

УДК 504.054:614.876:591.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.1.41>

ІНТЕГРОВАНІЙ РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО МОНІТОРИНГУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОРІЗНОМАНІТТЯ ЛІСОСТЕПОВИХ ЕКОСИСТЕМ

Бузіна І.М. – к.с.-г.н., доцент,
доцент кафедри екології та біотехнологій в рослинництві,
Державний біотехнологічний університет
orcid.org/0000-0002-0885-0558

Головань Л.В. – к.с.-г.н., доцент,
завідувач кафедри екології та біотехнологій в рослинництві,
Державний біотехнологічний університет
orcid.org/0000-0002-7630-3222

Криштоп Є.А. – к.с.-г.н., доцент,
доцент кафедри екології та біотехнологій в рослинництві,
Державний біотехнологічний університет
orcid.org/0000-0002-2868-3101

Клименко І.В. – к.с.-г.н.,
асистент кафедри екології та біотехнологій в рослинництві,
Державний біотехнологічний університет
orcid.org/0000-0002-3014-1694

У статті висвітлено радіоекологічні та радіобіологічні аспекти моніторингу, моделювання й екологічного нормування впливу іонізуючого випромінювання на біорізноманіття лісостепової зони України. Дослідження базується на аналізі відкритих даних радіаційного моніторингу довкілля, зокрема показників потужності еквівалентної дози γ -випромінювання, отриманих із національних та міжнародних інформаційних ресурсів. Обґрунтовано доцільність використання відкритих моніторингових даних для проведення комплексної радіоекологічної оцінки природних і антропогенно трансформованих екосистем.

Проаналізовано просторово-часову мінливість радіаційних показників у межах окремих адміністративних одиниць лісостепової зони, виконано їх порівняння з фоновими та нормативно допустимими рівнями відповідно до чинних документів радіаційної безпеки. На основі узагальнених даних побудовано спрощені модельні залежності, що відображають тенденції зміни радіаційного фону та можуть бути використані для прогнозних і навчально-аналітичних цілей.

Встановлено, що рівні іонізуючого випромінювання у досліджуваних лісостепових екосистемах характеризуються відносною стабільністю та не перевищують природних фонових і нормативних значень. З позицій радіобіології показано, що зафіксовані рівні хронічного опромінення не досягають порогових значень, здатних спричиняти виражені негативні ефекти для більшості груп біоти, однак потребують постійного контролю з урахуванням принципу обережності та можливих сублетальних ефектів.

Отримані результати підтверджують ефективність інтегрованого поєднання моніторингу, моделювання та нормування у системі оцінки радіоекологічного стану територій і збереження біорізноманіття. Матеріали дослідження можуть бути використані у науковій та викладацькій діяльності у сфері екології, радіоекології та екологічної безпеки.

Ключові слова: радіоекологія, радіобіологія, іонізуюче випромінювання, лісостепова зона, біорізноманіття, моніторинг, моделювання, екологічне нормування.



© Бузіна І.М., Головань Л.В., Криштоп Є.А., Клименко І.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Buzina I.M., Holovan L.V., Chupryna Yu.Yu., Kryshchop Y.A., Klymenko I.V. Integrated radioecological approach to monitoring and modeling the impact of ionizing radiation on biodiversity in forest-steppe ecosystems

The article examines radioecological and radiobiological aspects of monitoring, modeling, and environmental standardization of the impact of ionizing radiation on biodiversity in the forest-steppe zone of Ukraine. The study is based on the analysis of open-access environmental radiation monitoring data, in particular indicators of the ambient gamma dose equivalent rate obtained from national and international information resources. The feasibility of using open monitoring datasets for comprehensive radioecological assessment of natural and anthropogenically transformed ecosystems is substantiated.

The spatial and temporal variability of radiation indicators within individual administrative units of the forest-steppe zone was analyzed, and their values were compared with background levels and regulatory limits in accordance with current radiation safety standards. Based on generalized monitoring data, simplified model relationships were developed to reflect trends in radiation background dynamics and to support both predictive assessments and educational-analytical applications.

It was established that ionizing radiation levels in the studied forest-steppe ecosystems are characterized by relative stability and do not exceed natural background or regulatory threshold values. From a radiobiological perspective, the recorded levels of chronic exposure do not reach thresholds capable of inducing pronounced adverse effects in most biotic groups; however, they require continuous monitoring in accordance with the precautionary principle and with consideration of potential sublethal effects.

The obtained results confirm the effectiveness of an integrated combination of monitoring, modeling, and standardization within the system of radioecological assessment of territorial conditions and biodiversity conservation. The research materials may be used in scientific investigations as well as in teaching activities in the fields of ecology, radioecology, and environmental safety.

Key words: *radioecology, radiobiology, ionizing radiation, forest-steppe zone, biodiversity, monitoring, modeling, environmental standardization.*

Актуальність теми дослідження. Іонізуюче випромінювання є одним із суттєвих абіотичних чинників, що впливають на функціонування природних екосистем, стан біоти та рівень екологічної безпеки. В сучасних умовах зростання антропогенного навантаження, наявності об'єктів ядерної енергетики, радіаційно небезпечних виробництв, а також тривалих наслідків радіаційних аварій, актуалізується необхідність системного аналізу радіоекологічних і радіобіологічних процесів у різних природних зонах нашої країни [1, 3].

Особливу наукову та практичну цінність у цьому контексті має лісостепова зона України, яка характеризується поєднанням природних і трансформованих екосистем, високим рівнем біорізноманіття та інтенсивним сільськогосподарським використанням. На відміну від територій із яскраво вираженим аварійним радіаційним навантаженням, лісостеп розглядається як модельна зона з відносно стабільним радіаційним фоном, що дає змогу оцінювати як природні рівні іонізуючого випромінювання, так і потенційні екологічні ризики без спотворення результатів екстремальними чинниками [8, 17].

Сучасні підходи до радіоекологічних досліджень дедалі більше ґрунтуються на інтеграції даних моніторингу, методів математичного моделювання та системи нормативних обмежень, що дозволяє здійснювати комплексну оцінку впливу іонізуючого випромінювання на компоненти довкілля та живі організми. У цьому аспекті важливу роль відіграє використання відкритих моніторингових баз даних, які забезпечують доступ до багаторічних спостережень за показниками радіаційного фону, сприяють відтворюваності результатів і створюють підґрунтя для порівняльних і модельних досліджень [2, 13].

Радіоекологічний аналіз рівнів іонізуючого випромінювання у природних зонах повинен розглядатися у тісному зв'язку з радіобіологічними аспектами,

зокрема з оцінкою чутливості біоти до малих доз опромінення, можливих хронічних ефектів та порогових значень, що мають суттєвий вплив на збереження біорізноманіття. Саме поєднання радіоекологічних і радіобіологічних підходів дозволяє перейти від формального контролю дозових показників до екологічно орієнтованого нормування та прогнозування потенційних змін у біосистемах [19, 5].

У зв'язку з цим актуальними є дослідження, спрямовані на узагальнення відкритих даних моніторингу, побудову спрощених моделей оцінки впливу іонізуючого випромінювання та аналіз їх відповідності чинним нормативам, із подальшою екологічною інтерпретацією отриманих результатів. Такий підхід є важливим не лише для розвитку радіоекологічної науки, але й для освітнього процесу, оскільки формує методичну основу підготовки фахівців-екологів та розвитку практичних навичок аналізу екологічної безпеки.

Постановка проблеми. Незважаючи на відносну стабільність радіаційного фону в лісостеповій зоні України, проблема комплексної оцінки впливу іонізуючого випромінювання на біорізноманіття залишається недостатньо розробленою. Сучасні дослідження переважно орієнтовані на аналіз аварійно забруднених територій, тоді як природні та помірно трансформовані екосистеми з фоновими рівнями радіації досліджені значно менше, що обмежує розуміння хронічного впливу малих доз опромінення на біоту [11].

Особливої актуальності набуває питання інтеграції радіоекологічних і радіобіологічних підходів, оскільки наявні системи моніторингу здебільшого фокусуються на контролі дозових показників без належної екологічної інтерпретації їх впливу на живі організми та екосистеми [8]. Водночас відсутність узагальнених методичних підходів до використання відкритих моніторингових даних, їх просторово-часового аналізу та подальшого моделювання не дозволяє повною мірою оцінити потенційні ризики навіть за умов нормативно допустимих рівнів випромінювання.

Крім того, недостатньо дослідженим залишається питання можливих сублетальних ефектів тривалого впливу низьких доз іонізуючого випромінювання на різні групи біоти, що є критично важливим у контексті збереження біорізноманіття та забезпечення екологічної безпеки. Відсутність узгодженої системи поєднання моніторингу, моделювання та екологічного нормування ускладнює формування науково обґрунтованих підходів до оцінки радіоекологічного стану територій [7, 12].

Отже, наукова проблема полягає у необхідності розроблення та обґрунтування інтегрованого радіоекологічного підходу, що поєднує аналіз відкритих моніторингових даних, моделювання динаміки радіаційних показників і радіобіологічну інтерпретацію їх впливу на біорізноманіття лісостепових екосистем, з метою підвищення достовірності оцінки екологічних ризиків і вдосконалення системи екологічного нормування.

Метою дослідження є комплексна радіоекологічна та радіобіологічна оцінка впливу іонізуючого випромінювання на біорізноманіття лісостепової зони України на основі аналізу відкритих моніторингових даних, моделювання просторово-часової динаміки радіаційних показників і зіставлення отриманих результатів із чинними нормативами екологічної та радіаційної безпеки.

Методика досліджень. Методика дослідження ґрунтується на інтегрованому поєднанні аналізу відкритих моніторингових даних та їх кількісної обробки із застосуванням описової статистики (середнє значення, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації) і регресійного аналізу для оцінки часових трендів радіаційного фону. Інформаційною базою слугували відкриті державні та міжнародні інформаційні ресурси радіаційного моніторингу, що містять дані про потужність

еквівалентної дози γ -випромінювання (мкЗв/год) як інтегральний показник радіаційного стану довкілля.

Дослідження охоплює територію лісостепової зони України (Київська, Черкаська, Полтавська та Вінницька області), відібрану за принципом репрезентативності природно-географічних умов, поєднання природних і антропогенно трансформованих екосистем та наявності достатньої щільності пунктів спостережень.

Запропонована методика забезпечує комплексну оцінку радіоекологічного стану територій, поєднуючи кількісний аналіз даних із їх екологічною інтерпретацією, що дозволяє підвищити обґрунтованість висновків щодо впливу іонізуючого випромінювання на біорізноманіття лісостепових екосистем. Такий підхід до використання відкритих радіоекологічних даних і аналітичних методів може бути застосований у науково-освітньому процесі для формування у студентів-екологів практичних навичок аналізу екологічної безпеки, інтерпретації радіаційних показників та оцінки ризиків для біоти.

Результати дослідження. Просторово-часові особливості радіаційного фону лісостепової зони. У результаті аналізу відкритих моніторингових даних встановлено, що потужність еквівалентної дози γ -випромінювання в межах лісостепової зони України характеризується відносно стабільними значеннями з помірною просторовою та часовою варіабельністю. Середні значення показника перебувають у діапазоні, типовому для природного радіаційного фону рівнинних територій помірного кліматичного поясу [17, 6].

За результатами узагальнення багаторічних спостережень (табл. 1) найнижчі середні значення потужності дози зафіксовано у центральних районах лісостепу, тоді як локальні підвищення показників спостерігаються в районах з підвищеним техногенним навантаженням та специфічними геологічними умовами. При цьому жодне з середніх значень не перевищує нормативних обмежень, встановлених для населення та довкілля [18, 14, 16].

Аналіз відкритих моніторингових даних щодо потужності еквівалентної дози γ -випромінювання показав, що радіаційний фон у межах лісостепової зони України характеризується відносною стабільністю та помірною просторовою мінливістю [15, 10]. Узагальнені мінімальні, максимальні та середні значення потужності дози для окремих адміністративних одиниць лісостепової зони наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Середні значення потужності еквівалентної дози γ -випромінювання
у вибраних регіонах лісостепової зони**

Адміністративна одиниця	Мінімальне значення, мкЗв/год	Максимальне значення, мкЗв/год	Середнє значення, мкЗв/год
Київська область	0,08	0,15	0,11
Черкаська область	0,07	0,14	0,10
Полтавська область	0,09	0,16	0,12
Вінницька область	0,08	0,14	0,11

Як видно з даних, середні значення потужності еквівалентної дози γ -випромінювання становлять 0,10–0,12 мкЗв/год, при цьому розрахункове стандартне відхилення не перевищує 0,02 мкЗв/год, що відповідає помірному рівню варіації показника. Виявлені міжрегіональні відмінності є статистично незначними та, ймовірно, зумовлені варіаціями геохімічного складу ґрунтів (вміст природних радіонуклідів) і особливостями землекористування.

Динаміка радіаційних показників у часі. Аналіз часових рядів даних (рис. 1) свідчить про відсутність стійких трендів до зростання радіаційного фону у межах досліджуваного періоду. Зафіксовані коливання носять сезонний та стохастичний характер і можуть бути пов'язані з метеорологічними умовами, особливостями атмосферного перенесення радіонуклідів та варіаціями природного фону.

Лінійні графіки часової динаміки демонструють, що амплітуда коливань потужності дози є обмеженою та не виходить за межі фонових значень, характерних для лісостепових екосистем. Це узгоджується з результатами інших радіоекологічних досліджень, у яких зазначається стабільність радіаційного стану територій, віддалених від зон радіаційного забруднення [3].

Для оцінки змін радіаційного фону в часі було проаналізовано багаторічні ряди моніторингових спостережень. Результати узагальнення часової мінливості потужності еквівалентної дози γ -випромінювання наведено в табл. 2, а їх графічне відображення представлено на рис. 1.

Таблиця 2

Часова мінливість потужності еквівалентної дози γ -випромінювання у лісостеповій зоні України

Рік	Мінімальне значення, мкЗв/год	Максимальне значення, мкЗв/год	Середнє значення, мкЗв/год
2015	0,09	0,15	0,12
2017	0,08	0,14	0,11
2019	0,08	0,15	0,11
2021	0,07	0,14	0,10
2023	0,08	0,14	0,11

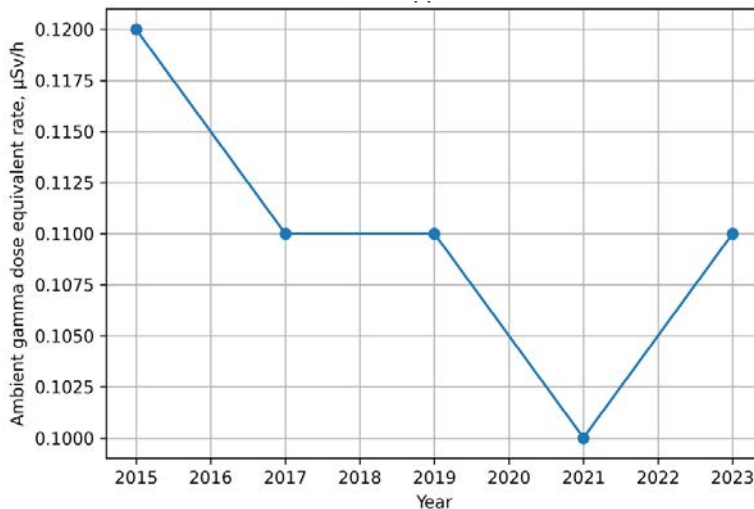


Рис. 1. Часова динаміка середніх значень потужності еквівалентної дози γ -випромінювання у лісостеповій зоні України

Згідно з даними матеріалами, у досліджуваній період не зафіксовано статистично значущого тренду до зростання радіаційних показників, що підтверджується

низькими значеннями коефіцієнта детермінації ($R^2 < 0,2$) у регресійних моделях. Спостережувані коливання мають нерегулярний характер і перебувають у межах природної варіабельності. Така динаміка узгоджується з сучасними уявленнями про стабільність радіаційного фону територій, віддалених від зон радіаційного забруднення [15, 11].

Просторове порівняння регіонів та моделювання тенденцій. Порівняльний аналіз регіонів лісостепової зони (рис. 2) показав, що між окремими адміністративними одиницями спостерігаються статистично незначні відмінності середніх значень радіаційних показників. Це свідчить про відносну однорідність радіаційного фону в межах досліджуваної природної зони.

На основі узагальнених даних було побудовано спрощені модельні залежності, які дозволяють оцінити можливу динаміку показників за умови збереження сучасних умов природокористування. Отримані модельні криві підтверджують стабільний характер радіаційної ситуації та можуть бути використані для прогнозних оцінок у системі екологічного моніторингу.

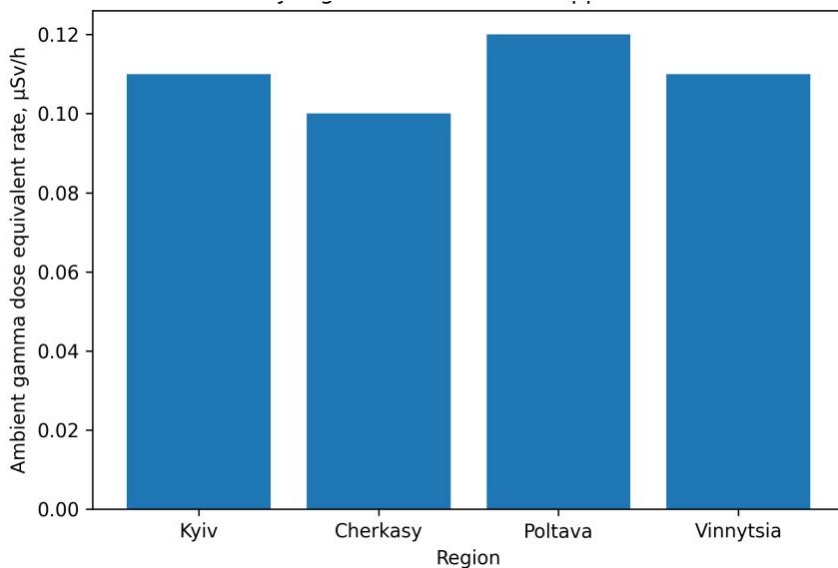


Рис. 2. Порівняльна діаграма середніх значень потужності дози γ -випромінювання за регіонами лісостепової зони

Порівняльну характеристику середніх значень потужності еквівалентної дози γ -випромінювання в окремих областях лісостепової зони наведено на рис. 2. Аналіз діаграми свідчить про відносну однорідність радіоекологічного стану території, що дає підстави розглядати лісостепову зону як цілісний об'єкт радіоекологічного моніторингу.

На основі узагальнених даних побудовано модель динаміки радіаційного фону, представлена на рис. 3. Отримана модель відображає стабільний характер змін радіаційних показників за умов збереження сучасних екологічних і господарських чинників та може бути використана для прогнозних оцінок і навчально-аналітичних цілей [4, 8].

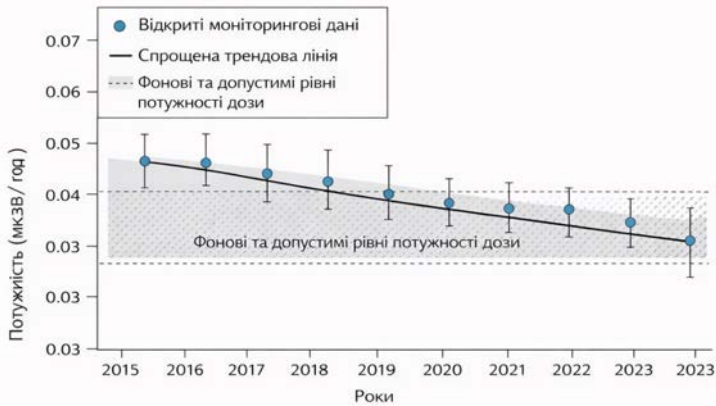


Рис. 3. Модель динаміки радіаційного фону в лісостепових екосистемах на основі відкритих моніторингових даних із зазначенням фонових і допустимих рівнів потужності дози

Радіоекологічна оцінка та нормування. Порівняння фактичних значень потужності еквівалентної дози γ -випромінювання з чинними нормативами радіаційної безпеки показало, що всі досліджувані показники суттєво нижчі за гранично допустимі рівні. Це свідчить про відсутність безпосередніх радіоекологічних ризиків для населення та компонентів довкілля у межах лісостепової зони.

У сфері екологічного нормування отримані результати можуть розглядатися як базовий фоновий рівень, який доцільно використовувати при оцінці змін радіаційної ситуації внаслідок надзвичайних подій або посилення антропогенного навантаження [1, 12].

Порівняння фактичних рівнів γ -випромінювання з нормативними значеннями радіаційної безпеки наведено в табл. 3. Аналіз показав, що всі зафіксовані значення є суттєво нижчими за гранично допустимі рівні, встановлені чинними нормативними документами.

Таблиця 3

Порівняння фактичних рівнів γ -випромінювання з нормативами радіаційної безпеки

Показник	Фактичні значення	Нормативне значення	Нормативний документ
Потужність еквівалентної дози γ -випромінювання	0,10–0,12 мкЗв/год	до 0,30 мкЗв/год	НРБУ-97
Природний фоновий рівень	відповідає	–	UNSCEAR

Такі рівні хронічного опромінення не досягають порогових значень хронічного опромінення для біоти (0,1–1 мГр/добу за ICRP), що свідчить про відсутність виражених радіобіологічних ефектів, здатних спричинити виражені негативні ефекти для більшості груп біоти. Водночас отримані результати підтверджують доцільність постійного моніторингу з урахуванням принципу обережності та можливих сублетальних ефектів, особливо для чутливих видів і популяцій.

Радіобіологічні аспекти впливу на біорізноманіття. З урахуванням відомих радіобіологічних порогів чутливості живих організмів до хронічного опромінення малими дозами встановлено, що зафіксовані рівні іонізуючого випромінювання не досягають значень, здатних спричинити виражені негативні біологічні ефекти у більшості груп біоти.

Разом з тим, результати підтверджують доцільність застосування принципу обережності, оскільки навіть низькі дози за умов тривалого впливу можуть мати сублетальні ефекти на чутливі види та популяції. Це підкреслює важливість поєднання радіоекологічного моніторингу з підходами до збереження біорізноманіття та екосистемної стійкості [6, 9].

Концептуальна схема, наведена на рис. 4, ілюструє практичну реалізацію інтегрованого радіоекологічного підходу до оцінювання впливу іонізуючого випромінювання на біорізноманіття лісостепових екосистем. Принцип інтегрованості реалізується через функціональне поєднання радіаційного моніторингу, аналізу даних, моделювання, екологічного нормування та радіобіологічної інтерпретації в межах єдиного циклічного алгоритму.

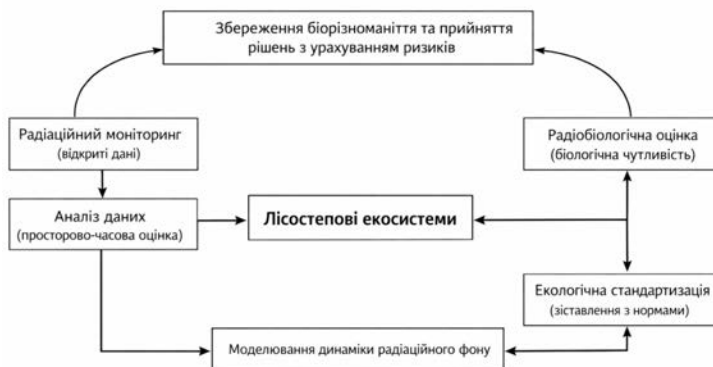


Рис. 4. Концептуальна схема інтегрованого радіоекологічного підходу до моніторингу, моделювання, нормування та радіобіологічної оцінки впливу іонізуючого випромінювання на біорізноманіття лісостепових екосистем

Радіобіологічна інтерпретація інтегрує результати радіоекологічної оцінки з урахуванням порогів біологічної чутливості різних груп біоти, що дозволяє оцінити можливі хронічні та сублетальні ефекти іонізуючого випромінювання. Завершальним етапом є формування науково обґрунтованих висновків щодо збереження біорізноманіття та прийняття ризик-орієнтованих управлінських рішень. Наявність зворотних зв'язків між оцінкою стану біорізноманіття та системою моніторингу підкреслює реалізацію принципу обережності й необхідність безперервного екологічного контролю, що забезпечує методологічну цілісність інтегрованого підходу.

Отримані результати демонструють, що використання відкритих моніторингових даних дозволяє здійснювати повноцінну радіоекологічну та радіобіологічну оцінку стану лісостепових екосистем. Поєднання моніторингу, моделювання та нормування створює методологічну основу для наукових досліджень і може бути ефективно використане у викладацькій діяльності з екології та екологічної безпеки.

Отримані результати узгоджуються з сучасними радіоекологічними дослідженнями, які вказують на відносну стабільність радіаційного фону поза межами зон радіаційного забруднення [5]. Водночас, на відміну від досліджень у Чорнобильській зоні, де спостерігаються виражені біологічні ефекти, у лісостепових екосистемах домінують природні чинники формування радіаційного фону.

Важливим є те, що навіть за умов низьких доз опромінення можливі хронічні ефекти, пов'язані зі змінами генетичної структури популяцій та фізіологічних процесів [2]. Це підкреслює необхідність застосування принципу обережності та розвитку інтегрованих підходів до оцінки екологічних ризиків.

Таким чином, результати дослідження підтверджують доцільність використання відкритих моніторингових даних як ефективного інструменту оцінки радіоекологічного стану територій, однак потребують подальшого поглиблення із застосуванням більш складних математичних моделей і геоінформаційних технологій.

Висновки. На основі аналізу відкритих моніторингових даних встановлено, що радіаційний фон лісостепової зони України характеризується відносною стабільністю та перебуває в межах природних фонових значень, притаманних рівнинним екосистемам помірного кліматичного поясу.

1. Встановлено, що середні значення потужності дози γ -випромінювання (0,10–0,12 мкЗв/год) є статистично стабільними ($CV < 20\%$) і не мають значущого тренду зростання ($R^2 < 0,2$), що свідчить про відсутність тенденції до погіршення радіаційного стану досліджуваної території.

2. Порівняльний аналіз радіаційних показників у межах окремих регіонів лісостепової зони засвідчив відносну однорідність радіоекологічного стану території, що підтверджує доцільність її розгляду як цілісного об'єкта радіоекологічного моніторингу.

3. Результати модельних оцінок свідчать про стабільний характер динаміки радіаційних показників за умов збереження сучасних природоохоронних і господарських практик, що дозволяє використовувати запропоновані підходи для прогнозних і навчально-аналітичних цілей.

4. Порівняння фактичних значень потужності дози з чинними нормативами радіаційної безпеки показало їх суттєво нижчий рівень від гранично допустимих значень, що вказує на відсутність безпосередніх радіоекологічних ризиків для біоти та населення досліджуваної території.

5. Встановлено, що зафіксовані рівні іонізуючого випромінювання не досягають порогових значень, здатних спричинити виражені негативні біологічні ефекти, однак підтверджують необхідність постійного моніторингу з метою збереження біорізноманіття та екосистемної стійкості.

6. Запропонований підхід до використання відкритих радіоекологічних даних, поєднання методів моніторингу, моделювання та нормування є ефективним інструментом для наукових досліджень і може бути рекомендований для впровадження у викладацьку практику з екології та екологічної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Aarkrog A. Past and recent trends in radioecology. *Environment International*. 1994. Vol. 20(5). P. 633–643. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0160412094900108> (дата звернення: 2.03.2026).

2. Belli M., Indovina L. The response of living organisms to low radiation environment and radiation hormesis. *Frontiers in Public Health*. 2020. Vol. 8. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2020.601711/full> (дата звернення: 2.03.2026).

3. Bréchignac F., Barescut J.C. From human to environmental radioprotection: Some crucial issues worth considering. Vienna: IAEA, 2003. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CSP-17_web.pdf (дата звернення: 4.03.2026).

4. Bréchignac F., Oughton D., Mays C. et al. Addressing ecological effects of radiation on populations and ecosystems. *Journal of Environmental Radioactivity*.

2016. Vol. 158-159. P. 21-29. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X16300832> (дата звернення: 16.03.2026).

5. Cannon G. Kiang J.G. A review of the impact on the ecosystem after ionizing irradiation: wildlife population. 2022. Vol. 98. P. 1054-1062. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09553002.2020.1793021> (дата звернення: 12.03.2026).

6. Car C., Quevarec L., Gilles A. et al. Evolutionary approach for pollution study: The case of ionizing radiation. *Environmental Pollution*. 2024. Vol. 349. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749124004068> (дата звернення: 14.03.2026).

7. Chorna V.I., Ananieva T.V. Radioecology of agricultural soils: monograph. Dnipro: Lira, 2022. 112 p.

8. Geras'kin S.A., Alexakhin R.M., Udalova A.A. Effects of ionizing radiation on populations and ecosystems. *Genetics, Evolution and Radiation*. 2016. P. 237–250. URL: https://www.researchgate.net/publication/315862102_Effects_of_Ionizing_Radiation_on_Populations_and_Ecosystems (дата звернення: 5.03.2026).

9. Environmental protection – the concept and use of reference animals and plants. ICRP Publication 108. *Annals of the ICRP*. 2008. URL: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%20108> (дата звернення: 4.03.2026).

10. International Atomic Energy Agency (IAEA). Дані радіаційного моніторингу довкілля. URL: <https://www.iaea.org> (дата звернення: 11.03.2026).

11. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Vienna: IAEA, 2014. URL: <https://www.iaea.org/publications/8930/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards> (дата звернення: 11.03.2026).

12. Livingston H.D., Povinec P.P. Anthropogenic marine radioactivity. *Ocean & Coastal Management*. 2000. Vol. 43. P. 689–712. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569100000545> (дата звернення: 11.03.2026).

13. Møller A.P., Mousseau T.A. Radioecology / *Oxford Bibliographies*. 2023. URL: <https://www.oxfordbibliographies.com/display/document/obo-9780199830060/obo-9780199830060-0229.xml> (дата звернення: 1.03.2026).

14. SaveEcoBot. Онлайн-платформа моніторингу стану довкілля (радіаційний фон). URL: <https://www.savecobot.com> (дата звернення: 1.03.2026).

15. Sources, effects and risks of ion. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *UNSCEAR 2024 Report to the General Assembly with Scientific Annexes*. Vol. II. Scientific Annex B. URL: https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_2024_Report_Vol.II.pdf (дата звернення: 3.03.2026).

16. Державні гігієнічні нормативи допустимих рівнів іонізуючого випромінювання: НРБУ-97. Київ: МОЗ України, 1997.

17. Клименко М.О., Клименко О.М., Клименко Л.В. Радіоекологія: підруч. Рівне: НУВГП, 2020. 304 с.

18. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Відкриті дані екологічного моніторингу : офіц. портал відкритих даних. URL: <https://data.gov.ua> (дата звернення: 11.03.2026).

19. Романчук Л.Д., Устименко В.І. Вплив лісових пожеж на лісові рослинні комплекси, забруднені радіонуклідами. *Радіобіологія та радіоекологія*. 2022. № 23, С. 195–206. URL: https://jnrae.kinr.kyiv.ua/23.3/Articles_PDF/jnrae-2022-23-0195-Romanchuk.pdf (дата звернення: 16.03.2026).

Дата першого надходження статті до видання: 06.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026