

## ПРОСТОРОВЕ ПЛАНУВАННЯ ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ УГІДЬ ЯК КОМПОНЕНТ СИСТЕМИ КРИЗОВОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

Л.А. Райчук, І.К. Швиденко, Т.Л. Кучма, Г.М. Чоботько

*Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)  
e-mail: edelvice@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2552-4578  
e-mail: favor09@ukr.net; ORCID: 0000-0002-6135-8968  
e-mail: tanyakuchma@gmail.com; ORCID: 0000-0002-9328-5919  
e-mail: chobotko@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8228-4331*

*Забруднення радіонуклідами агроландшафтів Українського Полісся після аварії на ЧАЕС залишається джерелом стійкої просторової нерівномірності ризиків для продовольчої безпеки, стану земельних ресурсів і здоров'я населення. Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах воєнних і поствоєнних трансформацій, коли зростає потреба у раціональному поверненні забруднених радіонуклідами угідь до використання, порушуються традиційні режими природокористування, а доступ до польових вимірювань істотно обмежено, зокрема з міркувань безпеки. Метою роботи є визначення потенціалу просторового планування забруднених радіонуклідами угідь як інструмента кризового екологічного менеджменту, що забезпечує інтеграцію картографічних даних, показників дозового навантаження на населення та ландшафтно-екологічних характеристик у процесі ухвалення управлінських рішень. Методологія дослідження ґрунтується на поєднанні відкритих геопросторових даних, цифрової моделі рельєфу SRTM, супутникових продуктів ESA WorldCover, карт забруднення території <sup>137</sup>Cs і оцінок дозового навантаження на населення з подальшим розрахунком інтегрального індексу радіоекологічної критичності (RECI). Апробацію підходу проведено у 2024–2025 рр. на локальному (околицях с. Розсохівське Житомирської обл.), обласному та регіональному рівнях. Отримані результати засвідчили домінування малокритичних і помірно критичних ландшафтів за одночасного збереження стійких зон високої та дуже високої критичності у заплавах річок, лісових масивах і ділянках акумуляції стоку, де поєднання морфологічних умов і підвищених коефіцієнтів переходу радіонуклідів створює локальне підсилення радіоекологічних ризиків. Порівняння з опублікованими радіоекологічними картами підтвердило просторову узгодженість критичних ділянок і водночас точніше ранжування територій завдяки ширшій факторній базі індексу RECI. Запропонований підхід гарантує превентивне зонування територій, підтримку управлінських рішень, пріоритизацію ремедіаційних заходів і формування сценаріїв повернення деградованих угідь у виробництво без необхідності додаткових натурних досліджень. Отримані картографічні матеріали можуть бути використані як науково-методична основа для регіонального просторового планування, оптимізації продовольчої політики та інтеграції радіоекологічного картування до системи кризового екологічного менеджменту і післявоєнного відновлення постраждалих територій.*

**Ключові слова:** *геопросторове моделювання, радіаційні ризики, кризове управління територіями, превентивне зонування, управлінські сценарії, реабілітація територій.*

### ВСТУП

Забруднення радіонуклідами агроландшафтів, сформоване внаслідок Чорнобильської катастрофи, і надалі залишається одним із найбільш тривалих та просторово неоднорідних чинників екологічного ризику Українського Полісся, що визначає

обмеження землекористування, впливає на продовольчу безпеку та формує потенційні загрози для здоров'я населення. Попри істотне зниження середніх рівнів радіаційного навантаження з плином часу, збереження локальних осередків підвищеної акумуляції радіонуклідів у поєднанні з ландшафтними особливостями регіону зумовлює стійку мозаїчність ризиків і по-

требує переходу від суто констатувального моніторингу до просторово орієнтованих управлінських рішень.

Сучасні наукові дослідження у цій сфері зосереджені переважно на радіологічному моніторингу, дистанційному зондуванні Землі, побудові геоінформаційних моделей та прогнозуванні міграції радіонуклідів у системі «грунт–рослина». Водночас переважна частина існуючих підходів орієнтована на фіксацію рівнів забруднення або дозових показників і лише обмежено інтегрує природні, антропогенні та соціально-економічні параметри у контекст стратегій управління та реагування. Це істотно звужує можливості застосування результатів досліджень для практичного планування землекористування та реабілітації територій.

В умовах воєнних і поствоєнних трансформацій, коли Україна зазнає втрат значних площ родючих земель, порушення структури агровиробництва та зростання антропогенного тиску на території Полісся, просторове планування набуває статусу ключового інструмента кризового екологічного менеджменту. За цих обставин особливого значення набуває необхідність оперативної оцінки просторової радіоекологічної вразливості земель за обмеженого доступу до натурних досліджень і підвищених вимог до обґрунтованості управлінських рішень.

Невирішеним залишається питання системної інтеграції картографічних матеріалів, показників дозового навантаження на населення, типів землекористування та чинників ландшафтної вразливості в єдину аналітичну основу для прийняття рішень щодо реабілітації та подальшого використання забруднених радіонуклідами територій. У цьому контексті формування інструментів просторового планування, здатних поєднувати багатофакторні дані та забезпечувати пріоритизацію управлінських дій, є актуальним науковим і прикладним завданням.

**Мета роботи** – з'ясувати потенціал просторового планування радіаційно забруднених угідь як інструмента кризового

екологічного менеджменту, охарактеризувати можливості ГІС-моделювання для пріоритизації рішень та виявити критерії, що визначають радіоекологічно критичні зони застосування земель у регіоні Українського Полісся.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблематика радіоекологічної оцінки та просторового планування постчорнобильських територій останнім часом набула нового змісту через поєднання наслідків радіоактивного забруднення Чорнобильського походження та сучасних кризових впливів. У міжнародній літературі простежується тенденція переходу від локальних оцінок до інтегрованих моделей, що враховують просторові закономірності міграції забруднювачів, ландшафтні чинники, ризики для населення та довкілля, зокрема агросфери. Дослідження щодо формування доз внутрішнього опромінення на основі комплексного моделювання підтвердили необхідність використання інструментів прогнозування для підтримки управлінських рішень у пострадіаційних регіонах [1]. Також у вітчизняних роботах доведено, що ухвалення рішень щодо землекористування потребує оцінки поведінки  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у довгостроковій перспективі [2].

Наукові публікації останніх років виокремлюють просторову неоднорідність ризиків. Дослідження міграції радіонуклідів у системі «грунт–рослина» показали значний вплив типу угідь, окремо наголошено на особливостях накопичення забруднювачів у лісових екосистемах, що зумовлює критичність лісових масивів Полісся [3]. Аналіз сучасної динаміки  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у сільськогосподарських ґрунтах Житомирського Полісся засвідчив наявність певних їх залишкових концентрацій та ризик їх повторної міграції у продукцію [4]. І. Лабунська з колегами довели підвищений перехід радіонуклідів у зерно й деревину, що безпосередньо пов'язано зі структурами ґрунтів і режимом землекористування [5].

GIS-технології та дистанційне зонування активно перетворюються на базові

методи оцінки ризиків. Прогнозні моделі, побудовані на основі геопросторових даних, засвідчили ефективність картування для завдань реабілітації та моніторингу [6]. Геопросторовий аналіз впливу кліматичних чинників на агресурси Полісся підтвердив ключову роль цифрових моделей рельєфу й супутникових продуктів ESA для управління деградованими землями [7]. Окремий напрям формують дослідження пожеж у зоні відчуження та їх впливу на перерозподіл радіонуклідів у елементах довкілля – за результатами інтегральної оцінки 2023 р. ці події становлять новий тип екологічних викликів для зони навколо Чорнобильської АЕС (ЧАЕС) [8].

Вітчизняні роботи зосереджені на реабілітації агроландшафтів і підтримці продовольчої безпеки. Праці О.І. Дребот зі співавт. [9] окреслили концептуальні засади повернення забруднених радіонуклідами угідь у виробництво на засадах зеленої економіки, а А. Кирильчук і Р. Паламарчук довели необхідність адаптивного обробітку ґрунтів залежно від динаміки вмісту  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  [10]. Дослідження безпечності харчових продуктів продемонстрували, що навіть через тридцять років після аварії на ЧАЕС рівні забруднення території і продукції  $^{137}\text{Cs}$  залишаються чинником продовольчих ризиків [11].

З 2022 р. у публікаціях фіксується вплив воєнних дій на території, що постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС, включно зі знищенням чи істотним пошкодженням інфраструктури та зміною екологічної рівноваги, що потребує кризових управлінських підходів у сфері довкілля [12]. Міжнародні огляди наголошують, що повномасштабна війна погіршує стан довкілля та ускладнює досягнення цілей сталого розвитку [13].

Незважаючи на значний прогрес, донині не вирішено питання інтеграції радіоекологічного картування до системи екологічного управління територіями, де поєднуються радіаційні, соціально-економічні та воєнні стресори. Не розроблені інструменти оперативного просторового планування угідь, не існує єдиної системи індикаторів ризику та сценаріїв повернення деградованих зе-

мель у виробництво. Саме тому подальші дослідження потребують узгодження GIS-моделювання, індексів радіаційної критичності, управлінських рішень і кризового екологічного менеджменту.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження виконано протягом 2024–2025 рр. на базі Інституту агроєкології і природокористування НААН. Апробацію методу просторового планування проведено на території поблизу с. Розсохівське Житомирської обл. (II зона радіоактивного забруднення) з подальшим масштабуванням на обласний та регіональний рівні.

У межах дослідження застосовано набір методів, що відповідають практиці кризового екологічного менеджменту для радіаційно забруднених територій. Просторово-обґрунтоване управління ризиками реалізовано через інтеграцію відкритих джерел геоданих та розрахунок індексу радіоекологічної критичності (RECI) [14] на основі картографічних матеріалів про рівні забруднення  $^{137}\text{Cs}$  території [15; 16], дозових навантажень на населення [17], цифрової моделі рельєфу SRTM [18] та інтерпретації супутникових продуктів ESA WorldCover [19]. Інтегроване картування радіоекологічної критичності територій здійснено у середовищі QGIS із використанням векторних та растрових шарів для ґрунтового покриття, наземного покриття, морфометричних та гідрографічних параметрів, адаптованих до умов Українського Полісся. Превентивне територіальне зонування забезпечено шляхом класифікації параметрів RECI за шкалою критичності з урахуванням рельєфу, стоку, типу землекористування та індексу експлуатації. Сценарне планування землекористування реалізовано через побудову карт придатності, що відображають потенційні «гарячі точки» та зони допустимого використання без додаткових польових вимірювань. Підтримка управлінських рішень передбачає валідацію просторових результатів зіставленням з опублікованими радіоекологічними картами окремих районів Полісся

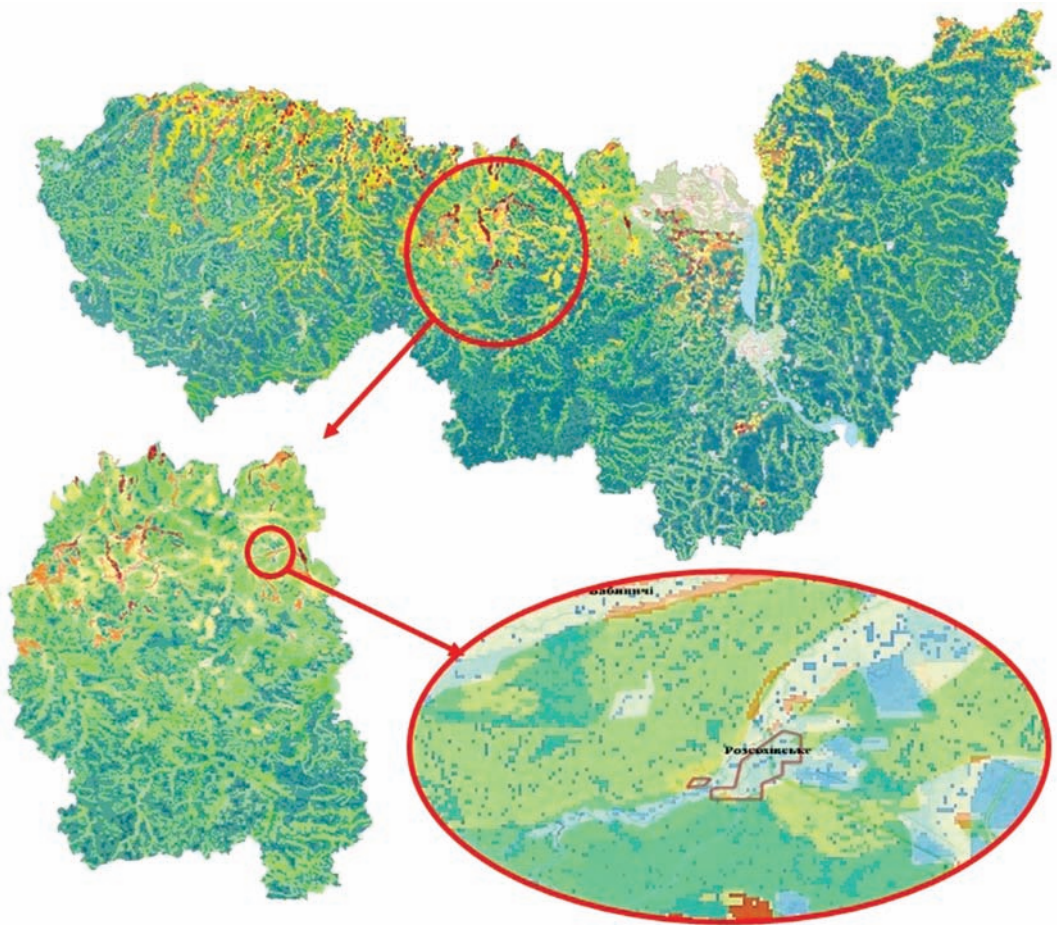
[20–23]. Пріоритизація ремедіаційних заходів ґрунтується на ранжуванні території за RECI, що дає можливість використовувати результати як основу для подальших управлінських сценаріїв без проведення додаткових натурних досліджень.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Застосування інтегрального показника радіоекологічної критичності територій (RECI) продемонструвало можливість просторово диференційованої оцінки стану

забруднених земель Українського Полісся на трьох масштабних рівнях — регіональному, обласному та локальному (рис.).

Результати картування засвідчили домінування помірно критичних, малокритичних і некритичних площ, що відображає загальне зменшення радіаційного навантаження на агроландшафти Полісся після аварії на ЧАЕС. Водночас просторовий аналіз підтвердив наявність стабільних «осередків критичності» у заплавах річок, перезволожених лісових масивах та ділянках із підвищеною акумуляцією стоку, де



Інтегроване картування радіоекологічної критичності територій на регіональному (а), обласному (б) та локальному (в) рівнях

Примітки: ■ — надзвичайно критичний; ■ — дуже критичний; ■ — критичний; ■ — помірно критичний; ■ — малокритичний; ■ — некритичний

### Пріоритизація дій відповідно до рівнів радіоекологічної критичності за RECI

Рівень RECI	Критичність	Пропоновані управлінські сценарії і/чи заходи
<37,0	Некритичний	Стандартне землекористування; періодичний перегляд рівня радіоекологічної критичності
37,1–74,0	Малокритичний	Контроль наземного покриву; недопущення лісових вирубок на перезволожених ділянках
74,1–111,0	Помірно критичний	Планування землекористування з обмеженням с/г діяльності; аналіз локальних біогеоценозів
111,1–148,0	Критичний	Попереджувальне зонування; виключення культур із високими рівнями накопичення радіонуклідів; контроль за використанням продукції лісового походження
148,1–185,0	Дуже критичний	Істотне обмеження/заборона агровиробництва; моніторинг продуктів лісового походження; просторове обмеження рекреації
>185,0	Надзвичайно критичний	Тимчасове вилучення земель із використання; заборона переробки біоресурсів; альтернативні сценарії використання території

поєднання морфологічних умов та високих коефіцієнтів переходу радіонуклідів у рослини формує ефект локального посилення забруднення.

На регіональній та обласній картах найбільш критичні значення RECI були зафіксовані на півночі Київської та Житомирської обл. і в окремих районах Волині, що узгоджується з історичною конфігурацією перенесення радіонуклідів та їх депонування у гідрографічних депресіях [24].

Причинно-наслідковий зв'язок полягає у поєднанні трьох переважаючих груп чинників: підвищеного вихідного забруднення  $^{137}\text{Cs}$ , високої здатності лісових біогеоценозів акумулювати радіонукліди та обмеженого водного дренажу, що посилює вторинну міграцію.

На локальному рівні (околиці с. Розсохівське) метод допоміг відтворити конфігурацію мікроландшафтів: критичні ділянки тяжіють до зон високої акумуляції стоку, мозаїки лісових угруповань із відповідними коефіцієнтами (1,7–2,0) [14] та підвищеними рівнями експлуатації ландшафтів за ймовірності перевищення дозового навантаження населення 1 мЗв/рік чи наближення до цього значення [17]. Виявлена закономірність свідчить, що навіть за не-

високих поточних доз формуються локальні акумулятивні ділянки радіонуклідного навантаження, де перенасичення біомаси сприяє пролонгованому поверненню радіонуклідів у контурі «грунт–рослина».

Порівняння отриманих карт із наявними зразками радіоекологічного картування, виконаними ННЦРМ [22], ІПБАЕ НАНУ [20; 21] та УкрНДІСТР НУБіП України [23], довело просторову відповідність критичних зон та одночасно продемонструвало точнішу диференціацію ділянок завдяки ширшій факторній базі RECI. Існуючі методики тяжіють або до відображення лише рівня забруднення  $^{137}\text{Cs}$ , або до морфології ландшафтів, тоді як запропонований індекс агрегує дев'ять параметрів, включаючи гідрографічну віддаленість, рельєф, акумуляцію стоку, тип ґрунту та наземного покриву, рівні експлуатації та дозове навантаження на населення як комплексний показник. Саме тому RECI підвищує діагностичну спроможність під час аналізу мікроландшафтів та забезпечує масштабування результатів без істотної втрати просторової точності.

Результати підтримують застосовність моделі для кризового екологічного менеджменту: можливість просторового управлін-

ня ризиками, превентивне зонування та сценарне планування землекористування здійснюються без додаткових польових вимірювань. З огляду на встановлені пороги критичності (від <37 для некритичного до >185 для надзвичайно критичного рівня) (табл.), карти можуть бути використані для обґрунтування управлінських сценаріїв, оцінки чутливості територій і розробки регіональних планів реагування.

## ВИСНОВКИ

Розроблений підхід підтвердив, що інтегральний показник радіоекологічної критичності територій (RECI), побудований на поєднанні дев'яти груп просторових і радіаційно-екологічних параметрів, є придатним інструментом для оперативної оцінки стану забруднених земель Українського Полісся з використанням виключно відкритих геоданих і без необхідності додаткових польових вимірювань. Просторове моделювання на локальному, обласному та регіональному рівнях виявило стабільні закономірності: домінування малокритичних і помірно критичних ландшафтів за збереження обмежених, але стійких зон високої та дуже високої критичності, пов'язаних із поєднанням підвищених рівнів  $^{137}\text{Cs}$ , низької дрейованості та акумулятивного характеру лісових біогеоценозів. Такий розподіл пояснює наявність природно зумовлених акумулятивних ділянок радіонуклідного навантаження, що й надалі визначатимуть локальні ризики для агроєкосистем і ресурсокористування.

Зіставлення результатів з опублікованими картографічними моделями радіо-

екологічного стану засвідчило їх просторову узгодженість, тоді як RECI забезпечив вищу факторну чутливість завдяки одночасному врахуванню рельєфу, стоку, структури ґрунтів, типів наземного покриву, інтенсивності експлуатації та дозового навантаження. Це розширює можливості діагностики для мікроландшафтів і забезпечує масштабованість оцінок без істотної втрати точності — ознаку, принципову для кризового екологічного менеджменту.

Практичне значення розробленого підходу полягає у можливості переходу від констатації рівня забруднення до просторового управління ризиками: превентивного зонування, сценарного планування землекористування та підтримки ухвалення управлінських рішень на засадах просторової радіоекологічної критичності. Карти, отримані за допомогою RECI, можуть застосовуватися для орієнтації регіональних програм природокористування, адаптації агровиробництва та оцінки радіоекологічної вразливості населення, не потребуючи натурних уточнень у більшості випадків.

Перспективи подальших досліджень — розширення бази підходу для інших радіонуклідів, інтеграція сезонної динаміки наземного покриву та уточнення алгоритмів нормалізації показників у зонах різкої зміни ландшафтних параметрів. Окремим напрямом може стати застосування RECI у системах оперативного планування післявоєнного відновлення територій та для моніторингу соціально-економічної вразливості громад у контексті довготривалих радіаційних наслідків.

## ЛІТЕРАТУРА

- Chobotko, H., Raichuk, L., Cherniavskiy, A., Liubashenko, N., & McDonald, I. (2019). Complex analysis and mathematical modeling of the internal exposure dose of the Ukrainian Polissya rural population. *Nuclear Physics and Atomic Energy*, 20(3), 397–404. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae2019.04.397>.
- Raichuk, L., & McDonald, I. (2025). Optimization of land use systems for radioactively contaminated territories of Ukrainian Polissya: Theoretical and practical approaches. *Balanced Nature Using*, (3), 78–85. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2025.342525>.
- Romantschuk, L., Ustyenko, V., & Didenko, P. (2021). Accumulation and distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  radionuclides in the forests of the «Drevlyansky» Nature Reserve. *International Journal of Ecotoxicology and Ecobiology*, 6(2), 29–33. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ijee.20210602.11>.
- Kyrylchuk, A., & Palamarchuk, R. (2022). Dynamics of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  content in the soil cover of agricultural lands in Zhytomyr region. *Agroecological Journal*, (4), 84–92. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273254>.
- Labunska, I., Levchuk, S., Kashparov, V., Holia-

- ka, D., Yoschenko, L., Santillo, D., & Johnston, P. (2021). Current radiological situation in areas of Ukraine contaminated by the Chernobyl accident: Part 2. Strontium-90 transfer to culinary grains and forest woods from soils of Ivankiv district. *Environment International*, 146, 106282. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106282.
6. Matvieieva, I., Groza, V., Pavliukh, L., Rudyak, Y., & Daradkeh, Y. I. (2019). Information model of ecological systems on the basis of reliability and radio-capacity with application of GIS technologies. In M. Savinov, Y. Ometov, & V. Stankovski (Eds.), *Proceedings of the International Workshop on Cyber Hygiene* (pp. 593–603). CEUR Workshop Proceedings. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2654/paper46.pdf>.
7. Tarariko, O. H., Cruze, R. M., Ilienko, T. V., Kuchma, T. L., Kozlova, A. O., Andereiev, A. A., ... Velychko, V. A. (2024). Impact of climate changes on agrosources of Ukrainian Polissia based on geospatial data. *Agricultural Science and Practice*, 11(2), 3–29. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp11.02.003>.
8. Lev, T. D., Talerko, M. M., & Prister, B. S. (2023). Comprehensive assessment of the Chernobyl Exclusion Zone wildfires impact on the 100-km area around the Chernobyl NPP. *Nuclear Energy and the Environment*, (2), 77–86. DOI: <https://doi.org/10.31717/2311-8253.23.2.8>.
9. Дребот, О. І., Дем'янюк, О. С., & Райчук, Л. А. (2022). Науково-методичні засади реабілітації радіоактивно забруднених агроландшафтів у контексті зеленої економіки. *Вісник аграрної науки*, 100(2(827)), 74–81. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovvisnyk202202-10>.
10. Kyrylchuk, A., & Palamarchuk, R. (2022). Dynamics of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  content in the soil cover of agricultural lands in Zhytomyr region. *Agroecological Journal*, 4, 84–92. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273254>.
11. Котелевич, В. А., & Пінський, О. В. (2022). Сучасний стан безпечності харчових продуктів щодо вмісту  $^{137}\text{Cs}$  порівняно з 2010 роком у контексті продовольчої безпеки. *Scientific Progress & Innovations*, (4), 246–258. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.04.29>.
12. Tsaryk, L., & Kuzyk, I. (2022). Russian Ukrainian war: Environmental aspect. *Scientific Notes of Ternopil National Volodymyr Hnatyuk Pedagogical University. Series: Geography*, 53(2), 100–106. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.22.2.13>.
13. Appiah-Otoo, I., & Chen, X. (2023). Russian-Ukrainian war degrades the total environment. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 16, 32. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12076-023-00354-8>.
14. Raichuk, L., Kuchma, T., Shvydenko, I. et al. (2025). *Components of the comprehensive radioecological criticality index (RECI) for territories*. Zenodo. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15147892>.
15. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. (2022). *Публічна кадастрова карта України*. URL: <https://map.land.gov.ua/>.
16. National Atlas of Ukraine. (2023). *Territory pollution with Caesium-137 (Aftermath of the Chernobyl accident, 1986)*. URL: <http://wdc.org.ua/atlas/en/7030100.html>.
17. Ліхтарьов, І. А., Ковган, Л. М., Василенко, В. В. та ін. (2012). *Загальнодозиметрична паспортизація та результати ЛВЛ моніторингу в населених пунктах України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської катастрофи: Дані за 2011 р. (Збірка 14)*. Міністерство охорони здоров'я України. URL: <https://komekolog.rada.gov.ua/uploads/documents/36568.pdf>.
18. National Aeronautics and Space Administration. (2023). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*. URL: <https://eosps.nasa.gov/missions/shuttle-radar-topography-mission>.
19. Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D. et al. (2022). *ESA World Cover 10 m 2021 v200*. Zenodo. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>.
20. Лев, Т. Д., Прістер, Б. С., Виноградська, В. Д., Тищенко, О. Г., & Піскун, В. Н. (2018). Басейново-ландшафтний принцип в оцінюванні ступеня радіоекологічної критичності території України. *Український географічний журнал*, (4), 49–58.
21. Prister, B. S., Vinogradskaya, V. D., Lev, T. D., Talerko, M. M., Garger, E. K., Onishi, Y., & Tischenko, O. G. (2018). Preventive radioecological assessment of territory for optimization of monitoring and countermeasures after radiation accidents. *Journal of Environmental Radioactivity*, 184–185, 140–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.021>.
22. Dolin, V., Khrushchov, D., Magliovana, T., Vasylenko, V., Matrosov, D., & Baranovska, D. (2021). Geoinformation modeling of irradiation dose formation for rural population of Narodychy district of Zhytomyr region. In *Proceedings of Geoinformatics 2021*. European Association of Geoscientists & Engineers. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521022>.
23. Smith, J. T., Levchuk, S. E., Bugai, D. A., Beresford, N. A., Wood, M. D., Khomutinin, Y., Laptev, G. V., & Kashparov, V. A. (2025). A protocol for the radiological assessment for agricultural use of land in Ukraine abandoned after the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 286, Article 107698. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2025.107698>.
24. IG NASU, IS Geo Ltd., & WDC Ukraine. (n.d.). *Territory pollution with Caesium-137 (Aftermath of the Chernobyl accident, 1986)*. In *National Atlas of Ukraine*. URL: <http://wdc.org.ua/atlas/en/7030100.html>.

Дата першого надходження рукопису до редакції: 23.12.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.01.2026

Дата публікації: 10.04.2026