

---

# ЕКОЛОГІЯ, ІХТІОЛОГІЯ ТА АКВАКУЛЬТУРА

---

## ECOLOGY, ICHTHYOLOGY AND AQUACULTURE

УДК 630\*283:504.5:628.4.047

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.138.49>

---

### ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА МІГРАЦІЇ <sup>137</sup>Cs ПО ТЕРИТОРІЇ ГОЛОСІЇВСЬКОГО ПАРКУ

---

**Бондар Ю.О.** – к.б.н., доцент,

завідувач кафедри екології та ландшафтного дизайну,

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»

**Пустова С.О.** – старший викладач кафедри екології та ландшафтного дизайну,

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»

**Діденко І.А.** – к.с-г.н.,

доцент кафедри екології та ландшафтного дизайну,

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»

**Марченко О.А.** – к.б.н.,

доцент кафедри екології та ландшафтного дизайну,

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»

У статті представлені результати досліджень з накопичення та міграції <sup>137</sup>Cs у різних компонентах паркових угруповань. Дослідження продемонстрували значну варіабельність у накопиченні радіонуклідів та показали, що перерозподіл <sup>137</sup>Cs суттєво залежить від різних абіотичних факторів, таких як склад ґрунту, вологість, рівень кислотності, а також біотичних умов, включаючи типи рослин і тварин, що мешкають в цих угрупованнях. Результати досліджень свідчать про складні механізми взаємодії радіонуклідів з біосферою, де кожен компонент екосистеми відіграє важливу роль у їх переміщенні та накопиченні.

Зокрема, було виявлено, що найбільший вміст <sup>137</sup>Cs нині спостерігається у грибах. Це свідчить про важливу роль грибів у процесах міграції радіонуклідів, адже через свої особливості вони здатні акумулювати радіоактивні елементи, підвищуючи тим самим їхню рухливість у біогеоценозі. Гриби виконують роль своєрідних «провідників», які допомагають радіонуклідам переміщуватися від одного компонента екосистеми до іншого, що суттєво впливає на загальний рівень забруднення.

Це, в свою чергу, призводить до того, що рослинні елементи біоценозів, такі як трави, чагарники, дерева, часто мають високий рівень питомої активності. Їхня здатність до накопичення радіонуклідів з ґрунту залежить не тільки від фізико-хімічних властивостей середовища, але й від їхньої взаємодії з іншими організмами, такими як гриби, які посилюють процеси біоаккумуляції. Таким чином, розуміння цих процесів є ключовим для розробки стратегій зниження радіоактивного забруднення природних угруповань.

Розширений аналіз показав, що ці процеси також залежать від сезонних змін, таких як коливання температури та кількість опадів, які можуть впливати на інтенсивність накопичення <sup>137</sup>Cs у різних частинах екосистеми. Це свідчить про необхідність постійного моніторингу екологічного стану паркових угруповань та впровадження ефективних заходів для запобігання подальшому поширенню радіонуклідів у природних системах.

**Ключові слова:** рослини, аварія на Чорнобильській АЕС, рівень активності, міграція, цезій-137.

---

**Bondar Yu.O., Pustova S.O., Didenko I.A., Marchenko O.A. Ecological assessment of  $^{137}\text{Cs}$  migration in the territory of Holosiivskiy Park**

The article presents the results of studies on the accumulation and migration of  $^{137}\text{Cs}$  in various components of park ecosystems. The research demonstrated significant variability in radionuclide accumulation and showed that the redistribution of  $^{137}\text{Cs}$  is highly dependent on various abiotic factors, such as soil composition, moisture, and acidity levels, as well as biotic conditions, including the types of plants and animals inhabiting these ecosystems. The study results indicate complex mechanisms of radionuclide interaction with the biosphere, where each component of the ecosystem plays an important role in their movement and accumulation.

In particular, it was found that the highest content of  $^{137}\text{Cs}$  is currently observed in fungi. This highlights the important role of fungi in radionuclide migration processes, as they can accumulate radioactive elements, thereby increasing their mobility within the biogeocenosis. Fungi act as a kind of «conduit» that helps radionuclides move from one component of the ecosystem to another, significantly impacting the overall level of contamination.

This, in turn, leads to the fact that plant elements of the biocenoses, such as grasses, shrubs, and trees, often exhibit high levels of specific activity. Their ability to accumulate radionuclides from the soil depends not only on the physicochemical properties of the environment but also on their interaction with other organisms, such as fungi, which enhance bioaccumulation processes. Thus, understanding these processes is key to developing strategies to reduce radioactive contamination in natural ecosystems.

Extended analysis has shown that these processes are also influenced by seasonal changes, such as temperature fluctuations and precipitation levels, which can affect the intensity of  $^{137}\text{Cs}$  accumulation in different parts of the ecosystem. This underscores the need for continuous monitoring of the ecological state of park ecosystems and the implementation of effective measures to prevent further radionuclide spread in natural systems.

**Key words:** plants, accident at the Chernobyl nuclear power plant, activity level, migration, caesium-137.

**Постановка проблеми.** Біогеографія лісів і парків забезпечує високий рівень екологічного та соціально-економічного збалансованого розвитку компонентів навколишнього середовища. Наприклад, лісові екосистеми захищають природні ресурси, створюють умови для збереження біорізноманіття та захищають території від повеней, пожеж та зсувів. Ліси є джерелом виробництва первинної і вторинної продукції. У зв'язку з цим особлива роль відводиться створенню системи моніторингу стану лісових екосистем, зокрема радіоактивного забруднення регіонів [1, с. 88–94].

Відмінною особливістю лісових угруповань Київської області є наявність радіоактивно забруднених територій [2, с. 94–99].

Під час аварійних випадків на підприємствах ядерно-переробного циклу, атомних електростанціях або радіохімічних виробництвах, відбувається істотне забруднення довкілля, наслідки якого співставні з катастрофою [3, с. 76–81]. Наймасштабнішою радіаційною аварією в історії людства була Чорнобильська катастрофа, внаслідок якої по території України розпорошилася велика кількість радіоактивних ізотопів, довгоживучі форми яких ще тривалий час будуть створювати небезпеку для здоров'я людини і навколишнього середовища. Насамперед, це стосується  $^{137}\text{Cs}$ , який має високу міграційну здатність.

Ліси відіграють величезну роль у перерозподілі та фіксації радіоактивних ізотопів у довкіллі. Лісові екосистеми виступають як глобальний міграційний показник. Кругообіг радіонуклідів відбувається за рахунок того, що накопичуючись на кронах деревних рослин, під дією атмосферної вологи і через сезонне опадання листя вони надходять у лісову підстилку і втягуються в основні біогеохімічні процеси [4, с. 121–126]. Саме через це особливе значення має виявлення закономірностей перерозподілу радіоактивних ізотопів різними елементами екосистеми.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Японські дослідники [5, с. 34–44], вивчаючи перерозподіл  $^{137}\text{Cs}$  у кедрових лісах, постраждалих через аварію на АЕС «Фукусіма-1» (Японія, 2011), виявили, що у 2014–2016 рр. кількість радіонукліду у надземній частині лісу залишалася незмінною, проте у підстилці радіоактивне забруднення за цей час значно зменшилося (від  $20 \pm 11\%$  у 2014 р. до  $4,6 \pm 2,7$  у 2016 р.). Зменшення вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у підстилці відбулося через його міграцію у ґрунт та накопичення свіжого менш забрудненого опалого листя. Провівши дослідження автори дійшли висновку, що  $^{137}\text{Cs}$  плавно наближається до врівноваженого стану зі своєю стабільною формою у надземній біомасі.

Базове радіаційне обстеження лісів України було проведено ще у 1991–1992 рр., однак його результати досі вважають актуальними. Дослідження показали, що на території площею 1,23 млн га щільність забруднення лісів  $^{137}\text{Cs}$  перевищувала  $37 \text{ kBк/м}^2$ , у Житомирській області частка таких територій становила 60%, у Рівненській – 56%, у Київській – 52% від загальної площі їх лісового фонду [6, с. 21–29].

Плямистість радіоактивного забруднення лісів Полісся України [7, с. 103–109], що було характерною ознакою наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, як у перші роки так і через 28 років спостерігалось при проведенні досліджень на різних територіях. Щільність забруднення складала від 0,61 до  $3,7 \text{ Ки/км}^2$ , що вказувало на величину варіювання рівня радіонуклідного забруднення ґрунту у лісових екосистемах близько 50%. Виявлено значне зменшення кількості радіонуклідів у лісах, що дозволяє проводити реабілітацію та різні види лісокористування.

Дослідженням проблем стану та реабілітації лісів, забруднених внаслідок аварії на ЧАЕС, займалися багато вчених у різні роки [8, с. 251–257; 9, с. 84–86; 10, с. 80–87; 11, с. 11–46].

Через понад 30 років від аварії на Чорнобильській АЕС науковці спостерігають зміни стану радіоактивно забруднених територій, зокрема зниження гамма-фону і рівня сумарної щільності забруднення радіонуклідами лісів [12, с. 109–116].

**Постановка завдання.** Завданням наших досліджень було визначення рівня радіоактивного забруднення Голосіївського парку для безпечного його використання як рекреаційної зони та споживання лісової продукції.

**Матеріали та методи досліджень.** Дослідження по визначенню радіоактивного забруднення Голосіївського лісу проводилися в 2023 році. Голосіївський ліс – це лісовий дубово-грабовий масив, розташований у південній частині міста Києва, у Голосіївському районі. Розміщений на лесових відрогам Київського плато Голосіївський ліс до наших часів зберіг значне флористичне розмаїття. Крім дуба (*Quercus* L.) і граба (*Carpinus* L.) тут росте чимало інших широколистяних дерев та кущів, таких як липа (*Tilia* L.), клен (*Acer* L.), бук (*Fagus* L.), черешня (*Prunus avium*), бруслина (*Euonymus* L.) і навіть колюча гледичія (*Gleditsia triacanthos*). Навесні схили пагорбів щільно вкриває різнокольоровий ряс (*Corydalis* DC.), анемона (*Anemone* L.), підбіл звичайний (*Tussilago farfara* L.). Трапляються і деякі червонокнижні рослини: підсніжник звичайний (*Galanthus nivalis*), гніздівка звичайна (*Neottia nidus-avis*), лілія лісова (*Lilium martagon*), коручка чемерникова (*Epipactis helleborine*), водяний горіх плаваючий (*Trapa natans* L.) та черемша (*Allium ursinum*) [13, с. 201–208].

Дослідження з вивчення динаміки перерозподілу  $^{137}\text{Cs}$  у лісових екосистемах проводили у два етапи: перший – польовий (відбір зразків, вимірювання радіаційного фону), другий – лабораторний (радіометричне визначення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$ ).

Було проведено відбір зразків грибів, лісової підстилки, рослинності, донних відкладів та ґрунту в різних частинах Голосіївського лісу, на деяких ділянках додатково відбирали ще й кору дерева. Ділянки для відбору зразків обиралися з розрахунку на те, щоб дослідити вміст радіоактивного ізотопу цезію в різних компонентах ландшафту (пагорби, схили, урочища, озера). Паралельно в точках відбору зразків проводили вимірювання радіаційного фону.

Відбір зразків проводився за стандартною методикою (Наказ № 446 від 11.08.2008 р.) у місцях, де було виявлено різноманітний рослинний покрив або плодові тіла грибів. На площі лісової екосистеми 1 м<sup>2</sup> відбирали проби ґрунту під міцелієм або рослинним корінням методом «конверта» з глибини 10 см, лісову підстилку та рослинність [14]. Плодові тіла грибів зустрічалися зрідка, тому їх збирали не залежно від дослідних точок та сформували з них загальний сумарний зразок для висушування та наступного вимірювання. Проби донних відкладів були відібрані в озері, яке не має власної назви і територіально розміщене найближче до четвертого корпусу Національного університету біоресурсів і природокористування України. Причиною дослідження саме цього озера було значне погіршення його екологічного стану за останні роки. Після попереднього очищення, висушування та просіювання питома активність <sup>137</sup>Cs у лісовій підстилці, рослинності, грибах і ґрунтових зразках вимірювали на бета-радіометрі РУБ-01П6 [15, с. 46–54]. Радіаційний фон у місцях відбору проб визначався радіометром-дозиметром гамма- і бета-випромінювань РКС-01 «Стора».

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Кількість радіоактивно забруднених лісових масивів Житомирщини, Рівненщини та Київщини зі щільністю забруднення понад 0,6 Кі/км<sup>2</sup> становить 50%. Загалом, на території 38,6% лісів України рівень забруднення ґрунтів відповідає рівню більше ніж 0,6 Кі/км<sup>2</sup>, що на 21,8% менше, ніж на Житомирщині, на 13,7 – ніж на Рівненщині і на 12,8% – ніж на Київщині. Згідно з результатами радіаційного забруднення лісів Полісся у 2010 році було визначено, що лісові екосистеми Київщини найменш забруднені радіонуклідами цезію, а найбільша частка забруднення припадає на території зі щільністю забруднення від 1,1–2,0 Кі/км<sup>2</sup> [1, с. 88–94].

Найбільш радіоактивно забрудненим компонентом лісового біогеоценозу Голосіївського парку виявилися шапкові гриби, питома активність <sup>137</sup>Cs у середній пробі відібраних зразків була визначена на рівні 2800 Бк/кг, що перевищує допустимий рівень (ДР – 2500 Бк/кг).

Найменш забрудненою біологічною ланкою Голосіївського парку виявилась лісова підстилка, рівні питомої активності знаходилися в межах від 4,6 до 81,7 Бк/кг і на порядок перевищувала цей показник для ґрунтових зразків. Це свідчить про те, що переважна кількість <sup>137</sup>Cs на території Голосіївського парку міститься у верхніх шарах ґрунту (питома активність <sup>137</sup>Cs у відібраних ґрунтових зразках коливалась від 142,3 до 178,5 Бк/кг), в яких майже відсутні корені деревних рослин (табл. 1). Основну масу лісової підстилки складає деревний опад, щорічні надходження якого незначні, тому і радіонукліди накопичені деревами тривалий час не приймають участь у міграційному процесі, тобто не переходять до лісової підстилки. Результати вимірювання зразків кори деревних рослин підтверджують ці висновки, тому що питома активність <sup>137</sup>Cs в них перевищувала даний показник для підстилки у декілька разів.

Вміст радіонуклідів Cs у трав'янистій та кушовій рослинності Голосіївського парку у переважній більшості випадків перебував у тих же діапазонах, що і зазначений показник для ґрунтових зразків, а саме від 1,3 Бк/кг до 245,0 Бк/кг. Проте

окремі випадки свідчать про те, що при досить великій питомій активності  $^{137}\text{Cs}$  в кореневмісному шарі ґрунту, рослинні зразки можуть містити значно меншу кількість радіоактивних речовин. Це можна пояснити видовими особливостями міграції радіонуклідів харчовими ланцюгами. Рослинний покрив на території парку досить різноманітний і залежить від особливостей рельєфу.

Таблиця 1

**Радіаційний фон і питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у грибах, підстилці та ґрунтових зразках**

№ проби, назва	Вид проби	Фон, мкЗв/год	A, Бк/кг
1. Пагорб	ґрунт	0,11	177,6
	підстилка		23,0
	рослини		245,0
2. Схил	ґрунт	0,12	178,5
	підстилка		29,1
	рослини		40,0
3. Підніжжя схилу	ґрунт	0,13	145,5
	підстилка		20,5
	рослини		180,3
	кора		33,7
4. Біля озера	ґрунт	0,08	158,4
	підстилка		4,6
	рослини		1,3
5. Улоговина	ґрунт	0,15	142,3
	підстилка		81,7
	рослини		87,8
	кора		82,5
6. Гриби		0,12	2800
7. Мул		0,07	67,2

Предметом наших досліджень також було виявлення радіоактивного забруднення донних відкладень одного із озер Голосіївського парку, яке найближче розташовується до території відбору проб та є улюбленим місцем відпочинку відвідувачів парку. Донні відклади є сховищем, а в подальшому, і ланкою міграційного ланцюга забруднюючих речовин, які потрапляють у водойми. Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у мулі складала 67,2 Бк/кг (рис. 1). Досліджуване озеро періодично зазнає забруднення комунальними стоками, проте робити висновок, що радіонукліди потрапили до водойми даним шляхом недоцільно. Причиною наявності  $^{137}\text{Cs}$  у донних відкладах озера ми вважаємо аварію на Чорнобильській АЕС, яка відбулася 26 квітня 1986 року.

Найменша кількість радіоактивного цезію була виявлена у пробах рослин зібраних біля озера (1,3 Бк/кг), а найвищий рівень був визначений у рослинних зразках з пагорба (245 Бк/кг) та підніжжя схилу (180,3 Бк/кг). На переважній більшості точок відбору проб рівень радіоактивного забруднення рослинності та ґрунту корелював. Проте винятки вказують на те, що питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у рослинних зразках залежить ще й відові особливості.

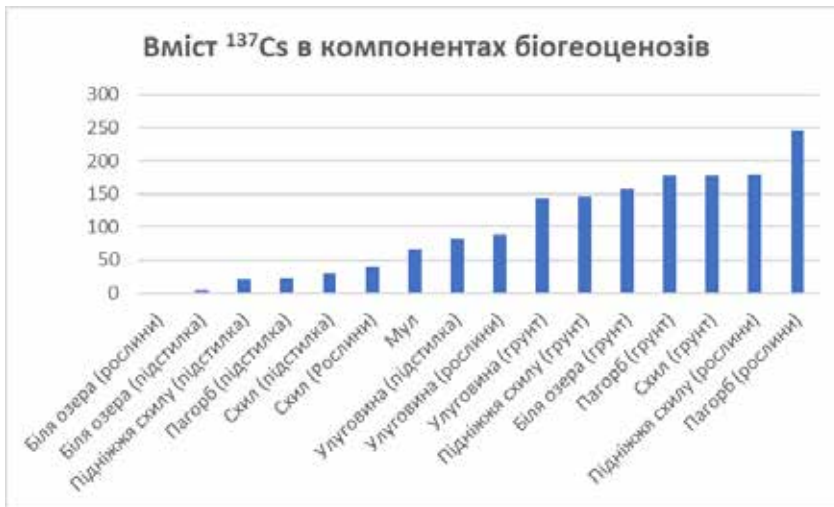


Рис. 1. Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у міграційних ланках Голосіївського парку

**Висновки і пропозиції.** За минулі 38 років після аварії на Чорнобильській АЕС  $^{137}\text{Cs}$  значно «постарішав», тобто утворив міцні зв'язки з ґрунтом. Проте результати досліджень свідчать, що даний радіонуклід знову почав мігрувати між компонентами біогеоценозу. Провідну роль у цьому процесі відіграють шапкові гриби, які в результаті своєї життєдіяльності вивільняють  $^{137}\text{Cs}$ , збільшуючи його біологічну доступність. Підтвердженням цього є рівень питомої активності радіонукліда у досліджуваних зразках грибів, яка перевищує допустимий рівень. Незважаючи на свою невелику частку, гриби відіграють важливу роль у перерозподілі радіонуклідів у лісових екосистемах. Їх роль також обумовлена тим фактом, що відмерлі плодові тіла є джерелом живлення для інших організмів, а разом із поживними речовинами відбувається і міграція  $^{137}\text{Cs}$  лісовими екосистемами.

Голосіївський парк розміщений на території міста Києва і є популярним місцем відпочинку, а також безконтрольного збирання грибів та ягід. Якщо динаміка збільшення доступності  $^{137}\text{Cs}$  продовжиться, то це може призвести до потрапляння цього радіонукліду до організму людей з подальшим збільшенням рівня захворюваності населення Києва.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Мартинчук І.В. Сучасний стан забруднення радіонуклідами лісових екосистем України. *Збалансоване природокористування*. 2014. № 2. С. 88–94.
2. Замула Х.П. Аналіз фінансово-економічного стану лісогосподарських підприємств з радіоактивно забрудненими територіями. *Збалансоване природокористування*. 2014. № 2. С. 94–99.
3. Вишневський Д.А. Радіоекологічний моніторинг лісів у ситуації великої радіаційної аварії. Київ, 2015. 114 с.
4. Трохимчук І.М. Лісорозведення на радіаційно забрудненій території. *Вісник Черкаського університету*. 2015. № 19. С. 121–126.
5. V. Yoschenko, T. Takase, T. Hinton et al. Radioactive and stable cesium isotope distributions and dynamics in Japanese cedar forests. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2015. Vol. 186. P. 34–44.

6. Бар'яхтар В.Г., Алексєнко І.Р. та ін. Чорнобиль: зона відчуження: Збірник наукових праць. Київ, 2001. 548 с.
7. Краснов В.П. Проблеми реабілітації лісів Полісся України, забруднених радіонуклідами. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.2. С. 103–109.
8. Краснов В.П., Курбет Т.В., Давидова І.В., Суховерхівка С.В. Дієвість радіо-екологічного контролю продукції лісового господарства у Поліссі України у віддалений з часу аварії на ЧАЕС період. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. Вип. 26.3. С. 251–257.
9. Фурдичко О.І., Кучма М.Д., Возняк Р.Р. та ін. Рекомендації з ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення територій. Київ. 2008. 106 с.
10. Ландін В.П. Емпіричні засади методології реабілітації радіоактивно забруднених лісових земель. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013, Вип. 23.10. С. 80–87.
11. Кашпаров В.О. Формування і динаміка радіоактивного забруднення навколишнього середовища під час аварії на Чорнобильській АЕС та в післяаварійний період. Чорнобиль. Зона відчуження. Київ. 2011. С. 11–46.
12. Фітисов А.М. Лісокористування на територіях районів Житомирської області, постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС. *Економіка АПК*. 2019. № 8. С. 109–116.
13. Мельничук Д.О. та ін. Екологія Голосіївського лісу. Монографія. Київ, 2007. 336 с.
14. Наказ «Про затвердження Методичних вказівок «Про відбір проб, первинна обробка та визначення вмісту  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  в харчових продуктах» від 11 серпня 2008 року. № 446.
15. Гайченко В.А., Гудков І.М., Кашпаров В.О. та ін. Практикум з радіобіології та радіоекології. Херсон, 2014. 278 с.