

УДК 504.054:528.93(477.4)

© 2025

**РАДІОЕКОЛОГІЧНО-ЛАНДШАФТНЕ
КОМПЛЕКСНЕ РАЙОНУВАННЯ
УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ
ЯК ОСНОВА ПОВОЄННОГО
ВІДРОДЖЕННЯ РЕГІОНУ***І.К. Швиденко¹, Т.Л. Кучма²,
Л.А. Райчук³, Г.М. Чоботько⁴**^{1–3}кандидати сільськогосподарських наук**⁴доктор біологічних наук**Інститут агроєкології і природокористування**Національної академії аграрних наук України**вул. Метрологічна, 12, м. Київ, 03143, Україна**e-mail: ¹favor09@ukr.net, ²tanyakuchma@gmail.com,**³edelveice@ukr.net, ⁴chobotko@ukr.net**ORCID: ¹0000-0002-6135-8968, ²0000-0002-9328-5919,**³0000-0002-2552-4578, ⁴0000-0001-8228-4331**Надійшла 29.07.2025*

Мета. Створити ГІС-методологію районування Українського Полісся, розробивши індекс радіоекологічної критичності (I_{PK}) для оцінювання забруднених радіонуклідами територій з урахуванням природних, антропогенних та соціальних чинників, а також для планування природокористування в постчорнобильській період. **Методи.** I_{PK} інтегрує низку параметрів: гідрографічні умови, рельєф, акумуляцію стоку, ґрунтовий і наземний покрив, забруднення ландшафту ^{137}Cs та дозове навантаження. Використано дані OpenStreetMap, SRTM, CGLS, ESA WorldCover, тематичних карт Національного атласу України та QGIS для моделювання. Категоріальні дані оброблено як векторні шари, безперервні — як растрові з рекласифікацією. Апробацію проведено біля с. Розсохівського (Житомирська обл.) з валідацією (похибка < 25%). **Результати.** I_{PK} забезпечує оцінювання радіоекологічних ризиків, виявляючи їх просторову варіабельність. Найвищі значення (148,1 – 185,0) зафіксовано в заболочених низинах і лісах, помірно та слабкритичні зони (37,1 – 111,0) — на схилах із дерново-підзолистими ґрунтами, некритичні (< 37,0) — на ріллі. Методика підтверджує кореляцію з ландшафтно-геохімічними особливостями, що забезпечує її ефективність для ідентифікації пріоритетних зон реабілітації. **Висновки.** I_{PK} формує основу комплексної ГІС-методології для радіоекологічного районування Українського Полісся, інтегруючи природні, антропогенні та радіоекологічні параметри. Використання відкритих геопросторових ресурсів дає змогу масштабувати методологію на інші техногенно забруднені території, водночас адаптуючи її. Практична цінність полягає

у створенні науково-методичної бази для відновлення деградованих ґрунтів, що відповідає «Цілям сталого розвитку», ухваленим ООН. Перспективи містять деталізацію аналізу, розширення спектру антропогенних чинників і впровадження в системи екологічного моніторингу.

Ключові слова: ГІС-методологія, комплексний показник, радіоактивне забруднення, радіоекологічна критичність, реабілітація земель, сталий розвиток.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202511-07>

Глобальна продовольча безпека зазнає істотних загроз унаслідок збройної агресії російської федерації проти України, що призвело до виведення з обігу значних площ родючих земель. Окупація, мінування територій та руйнування аграрної інфраструктури, включно з катастрофічними наслідками підриву дамби Каховської ГЕС, створили критичну ситуацію для країн — імпортерів української сільськогосподарської продукції [1, 2]. Платформа EcoZagroza фіксує забруднення понад 1,2 млн м² ґрунтів зі збитками, що перевищують 20,9 млрд грн станом на липень 2025 р. [3].

Ця ситуація актуалізує питання залучення альтернативних територій для сільськогосподарського виробництва, зокрема земель Українського Полісся. Проте використання цих територій ускладнюється через радіоактивне забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, кліматичні зміни та специфічні ґрунтово-екологічні умови [4]. Відновлення сільськогосподарського потенціалу регіону має узгоджуватися з «Цілями сталого розвитку» (ЦСР), особливо з ЦСР 2, 6, 8, 13 та 15, реалізація яких ускладнена воєнними діями [5, 6].

Радіоекологічна проблематика Полісся характеризується комплексністю екологічних, соціально-економічних наслідків та необхідністю перегляду підходів до оцінювання ризиків у віддалений період після аварії [7–9]. Наявна українська трирівнева класифікація зон не відповідає сучасним потребам планування землекористування та реабілітації

територій [10]. Традиційні методи радіоекологічного картування, що переважають в Україні, залишаються ресурсозатратними та просторово обмеженими.

Перспективним напрямом є застосування інтегрованих ГІС-технологій для радіоекологічного зонування та оцінювання забруднення територій [11, 12]. Численні дослідження демонструють ефективність ГІС-підходів: моделювання рівнів забруднення ¹³⁷Cs після пожеж [13], превентивне зонування з метою моніторингу [14], оцінювання стану природоохоронних територій [15], моделювання міграції радіонуклідів [16], аналіз вторинного забруднення за супутниковими даними [17], системи підтримки управлінських рішень [12] і визначення критичних ландшафтів за допомогою багатoshарових матриць [18]. Однак практичне впровадження ГІС-методик в умовах України стикається з обмеженнями через застарілість і фрагментованість даних, лімітований доступ до територій обстеження, недооцінку антропогенного чинника у формуванні дозових навантажень, інтенсивні кліматичні зміни. Воєнні дії додатково ускладнюють отримання актуальної інформації про стан територій, що потребує розробки нових методологічних підходів до комплексного оцінювання радіоекологічної критичності земель Українського Полісся.

Мета досліджень — створити комплексну ГІС-методологію районування Полісся України, розробивши комплексний індекс радіоекологічної

критичності території (I_{PK}). Методологія передбачає інтеграцію природних, антропогенних і соціальних параметрів для створення просторової моделі радіоекологічних ризиків. Дослідження реалізовано поетапно: спочатку формується I_{PK} з урахуванням актуальних чинників радіоекологічної критичності, далі відбуваються практична апробація через ГІС- картування та регіональне зонування на основі максимально доступних сучасних інформаційних ресурсів. Запропонований підхід має потенціал адаптації для радіоекологічного моніторингу інших постконфліктних територій.

Матеріали та методи досліджень. Розроблення I_{PK} базувалося на інтеграції найвпливовіших (за ^{137}Cs) чинників формування радіоекологічних ризиків Українського Полісся для підтримки планування землекористування та заходів щодо сільськогосподарської безпеки. Методологічну основу становили результати попередніх радіоекологічних досліджень регіону, включно з математичним моделюванням міграції радіонукліду в агроландшафтах [7, 17–27]. I_{PK} містить 8 ключових компонентів (табл. 1): гідрографічні умови, морфологію рельєфу, інтенсивність акумуляції стоку, переважаючий ґрунтовий покрив, наземний покрив територій, рівень забруднення ландшафту, забруднення ^{137}Cs і дозове навантаження

на населення. Кожний параметр представлено відповідним коефіцієнтом із градацією, що відображає варіативність наземних умов та можливості обраних джерел даних [28] (див. табл. 1).

Коефіцієнти для гідрографічних умов варіюють від 1,3 (відстань до водойм — < 500 м) до 0,7 (> 1000 м), що базується на даних про міграцію ^{137}Cs у заплавної системах [36, 37]. Параметри рельєфу та стокової акумуляції розраховані на основі емпіричних досліджень перерозподілу ^{137}Cs залежно від крутизни схилів [38, 39] і спостережень за змиванням радіонуклідів після інтенсивних опадів [37]. Коефіцієнти ґрунтового покриву обчислено завдяки усередненню даних з опублікованих досліджень [40–43], включно з розрахунками коефіцієнтів переходу для сільськогосподарських культур на основі безпосередніх вимірів, довгострокового моніторингу та моделювання системи «ґрунт — рослина» [23].

Класифікацію наземного покриву здійснено за принципом акумулятивної здатності радіонуклідів: лісові екосистеми отримали максимальні коефіцієнти (1,6–2,0) через високий потенціал затримання та депонування радіоактивних речовин [23, 26, 44, 45], тоді як орні землі мають коефіцієнти 1,0–1,6 завдяки меншій біомасі та іншим лімітувальним чинникам [23, 45–48]. Супутникові дані

1. Інформаційне забезпечення для ГІС-моделювання I_{PK}

Назва шару, позначення	Джерело даних
Гідрографічні умови (I_h)	OpenStreetMap [29]
Морфологія рельєфу території (I_p)	SRTM [30]
Інтенсивність акумуляції стоку (I_c)	SRTM [30]
Переважаючий ґрунтовий покрив (I_{gr})	Публічна кадастрова карта України [31]
Наземний покрив території (I_{te})	CGLS [32] / ESA WorldCover [33]
Рівень забруднення ландшафту/екосистеми (з урахуванням експлуатації) ($I_{екс}$)	Публічна кадастрова карта України / локальні дані [31]
Забруднення території ^{137}Cs ($I_{рн}$)	Тематичні карти Національного атласу України [34]
Дозове навантаження на населення (I_d)	Загальнодозиметрична паспортизація / власні дослідження [35]

Sopernicus [32] забезпечили інформацію про розподіл рослинності з верифікацією на контрольних ділянках. Класифікація охоплює: чагарники, травяну рослинність, сільськогосподарські угіддя, урбанізовані території, відкриті ґрунти / бідну рослинність, водні об'єкти, водно-болотні угіддя, густі хвойні та широколистяні ліси (> 70% проєктивного покриття), рідколісся хвойне та широколистяне (15–70% покриття), мішані ліси [28].

Рівень ландшафтного забруднення розраховують як функцію забруднення території ^{137}Cs і типу наземного покриття, скориговану відповідно до експлуатації (0,1 — для заповідників, 0,9 — для сільгоспугідь з інтенсивним землеробством), що дає змогу врахувати антропогенний вплив на перерозподіл радіонуклідів. Сучасний стан забруднення ^{137}Cs визначено за картографічними даними з Атласу радіоактивного забруднення України [19] з корекцією на радіоактивний розпад з моменту аварії на ЧАЕС без додаткових польових обстежень. Коефіцієнт дозового навантаження створено в процесі інтеграції даних загальнодержавної дозиметричної паспортизації [35], результатів власних досліджень і математичного моделювання [21]. Враховано історичні й сучасні нормативи зонування, включно із скасованою IV зоною забруднення, що забезпечило уніфіковану оцінювальну шкалу. Калібрування базувалося на емпіричних даних реальних дозових навантажень у різних зонах радіоактивного забруднення з базовим значенням 1,0 для рівня < 0,1 мЗв/рік.

Просторове моделювання виконано на платформі QGIS. Методика поєднує категоріальний підхід для дискретних змінних (ґрунтовий тип, наземний покрив) з безперервними просторовими даними (забруднення, рельєф). Категоріальні дані (ґрунтовий покрив, землекористування) представлені векторними шарами з публічних джерел, класифікованими за попередньо визначеними коефіцієнтами

без інтерполяції. Безперервні дані (забруднення ^{137}Cs , дозове навантаження) опрацьовано як растрові шари з рекласифікацією за шкалою I_{PK} через растровий калькулятор QGIS. Усі шари приведено до єдиної просторової сітки з використанням методів згладжування для зменшення похибок у зонах різких змін параметрів.

Методику апробовано для території поблизу с. Розсохівського Коростенського р-ну Житомирської обл. (II зона радіоактивного забруднення), координати: 51°07'15.2"N 29°00'49.6"E. Валідацію проведено за допомогою порівняння з наявними радіоекологічними картами окремих районів [14, 47, 48] і точковими вимірами з наукової літератури. Похибка моделі становить < 25% для більшості параметрів.

Результати досліджень. Розроблений індекс радіоекологічної критичності (I_{PK}) базується на інтеграції 8 ключових параметрів, що характеризують фізико-географічні особливості території та рівень радіоактивного забруднення. Математична модель індексу представлена формулою

$$I_{PK} = I_r \times I_p \times I_c \times I_{gp} \times I_{te} \times I_{екс} \times I_{рн} \times D \times I_d,$$

де I_r — коефіцієнт гідрографічних умов, I_p — коефіцієнт морфології рельєфу, I_c — коефіцієнт інтенсивності акумуляції стоку, I_{gp} — коефіцієнт переважного ґрунтового покриття, I_{te} — коефіцієнт наземного покриття, $I_{екс}$ — коефіцієнт рівня забруднення ландшафту, $I_{рн}$ — коефіцієнт територіального забруднення (^{137}Cs), D — дозове навантаження на населення, I_d — коефіцієнт рівня дозового навантаження.

Класифікація радіоекологічної критичності здійснюється за 6 градаціями (табл. 2): від некритичного рівня ($I_{PK} < 37,0$) до надзвичайно критичного ($I_{PK} > 185,0$). Радіоекологічна критичність території формується під впливом 3 основних груп чинників [7]. Природні умови є визначальними в процесах

2. Рівні радіоекологічної критичності території

Значення I_{PK}	Рівень радіоекологічної критичності
> 185,0	Надзвичайно критичний
148,1–185,0	Дуже критичний
111,1–148,0	Критичний
74,1–111,0	Помірно критичний
37,1–74,0	Слабокритичний
< 37,0	Некритичний

міграції та акумуляції радіонуклідів. Геоморфологічні особливості контролюють розподіл забруднювачів: рівнинні ділянки сприяють затриманню радіоактивних частинок, натомість схилі поверхні активізують їх перенесення. Властивості ґрунтового покриву

визначають біодоступність радіонуклідів: наприклад, дерново-підзолисті ґрунти через низький уміст органічної речовини та підвищену кислотність характеризуються інтенсивним переходом ^{137}Cs в рослинну продукцію.

Антропогенні чинники містять особливості землекористування та агротехнічні прийоми. Різні сільськогосподарські культури по-різному впливають на вертикальну міграцію радіонуклідів: коренеплоди (наприклад, картопля) активізують цей процес, тоді як зернові культури його уповільнюють. Лісові екосистеми характеризуються тривалим утриманням радіоактивних речовин з огляду на лісову підстилку та високу біомасу.

Радіаційні параметри відображають як безпосередню щільність за-



Карта рівнів радіоекологічної критичності поблизу с. Розсохівського Житомирської обл.: ■ — надзвичайно критичний, ■ — дуже критичний, □ — критичний, □ — помірно критичний, ■ — слабокритичний, ■ — некритичний

бруднення ^{137}Cs , так і дозове навантаження на населення, що окреслює соціально-економічні особливості регіону [21]. Тестування розробленої методики проведено для території поблизу с. Розсохівського Житомирської обл. (рисунок), яка є репрезентативною для Українського Полісся. Ділянка вирізняється типовим для регіону ґрунтовим покривом (дерново-підзолисті, лучні, лучно-болотні ґрунти), складним рельєфом і приналежністю до II зони радіоактивного забруднення.

Просторовий аналіз виявив значну варіабельність радіоекологічних умов навіть у межах компактної території. Найвищі значення I_{PK} (148,1–185,0 та 111,1–148,0) зафіксовано в заболочених низинах і лісових масивах. Помірно та слабокритичні зони (74,1–111,0 та 37,1–74,0) стосуються схилів поверхонь із дерново-підзолистими ґрунтами. Некритичні ділянки ($I_{PK} < 37$) локалізовані на підвищених елементах рельєфу під ріллею.

Запропонований підхід забезпечує комплексне оцінювання радіоекологічного стану завдяки синтезу природних, антропогенних і радіаційних чинників. Використання відкритих

геопросторових даних у поєднанні з результатами польових досліджень дає змогу досягти оптимального співвідношення точності й ресурсних витрат. Система коефіцієнтів, адаптована до умов Полісся на основі емпіричних даних, забезпечує ідентифікацію пріоритетних зон для реабілітаційних заходів. На відміну від традиційних підходів методика враховує ландшафтну специфіку регіону [18].

Основними обмеженнями є залежність від якості та актуальності вхідних даних. Подальший розвиток методики передбачає регулярне оновлення інформаційної бази, деталізацію для окремих населених пунктів й адаптацію для інших видів техногенного впливу. Розроблена методика створює науково-методичну основу для стратегічного планування природокористування в постчорнобильський період. I_{PK} може використовуватися для оптимізації сільськогосподарського землекористування, оцінювання екосистемних послуг і розроблення заходів щодо реабілітації забруднених територій. Принципи методики можуть бути адаптовані для інших регіонів із техногенним забрудненням і сприяти сталому управлінню територіями.

Висновки

Розроблений індекс радіоекологічної критичності формує основу комплексної ГІС-методології районування Українського Полісся, ефективно поєднуючи фізико-географічні, соціально-економічні та радіоекологічні параметри для оцінювання стану забруднення території. Верифікація підтвердила кореляцію I_{PK} з ландшафтно-геохімічними особливостями, що свідчить про потенціал методики для стратегічного планування природокористування у віддалений постчорнобильський період. Використання відкритих геопросторових ресурсів і ГІС-алгоритмів дає

змогу масштабувати методологію на інші техногенно забруднені території, адаптуючи I_{PK} для оцінювання інших видів забруднення. Практична цінність полягає у створенні науково-методичної бази для міжнародних ініціатив з відновлення деградованих земель, що відповідає «Цілям сталого розвитку», ухваленим ООН (ЦСР 2, 13, 15).

Екосистемний підхід оптимізує управлінські рішення, а диференційована класифікація територій за рівнями критичності сприяє раціональному розподілу ресурсів для їх реабілітації. Перспективи містять деталізацію

просторового аналізу, розширення спектру антропогенних чинників та інтеграцію в системи екологічного

моніторингу для підтримки сталого розвитку регіону Українського Полісся.

Shvydenko I.¹, Kuchma T.², Raichuk L.³, Chobotko H.⁴

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS, 12 Metrolohichna Str., Kyiv, 03143, Ukraine; e-mail: ¹favor09@ukr.net, ²tanyakuchma@gmail.com, ³edelve@ukr.net, ⁴chobotko@ukr.net; ORCID: ¹0000-0002-6135-8968, ²0000-0002-9328-5919, ³0000-0002-2552-4578, ⁴0000-0001-8228-4331

Radioecological and landscape complex zoning of Ukrainian Polissia as the basis for the post-war revival of the region

Goal. To create a GIS methodology of zoning Ukrainian Polissia by developing an index of radioecological criticality (IREC) for assessing areas contaminated with radionuclides, taking into account natural, anthropogenic, and social factors, as well as for planning nature management in the post-Chornobyl period. **Methods.** The IREC integrates many parameters: hydrographic conditions, relief, runoff accumulation, soil and ground cover, 137Cs landscape pollution, and dose load. Data from OpenStreetMap, SRTM, CGLS, ESA WorldCover, thematic maps of the National Atlas of Ukraine, and QGIS for modeling were used. Categorical data was treated as vector layers, continuous — as raster with reclassification. Testing was performed near the vil. Rozsokhivske (Zhytomyr oblast)

with validation (error < 25%). **Results.** The IREC provides an assessment of radioecological risks, revealing their spatial variability. The highest values (148.1–185.0) were recorded in swampy lowlands and forests, moderately and slightly critical zones (37.1–111.0) — on slopes with sod-podzolic soils, non-critical (< 37.0) — on arable land. The technique confirmed the correlation with landscape-geochemical features, which ensured its effectiveness for identifying priority rehabilitation zones. **Conclusions.** The IREC forms the basis of a comprehensive GIS methodology for radioecological zoning of Ukrainian Polissia, integrating natural, anthropogenic, and radioecological parameters. The use of open geospatial resources makes it possible to scale the methodology to other technologically polluted territories while adapting it. The practical value lies in the creation of a scientific and methodological base for the restoration of degraded soils, which corresponds to the «Sustainable Development Goals» adopted by the UN. Prospects contain detailed analysis, expansion of the range of anthropogenic factors, and introduction into environmental monitoring systems.

Key words: GIS-methodology, complex indicator, radioactive contamination, radioecological criticality, land rehabilitation, sustainable development.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202511-07>

Бібліографія

1. Tsaryk L., Kuzyk I. Russian-Ukrainian war: environmental aspect. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія.* 2022. Вип. 53. № 2. С. 100–106. doi: 10.25128/2519-4577.22.2.13

2. Тучковенко Ю., Степаненко С. Вплив руйнування греблі Каховської ГЕС на екологічний стан Одеського району Чорного моря. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: наук.-техн. зб.* 2023. № 44. С. 71–80. doi: 10.32347/2524-0021.2023.44.71-80

3. *ЕкоЗагроза*: Офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. 2025. <https://ecozagroza.gov.ua/en>

4. Tarariko O.H., Cruse R.M., Iliencko T.V. et al. Impact of climate changes on agrosources of Ukrainian Polissia based on geospatial data. *Agricultural Science and Practice.* 2024. 11(2). P. 3–29. doi: 10.15407/agrisp11.02.003

5. Mumtaz A., Mehdi S., Ecevit A. et al. Russia-Ukraine war impacts on climate initiatives and sustainable development objectives in top European gas importers. *Environmental*

Science and Pollution Research. 2023. 30(43). P. 96701–96714. doi: 10.1007/s11356-023-29308-9

6. Appiah-Otoo I., Chen X. Russian-Ukrainian war degrades the total environment. *Letters in Spatial and Resource Sciences*. 2023. 16(1). doi: 10.1007/s12076-023-00354-8

7. Prister B. Behavior of the Chernobyl-Derived Radionuclides in Agricultural Ecosystems. *Behavior of Radionuclides in the Environment II monogr.* Singapore: Springer, 2020. 282 p. P. 229–282. doi: 10.1007/978-981-15-3568-0_5

8. Райчук Л.А., Швиденко І.К., Чоботько Г.М. Оцінка впливу екологічних і соціально-економічних чинників на формування дози внутрішнього опромінення населення Українського Полісся у віддалений період після аварії на ЧАЕС. *Scientific aspects of conserving and restoring natural resources under the modern development of society: monogr.* Riga: Baltija Publishing, 2024. 600 p. P. 190–210. doi: 10.30525/978-9934-26-511-2-9

9. Райчук Л.А., Дем'янюк О.С., Коніщук В.В., Городиська І.М. Соціально-економічні передумови сталого розвитку радіоактивно забруднених територій Українського Полісся. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 1. С. 66–73. doi: 10.33730/2310-4678.1.2023.278541

10. Дребот О.І., Дем'янюк О.С., Райчук Л.А. Науково-методичні засади реабілітації радіоактивно забруднених агроландшафтів у контексті зеленої економіки. *Вісник аграрної науки*. 2022. Т. 100. № 2. С. 74–81. doi: 10.31073/agrovisnyk202202-10

11. Freitas M.W., Santos J.R. Zoneamento hierárquico da paisagem nos domínios da Bacia do Rio Uruguai. *Sociedade & Natureza (online)*. 2014. 26. P. 287–300. doi: 10.1590/1982-451320140207

12. Salt C.A., Dunsmore M.C. Development of a spatial decision support system for post-emergency management of radioactively contaminated land. *Journal of Environmental Management*. 2000. 58(3). P. 169–178. doi: 10.1006/jema.2000.0324

13. Lev T.D., Talerko M.M., Prister B.S. Comprehensive assessment of the Chernobyl Exclusion Zone wildfires impact on the 100-km

area around the Chernobyl NPP. *Nuclear Power and the Environment*. 2023. 2(27). P. 77–86. doi: 10.31717/2311-8253.23.2.8

14. Prister B.S., Vinogradskaya V.D., Lev T.D. et al. Preventive radioecological assessment of territory for optimization of monitoring and countermeasures after radiation accidents. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2018. P. 140–151. doi: 10.1016/j.jenvrad.2018.01.021

15. Тищенко О.Г., Ландін В.П., Цудик Н.М., Мартиненко В.В. Оцінка радіоекологічної ситуації для території природного заповідника «Древлянський» станом на 2023 р. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2023. Вип. 1. № 26. С. 55–63. doi: 10.31717/2311-8253.23.1.6

16. Matvieieva I., Groza V., Pavliukh L., Rudyak Y., Daradkeh Y.I. Information Model of Ecological Systems on the Basis of Reliability and Radiocapacity with Application of GIS Technologies. *Proceedings of the International Workshop on Cyber Hygiene (CybHyg-2019)*. 2019. P. 593–603. <https://ceur-ws.org/Vol-2654/paper46.pdf>

17. Alipbeki O., Kabzhanova G., Kurmanova G., Alipbekova C. Application of GIS technologies to monitor secondary radioactive contamination in the Delegen mountain massif. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. 37(1):012080. doi: 10.1088/1755-1315/37/1/012080

18. Grytskyuk N., Davydchuk V., Arapis G. Application of GIS technologies in ecotoxicology: a radioecological case study. *Ecotoxicology, Ecological Risk Assessment and Multiple Stressors. NATO Security Through Science Series: conference paper*. Dordrecht: Springer, 2006. 6. P. 269–278. doi: 10.1007/1-4020-4476-3_18

19. Atlas. Ukraine. Radioactive contamination. <https://radatlas.isgeo.com.ua/>

20. Avila R., Kautsky U., Ekström P.A. et al. Model of the long-term transport and accumulation of radionuclides in future landscapes. *Ambio*. 2013. 42(4). P. 497–505. doi: 10.1007/s13280-013-0402-x

21. Чернявський А., Любашенко Н., Райчук Л. та ін. Модель формування дози внутрішнього опромінення населення українського Полісся у віддалений період після

аварії на ЧАЕС. *Zenodo*. 2023. doi: 10.5281/zenodo.14367310

22. Чоботько Г.М., Райчук Л.А. Ідентифікація параметрів у моделюванні біологічних систем на прикладі лісової екосистеми. *Агроєкологічний журнал*. 2018. № 1. С. 14–20. doi: 10.33730/2077-4893.1.2018.159238

23. Чоботько Г.М., Райчук Л.А., Швиденко І.К., Кучма М.Д. Математична модель міграції ^{137}Cs в агроландшафтах Українського Полісся у віддалений період після аварії на ЧАЕС. *Агроєкологічний журнал*. 2020. № 1. С. 12–18. doi: 10.33730/2077-4893.1.2020.201264

24. Іванов Ю.О., Хомутінін Ю.В. Математичне моделювання динаміки міграції ^{90}Sr і ^{137}Cs в компонентах ґрунтового-рослинного покриву агроценозів на пізній фазі радіаційної аварії. II. Перевірка моделі та прогнозні оцінки. *Ядерна фізика та енергетика*. 2015. Вип. 16. № 3. С. 242–246. doi: 10.15407/jnpae2015.02.169

25. Кирильчук А.М., Паламарчук Р.П. Динаміка вмісту ^{137}Cs та ^{90}Sr у ґрунтового покриві сільськогосподарських угідь Житомирської обл. *Агроєкологічний журнал*. 2022. № 4. С. 84–92. doi: 10.33730/2077-4893.4.2022.273254

26. Linkov I., Schell W.R. Contaminated forests: Recent developments in risk identification and future perspectives. 1st ed. Dordrecht: Springer, 1999. 448 p. doi: 10.1007/978-94-011-4694-4

27. Romantschuk L., Ustyomenko V., Didenko P. Accumulation and distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides in the forests of the «Drevlyansky» nature reserve. *International Journal of Ecotoxicology and Ecobiology*. 2021. 6(2). P. 29–33. doi: 10.11648/j.ijee.20210602.11

28. Raichuk L., Kuchma T., Shvydenko I. et al. Components of the comprehensive radioecological criticality index (RECI) for territories. *Zenodo*. 2025. doi: 10.5281/zenodo.15133442

29. *OpenStreetMap*. 2023. <https://www.openstreetmap.org/>

30. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). 2023. <https://eospso.nasa.gov/missions/shuttle-radar-topography-mission>

31. Публічна кадастрова карта України: Державна служба України з питань геодезії,

картографії та кадастру. 2022. <https://map.land.gov.ua/>

32. VITO. The Copernicus Global Land Service — CGLS. 2015. <https://land.copernicus.eu/en/products/global-dynamic-land-cover>

33. Zanaga D., Van De Kerchove R., Daems D. et al. ESA WorldCover 10 m 2021 v200. *Zenodo*. 2022. doi: 10.5281/zenodo.7254221

34. *Забрудненість території цезієм-137 (наслідок аварії на Чорнобильській атомній електростанції, 1986 р.)*. Національний атлас України. 2023. <http://wdc.org.ua/atlas/en/7030100.html>

35. Ліхтарьов І.А., Ковган Л.М., Василенко В.В та ін. Загальнодозиметрична паспортизація та результати ЛВЛ-моніторингу в населених пунктах України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської катастрофи. Дані за 2011 р. Збірка 14. Київ: ДУ «ННЦРМ НАМН України», 2012. 100 с. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/022/52022270.pdf

36. Паренюк О., Рубан Ю., Нестерова Н., Шаванова К. Вплив рельєфу на формування дозового навантаження на *Cryptomeria japonica*, сформованого внаслідок аварії на АЕС Фукусіма-1. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки*. 2020. Вип. 2. № 390. С. 45–49. doi: 10.29038/2617-4723-2020-390-2-45-49

37. Пазинич Н.В., Філіпович В.Є. Аналіз впливу рельєфу на поверхневий перерозподіл радіонуклідів територій, що зазнали радіаційного забруднення (на прикладі зон відчуження атомних електростанцій Чорнобиль і Фукусіма-1). *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2014. № 3. С. 40–43. <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/29>

38. Шевченко О.Л., Акіньєв Г.О. Генералізація чинників залучення радіонуклідів до водної міграції. *Геохімія техногенезу*. 2020. Вип. 3. № 31. С. 41–52. doi: 10.15407/geotech2020.31.041

39. Шевченко О.Л., Бублясь В.М. Роль западинного мікрорельєфу та інших чинників у формуванні водного винесення радіоактивного стронцію. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*. 2013. № 3. С. 84–97.

40. Hromyk O., Ilyin L., Grygus I. et al. Radiation monitoring of agricultural soils of the Volyn region in Ukraine. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*. 2020. 71(4). P. 377–382. doi: 10.32394/rpzh.2020.0139

41. Labunska I., Levchuk S., Kashparov V. et al. Current radiological situation in areas of Ukraine contaminated by the Chornobyl accident: Part 2. Strontium-90 transfer to culinary grains and forest woods from soils of Ivankiv district. *Environment International*. 2021. 146(3):106282. doi: 10.1016/j.envint.2020.106282

42. Мусич О.Г., Ландін В.П., Райчук Л.А. Акумуляція ^{137}Cs та ^{90}Sr у рослинах унаслідок техногенної катастрофи на ЧАЕС. *Агро-екологічний журнал*. 2019. № 1. С. 124–130. doi: 10.33730/2077-4893.1.2019.163297

43. Procházka J., Škrkal J., Rulík P. et al. Determining the transfer factors for estimates of the radiation contamination of agricultural crops. *Radiation Protection Dosimetry*. 2022. 198(9–11). P. 747–753. doi: 10.1093/rpd/ncac129

44. Modelling the migration and accumulation of radionuclides in forest ecosystems:

Final Report on Biomass Forest Working Group. Vienna: IAEA, 2002. 136 p.

45. Testing of environmental transfer models using Chernobyl fallout data from the Iput River catchment area. Vienna: IAEA, 2003. 340 p.

46. Виноградська В. Прогнозування забруднення сільськогосподарської продукції ^{137}Cs з використанням моделі поведінки радіонукліду в системі «ґрунт-рослина». *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2014. Вип. 2. № 42. С. 13–20.

47. Прістер Б.С., Гаргер Є.К., Талерко М.М. та ін. Радіоекологічне районування та модель території для цілей моніторингу агросфери після важкої аварії на АЕС. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2015. № 25. С. 54–65. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pbaech_2015_25_9

48. Лев Т.Д., Прістер Б.С., Виноградська В.Д. та ін. Басейново-ландшафтний принцип в оцінюванні ступеня радіоекологічної критичності території України. *Український географічний журнал*. 2018. № 4. С. 49–58. doi: 10.15407/ugz2018.04.049