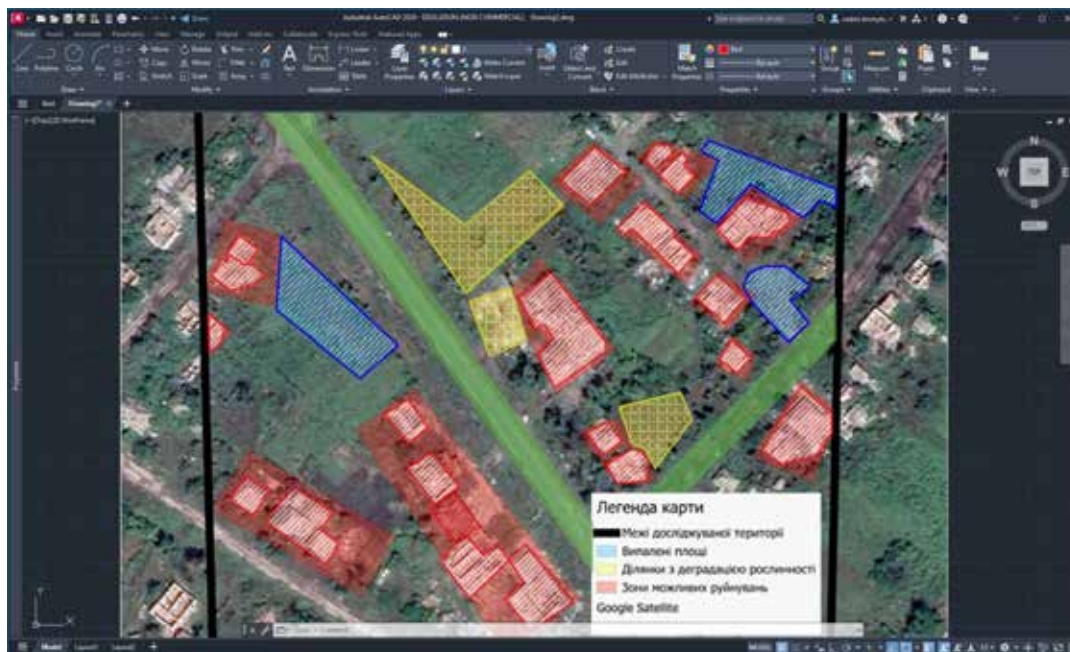


Рис. 4. Інтегрована інженерно-графічна картосхема оцінки впливу бойових дій та планування відновлення у середовищі AutoCAD

ції, зокрема схем зонування територій, планів розмінування та креслень рекультивацийних заходів (рис. 5). Це дозволяє використовувати результати дослідження як доказову базу при підготовці проектної документації, обґрунтуванні природоохоронних заходів і погодженні проектів відновлення територій.

На рисунку 4 представлено інтегровану інженерно-графічну картосхему, створену в середовищі CAD (AutoCAD) на основі геопросторових даних, отриманих за допомогою ДЗЗ та ГІС-аналізу. Ця схема є ключовим етапом у переході від ідентифікації впливу до планування відновлювальних робіт.

На фоновому шарі зображено супутниковий знімок території (імпортованого з QGIS), що надає актуальну візуальну інформацію про місцевість села Кам'янка. На цей базовий шар накладено векторні дані, імпортовані з ГІС, які відображають різні категорії впливу бойових дій: зони руйнувань будівель, що вказує на об'єкти, які потребують реконструкції або повного відновлення; випалені площі, що свідчить про наслідки пожеж та необхідність рекультивції цих ділянок; ділянки з деградацією рослинності, що вимагає заходів з відновлення екосистем та ґрунтового покриву; додатково позначені потенційно безпечні зони, так і, можливо, території з мінімальним впливом.

Саме в середовищі CAD, ці ГІС-дані перетворюються на основу для розробки детальних інженерно-графічних креслень. Використання CAD дозволяє не тільки інтегрувати просторову інформацію, а й забезпечити високу точність проектування, розробити конкретні конструктивні рішення та наочно візуалізувати інженерні дії, що є критично важливим

для ефективного, безпечного та економічно обґрунтованого відновлення порушених територій.

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження встановлено, що застосування методів дистанційного зондування Землі та геоінформаційного аналізу забезпечує оперативне та достовірне оцінювання масштабів руйнувань і геоecологічних наслідків воєнного впливу на території с. Кам'янка Харківської області. Отримані просторові дані та побудовані картосхеми зон впливу дозволяють ідентифікувати ділянки деградації ґрунтового покриву, порушення рослинності та потенційно небезпечні території, що мають пріоритетне значення для подальшого обстеження та відновлення.

Встановлено, що інтеграція результатів ДЗЗ, ГІС-аналізу та інженерно-графічного моделювання формує інформаційну основу для планування заходів з гуманітарного розмінування, екологічного моніторингу та рекультивції територій. Запропонований підхід дозволяє підвищити обґрунтованість прийняття рішень у сфері екологічної безпеки та оптимізувати визначення пріоритетних ділянок відновлення. Запропоновано інтегральний індекс екологічної стабільності території, який забезпечує кількісне оцінювання ступеня деградації та дозволяє порівнювати різні ділянки за рівнем екологічного порушення.

Отримані результати можуть бути використані як науково обґрунтована база при проведенні оцінки впливу на довкілля (ОВД), підготовці дозвільної документації, а також при розробленні інженерно-графічних матеріалів у CAD- та GIS-середовищах для забезпечення ефективного післявоєнного відновлення територій.

## Література

1. Copernicus Programme. Sentinel-2 mission overview URL: <https://dataspace.copernicus.eu/> (дата звернення: 30.03.2026).
2. NASA Earthdata. Landsat missions URL: <https://earthdata.nasa.gov/> (дата звернення: 30.03.2026).
3. Shekhar S. Geospatial technologies for mine action. Amsterdam : Elsevier, 2021. 350 p.
4. Zoï Environment Network. Environmental impacts of the conflict in Ukraine URL: <https://zoinet.org/> (дата звернення: 30.03.2026).
5. Гребенюк Т., Ремез Н., Федченко Є. Застосування моніторингу для обґрунтування біологічного методу відновлення ґрунтів внаслідок воєнних дій. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2025. № 4. С. 163–171. DOI: 10.20535/1813-5420.4.2025.341355.
6. Гребенюк Т. В., Федченко Є. П., Ремез Н. С., Броницький В. О. Моніторинг і екотоксикологічна оцінка ризиків деградації ґрунтів, уражених військовими діями. *Екологічні науки*. 2025. Вип. 6 (63). С. 106–111. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.17>.
7. Балюк С., Кучер А. Національне багатство України – чорноземи – під загрозою знищення. Як війна впливає на ґрунти й продовольчу безпеку. *Голос України*. 2022. № 245 (7995). С. 6–7. URL: <http://www.golos.com.ua/article/366511> (дата звернення: 30.03.2026).
8. Солоха М. О., Коньшин Р. В., Дегтярьов В. В. Ідентифікатори впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив за супутниковими даними. *Таврійський науковий вісник. Серія: сільськогосподарські науки*. 2024. № 137. С. 235–244. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.29>.
9. Ma Y., Lyu D., Sun K. et al. Spatiotemporal analysis and war impact assessment of agricultural land in Ukraine using RS and GIS technology. *Land*. 2022. Vol. 11, No. 10. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11101810>.

Дата першого надходження статті до видання: 30.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026