

## ОСОБЛИВОСТІ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ *POPULUS TREMULA* L. У ВОЛОГИХ СУГРУДАХ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

В.П. Краснов<sup>1,2</sup>, О.В. Жуковський<sup>2,3</sup>, О.О. Орлов<sup>3,4</sup>, В.В. Мельник-Шамрай<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Державний університет «Житомирська політехніка» (м. Житомир, Україна)  
e-mail: volodkrashnov@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1779-9544  
e-mail: org\_vvm@ztu.edu.ua; ORCID: 0000-0002-3551-5085

<sup>2</sup> Малинський фаховий коледж (с. Гамарня, Житомирська обл., Україна)

<sup>3</sup> Поліський філіал Українського науково-дослідного інституту лісового господарства і лісомеліорації імені Г.М. Висоцького (с. Довжик, Житомирська обл., Україна)  
e-mail: zh\_oleh2183@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3351-9856

<sup>4</sup> ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» (м. Київ, Україна)  
e-mail: orlov.botany@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2923-5324

Осика належить до основних лісоутворювальних деревних порід Полісся України. Частіше вона входить до складу насаджень багатьох інших деревних порід, і значно менше зустрічаються такі насадження, у складі яких вона переважає. Європейські дослідники відносять осика до ключових видів у лісах бореальної зони, оскільки вона робить значний внесок у підвищення стійкості лісових насаджень, а також у поліпшення та збереження біологічного різноманіття лісових екосистем. Окрім того, деревина осики широко використовується у різних галузях народного господарства і має певний попит на світовому ринку деревини. Водночас ця деревна порода недостатньо вивчена, з огляду на її біологічні та екологічні особливості, особливо враховуючи її можливе радіоактивне забруднення, яке відбулося внаслідок аварії на ЧАЕС. Встановлено, що продовжується інтенсивне надходження <sup>137</sup>Cs до осики через 37 років з часу потрапляння радіонуклідів до лісових екосистем. На це вказують отримані матеріали про величину питомої активності <sup>137</sup>Cs у тканинах та органах осики: максимальні значення виявлені у внутрішній частині кори від 3900 до 7513 Бк·кг<sup>-1</sup> (залежно від висоти відбору зразків), а мінімальні — у деревині без кори від 364 до 490 Бк·кг<sup>-1</sup>. Дослідження дали можливість розмістити органи та тканини осики у ряд за величиною питомої активності <sup>137</sup>Cs в них: пагони однорічні → пагони дворічні → гілки тонкі → листки → гілки товсті. Інтенсивність надходження радіонукліду до осики підтверджується значними величинами коефіцієнтів переходу, визначення яких дало змогу розмістити тканини та органи деревної породи у ряд: пагони однорічні → пагони дворічні → кора (внутрішня частина) → гілки тонкі → кора (зовнішня частина) → гілки товсті → листки → деревина. Показано, що необхідний диференційований підхід до відводу площ для заготівлі деревини осики, оскільки її радіоактивне забруднення може перевищувати допустимі рівні для певного виду застосування. Під час використання деревини для виготовлення пиломатеріалів необрізних заготівля можлива за щільності радіоактивного забруднення ґрунту нижче 373,13 кБк·м<sup>-2</sup>, а дров паливних та паливних пучків — до 223,88 кБк·м<sup>-2</sup>.

**Ключові слова:** осика, стовбур, крона, органи, тканини, радіонуклід, питома активність, коефіцієнт переходу, тип лісорослинних умов.

### ВСТУП

Лісові масиви Полісся України зазнали значного радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Діапазони цього забруднення, за межами

30-км зони ЧАЕС, коливалися від мінімальних до величин, які вимагали припинення лісогосподарської діяльності, а також використання численних компонентів лісових екосистем, котрі заготовлялися лісогосподарськими підприємствами та місцевими жителями регіону. З часом

науковці встановили особливості накопичення основних дозоутворювальних радіонуклідів —  $^{137}\text{Cs}$  і дещо меншою мірою  $^{90}\text{Sr}$  найбільш поширеними у лісах Полісся рослинами трав'яно-чагарничкового ярусу, особливо тих, які віднесено до їстівних ягідних і лікарських видів, а також їстівних грибів. Результати цих досліджень дали змогу нормувати заготівлю відмічених видів залежно від щільності радіоактивного забруднення ґрунту на лісотипологічній основі.

У регіоні також проведено дослідження щодо особливостей радіоактивного забруднення деревних порід. Найбільш повно та систематично вивчалися особливості накопичення радіонуклідів сосною звичайною: встановлювався їх вміст у різних частинах і органах у різні періоди з часу аварії на ЧАЕС, виявлявся розподіл радіоактивних елементів у стовбурі залежно від його висоти і по діаметру. Дані дослідження здійснено у різних типах лісорослинних умов в межах екологічного ареалу цього виду. Надання особливої уваги цій деревній породі пояснюється тим, що основу лісів Полісся України складають саме соснові насадження. Дослідження щодо встановлення особливостей радіоактивного забруднення інших основних лісоутворювальних деревних порід були малочисельними та спорадичними.

**Мета статті** — визначення особливостей радіоактивного забруднення тканин та органів осики у вологих сугрудах лісів Житомирського Полісся.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Осика (*Populus tremula* L. (= *P. davidiana* (Dode) Schneid.) належить до досить поширених деревних порід України, але насаджень із переважанням цієї деревної породи, у їх складі, мало. За матеріалами Н.Ю. Висоцької та О.В. Кобця (2019), які використовували повидільну базу даних ВО «Укрдержліспроєкт» станом на 1 січня 2011 р., площа насаджень із домінування у їх складі осики, сягає 34300 га [1]. Значно частіше осика зустрічається у складі

лісових насаджень інших деревних порід (хвойних і листяних). Саме завдяки цьому європейські дослідники (С. Ківінен та ін., 2020) називають осика ключовим видом у багатьох лісових екосистемах і видом ранньої сукцесії в бореальних лісах [2]. Вони вважають, що ця деревна порода робить значний внесок у підвищення їх стійкості та збереження біологічного різноманіття бореальних лісових ландшафтів оскільки є важливим місцем проживання багатьох видів. Так, на стовбурі та гілках поширені епіфітні мохи та лишайники, патогени, трав'ядні безхребетні, ссавці (білки) та птахи (дятли та сови). Крім того, деякі гніздові птахи (види синиць, мухоловок, сов, качок), залежать від дупел, часто зустрічаються на стовбурах осики [3]. Дослідники В. Гелюта, Г. Курило та ін. [4; 5] відмічають, що осиковий опад використовується бактеріями, грибами та деякими тваринами (моллюсками), а мертві та гниючі стовбури осик забезпечують придатне середовище існування для безлічі сапроксильних видів, зокрема грибів. Біологічне значення осики для збереження біорізноманіття підтверджується ще й тим, що деякі види, що пов'язані з існуванням мертвих осик, занесені до Червоної книги України [4; 5]. Дослідники також зазначають, що площі осичників, а також участь деревної породи у складі лісових екосистем у європейських країнах зменшується [6; 7].

За даними Н.Ю. Висоцької та О.В. Кобця [8], 79% осичників ростуть у досить багатих типах лісорослинних умов — свіжих і вологих сугрудах та грудях. Утім, насадження з переважанням у складі осики на Поліссі України зустрічаються у багатьох типах лісорослинних умов: від борів до грудів; від свіжих гіпротопів до мокрих. Лісівники відносять осика до деревних порід середньої вибагливості до ґрунтових умов. Частіше вона зустрічається на свіжих і вологих відносно бідних дерново-підзолистих супіщаних і суглинних ґрунтах, і значно рідше на перезволожених. А.Х. Ахкамі [9] відмічає, що коренева система осики поверхнева і поширюється на великі відстані від стовбура (до 25–30 м). Найбільші пло-

щі осичників у цьому регіоні трапляються у вологих сугрудах — 5902,7 га (36,9%), у яких вони ростуть за I класом бонітету.

З часу надходження радіоактивних елементів до лісових екосистем внаслідок аварії на ЧАЕС у лісах Полісся України проведено численні дослідження щодо встановлення інтенсивності їх надходження до деревних порід. Дослідники вивчали особливості міграції переважно  $^{137}\text{Cs}$  до головної деревної породи регіону — сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) і значно рідше до інших лісоутворювальних деревних порід — дуба звичайного (*Quercus robur* L.), берези повислої (*Betula pendula* Roth.), вільхи чорної (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.), осики (*Populus tremula* L.). З огляду на це, дослідження концентрувалися у різних гігروتопах борів і суборів, які є найбільш поширені на Поліссі України і у яких сосна звичайна домінує. Подібні дослідження проведено, передусім, у перші 10–20 років з часу аварії на ЧАЕС. У подальші роки кількість публікацій на цю тему значно скоротилася, а за останні 5–10 років у літературних джерелах зустрічаються поодинокі публікації, які стосуються особливостей радіоактивного забруднення деревних порід або міграції  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунтах тих лісорослинних умов, у яких раніше проводилися дослідження.

Результати отримані В.В. Мельник-Шамрай та ін. [10] після вивчення рівнів радіоактивного забруднення тканин і органів дуба звичайного у вологих сугрудах. Вони виявили, що максимальні значення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  були у зовнішній (1570–3840 Бк·кг<sup>-1</sup>, залежно від висоти) та внутрішній (1723–3216 Бк·кг<sup>-1</sup>) частинах кори на всіх висотах стовбура дуба звичайного. Водночас величина цього показника була вищою у зовнішній частині у верхній частині стовбура. Найменша питома активність радіонукліду була у деревині (415–2004 Бк·кг<sup>-1</sup>). Науковці встановили також величини коефіцієнтів переходу  $^{137}\text{Cs}$  до тканин та органів із крони дуба звичайного і розмістили їх у ряд у порядку зменшення показника: пагони однорічні → листки → пагони дворічні → гілки тонкі →

гілки товсті. Вони також підкреслили, що заготовлю деревини дуба звичайного потрібно уважно здійснювати з урахуванням радіаційного чинника, враховуючи можливість її використання для різних цілей. Так, застосування деревини для виробництва пиловника можливе на площах, щільність радіоактивного забруднення ґрунту яких не перевищує 429,80 кБк·м<sup>-2</sup>, а паливних дров — до 171,92 кБк·м<sup>-2</sup>.

Специфічні дослідження проведені О.В. Жуковським зі співавт. [11] щодо вивчення екологічних умов росту вільхи чорної та особливостей міграції  $^{137}\text{Cs}$  до її тканин та органів у різних умовах росту. Встановлено основні типи лісорослинних умов, у складі яких переважає вільха чорна і виявлено, що спостерігається збільшення коефіцієнта переходу від вологих до мокрих сугрудів: у листках — від 0,5 до 5,2 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>·10<sup>-3</sup>; у пагонах однорічних — від 1,7 до 8,3 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>·10<sup>-3</sup>; у пагонах дворічних — від 1,0 до 4,9 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>·10<sup>-3</sup>; у гілках тонких — від 0,7 до 3,9 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>·10<sup>-3</sup>; у гілках товстих — від 0,5 до 2,9 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>·10<sup>-3</sup>; у супліддях — від 2,1 до 10,2 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>·10<sup>-3</sup> та у суцвіттях чоловічих — від 2,5 до 14,1 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>·10<sup>-3</sup>.

У Чорнобильській зоні відчуження Д. Голяка та ін. [12], вивчали концентрацію та радіальний розподіл  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у стовбурах сосни звичайної та берези повислої. Дослідники зафіксували, що найбільші значення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у сосни звичайної (зразки відбиралися на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту) були у зовнішніх річних кільцях деревини. З подальшим заглибленням до центру стовбура відбувалось зменшення цього показника у деревині з мінімальними значеннями у центрі. Також проведено моделювання впливу радіації на видовий склад насаджень та ріст, розвиток і деформацію дерев сосни звичайної й берези повислої [13].

Н. Турфан зі співавт. [14] досліджували присутність окремих ізотопів у шести листяних та хвойних деревних видів. Вони встановили, що у листках тополі чорної (*Populus nigra* L.) міститься найбільша кон-

центрація  $^{137}\text{Cs}$ , порівняно з іншими видами. Це пояснювалося швидкорослістю цього деревного виду. Відомо, що осика належить до роду *Populus* і також є швидкорослим деревним видом. Дослідження у контрольованих лабораторних умовах (Й. Нода та ін., 2019) та міському середовищі (А. Мехшанова та ін., 2026), підтверджують значну концентрацію  $^{137}\text{Cs}$  у листках осики, тополі білої (*Populus alba* L.) та тополі китайської (*Populus simonii* Carrière) [15; 16].

Після аварії на атомній станції Фукусіма в 2011 р. в Японії були виконані різноманітні дослідження щодо особливостей радіоактивного забруднення деревних порід. Так, Т. Манака, Т. Кензо та ін. [17; 18] визначали рухливість  $^{137}\text{Cs}$  у різних тканинах та органах криптомерії японської (*Cryptomeria japonica* (L. f.) D. Don), сосни червоної (*Pinus tabuliformis* Carrière) та дуба пилчастого (*Quercus serrata* Murray) в 2014 і 2021–2022 рр. Вони зробили узагальнення, що частка вилуженої активності  $^{137}\text{Cs}$  в органах і тканинах, які вивчалися була значно більшою у дуба пилчастого порівняно з криптомерією японською та сосною червоною. Міжнародна група на чолі з В. Йошечком [19] досліджували динаміку вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у деяких хвойних деревних породах — криптомерії японської, сосни густоцвітої (*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.), кипарисовика туполистого (*Chamaecyparis obtusa* (Siebold & Zucc.) Endl.). Науковці навели дані про зменшення вмісту радіонукліду у гілках, зовнішній частині кори та старій хвої в 4–20 разів. Схожі дані отримали й інші науковці Японії, зокрема С. Охаші, К. Ясукава та ін. [20; 21] після вивчення протягом 10 років динаміки питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у корі та деревині криптомерії японської, сосни густоквіткової, кипарисовика туполистого, шовковиці білої (*Morus alba* L.), каштана посівного (*Castanea sativa* Mill.), літокарпуса звичайного (*Lithocarpus edulis* (Makino) Nakai), вишні пильчастої (*Prunus serrulata* var. *spontanea*), хурми звичайної (*Diospyros lotus* L.) та дуба пилчастого у зоні впливу аварії на АЕС Фукусіма.

Проведений пошук літературних джерел дає можливість зробити певні узагальнення: спостерігається зменшення наукових досліджень, які торкаються визначення особливостей радіоактивного забруднення деревних порід із часу аварії на ЧАЕС; в останнє десятиліття відсутні публікації щодо особливостей міграції  $^{137}\text{Cs}$  до осики. **Об'єкт досліджень** — лісові насадження осики, що зростають на територіях забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Особливості радіоактивного забруднення осики вивчали на пробній площі № 34 у вологому сугруді в 2023 р. Пробна площа розміщена у ДП «Ліси України» філії «Столичний лісовий офіс» Коростенському надлісництві, Бовсунівському лісництві, № квартала 34, № виділу 19. Склад деревостану — 5Бп2Влч1Дз1Сз1Ос, вік — 73 роки, клас бонітету — I, тип лісу — СЗГДС, повнота — 0,65, запас —  $270 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$  [22]. Ґрунт — дерново-середньопідзолистий, поверхнево оторфований, супіщаний на водно-льодовикових відкладах. Фітоценоз — осиково-дубово-сосново-вільхово-березовий ліс малиново-ожиново-весняковий.

На пробній площі розміром 1,0 га ( $100 \times 100 \text{ м}$ ) проведено суцільний перелік дерев та визначено параметри середнього дерева [23]. Бензомоторною пилою звалювали 3 модельні дерева, у проєкції крони кожного відбирали 3 зразки ґрунту (на глибину 10 см, методом конверту). З нижньої, середньої та верхньої частин крони добирали зразки: листки, пагонів одно- і дворічних, гілок тонких (до 5 см) і товстих (понад 5 см). Із висотних діапазонів (окоренок,  $h_{1,3 \text{ м}}$ , 1/4Н, 1/2Н, 3/4Н та верхівка) сортували зразки тканин дерев: частини кори зовнішньої і внутрішньої з лубом, деревини з корою й без кори.

Усі відібрані зразки деревини висушували протягом 72 год за температури  $80^\circ\text{C}$  та гомогенізували на приладі ПРП-1. Визначення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  проводили на гамма-спектрометрі СЕГ-001

«АКП-С»-150 з сцинтиляційним детектором БДЕГ-20-Р2 з використанням еталонного посуду різного об'єму. Похибка вимірювання не перевищувала 15%. Для характеристики інтенсивності акумуляції  $^{137}\text{Cs}$  у тканинах та органах осики використано коефіцієнт переходу (КП). Цей показник розраховується як зіставлення питомої активності радіонукліду у конкретних тканинах або органах стовбура і крони осики ( $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ) до щільності забруднення ґрунту  $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ ). З огляду на це, він має загальноживану у радіоекології розмірність  $\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}\cdot 10^{-3}$  [24].

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Отримані результати свідчать (табл. 1), що у стовбурі осики найбільші значення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  властиві внутрішній частині кори від 3900 до 7513  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  (залежно від висоти відбору зразків), а мінімальні значення цього показника виявлено у деревині без кори від 364 до 490  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ .

Найбільше радіоактивне забруднення внутрішньої частини кори вказує на продовження інтенсивного надходження радіонукліду до дерев та накопичення його

Таблиця 1. **Питома активність та коефіцієнти переходу  $^{137}\text{Cs}$  до тканин і органів стовбура осики на різній висоті від поверхні ґрунту**

Місце відбору зразків по висоті стовбура	Тканини та органи	Радіологічні показники		
		Am, $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$	As, $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$	КП, $\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}\cdot 10^{-3}$
Окоренок	Кора (зовнішня частина)	3817 ± 32	471 ± 45,0	8,10 ± 0,68
	Кора (внутрішня частина)	7513 ± 574	471 ± 45,0	15,95 ± 0,91
	Деревина з корою	1179 ± 117	471 ± 45,0	2,50 ± 0,05
	Деревина без кори	490 ± 50	471 ± 45,0	1,04 ± 0,02
h 1,3 м	Кора (зовнішня частина)	5756 ± 884	471 ± 45,0	12,22 ± 0,52
	Кора (внутрішня частина)	7137 ± 1016	471 ± 45,0	15,15 ± 0,39
	Деревина з корою	1263 ± 134	471 ± 45,0	2,68 ± 0,03
	Деревина без кори	364 ± 39	471 ± 45,0	0,77 ± 0,18
1/4Н	Кора (зовнішня частина)	2560 ± 498	471 ± 45,0	5,43 ± 1,75
	Кора (внутрішня частина)	4278 ± 656	471 ± 45,0	9,08 ± 2,54
	Деревина з корою	808 ± 189	471 ± 45,0	1,72 ± 0,62
	Деревина без кори	411 ± 33	471 ± 45,0	0,87 ± 0,18
1/2Н	Кора (зовнішня частина)	2481 ± 149	471 ± 45,0	5,27 ± 0,97
	Кора (внутрішня частина)	3900 ± 85	471 ± 45,0	8,28 ± 1,19
	Деревина з корою	719 ± 94	471 ± 45,0	1,53 ± 0,39
	Деревина без кори	346 ± 57	471 ± 45,0	0,73 ± 0,21
3/4Н	Кора (зовнішня частина)	2508 ± 148	471 ± 45,0	5,32 ± 0,97
	Кора (внутрішня частина)	4146 ± 142	471 ± 45,0	8,80 ± 1,38
	Деревина з корою	706 ± 76	471 ± 45,0	1,50 ± 0,35
	Деревина без кори	491 ± 48	471 ± 45,0	1,04 ± 0,02
Верхівка	Кора (зовнішня частина)	3195 ± 355	471 ± 45,0	6,78 ± 0,05
	Кора (внутрішня частина)	3503 ± 82	471 ± 45,0	7,44 ± 1,08
	Деревина з корою	1241 ± 47	471 ± 45,0	2,63 ± 0,42
	Деревина без кори	472 ± 64	471 ± 45,0	1,00 ± 0,22

Примітки: Am – питома активність; As – щільність забруднення ґрунту  $^{137}\text{Cs}$ ; КП – коефіцієнт переходу  $^{137}\text{Cs}$ .

у внутрішніх шарах кори. На продовження інтенсивного надходження радіоактивного елементу до осики свідчать також значення його питомої активності в однорічних пагонах, які відібрано у різних частинах крони осики — від 4829 до 6232 Бк·кг<sup>-1</sup> (табл. 2). Дещо менші величини цього показника (від однорічних пагонів) у листках, ймовірно, пояснюється часом відбору зразків (осінь). Відомо, що наприкінці вегетаційного періоду відбувається відтік багатьох елементів живлення з листків. Загалом, матеріали демонструють, що найбільші рівні питомої активності спостерігаються у молодих тканинах і органах дерев — однорічних, пагонах, дворічних пагонах, листках та внутрішній частині кори.

Спостерігається поступове зменшення питомої активності <sup>137</sup>Cs у внутрішній частині кори з висотою. Так, значення цього показника у верхній частині стовбура у 1,9 раза менша, ніж біля окоренка. Динаміка величини цього показника по висоті у деревині без кори не має чіткої тенденції.

Зіставлення питомої активності <sup>137</sup>Cs в органах крони осики на всіх висотах їх відбору дає можливість їх розмістити у ранжований ряд: пагони однорічні → пагони дворічні → гілки тонкі → листки → гілки товсті.

Узагальнення величин коефіцієнтів переходу <sup>137</sup>Cs до тканин та органів осики, які вивчалися, дає можливість розмістити їх у порядку зменшення показника. Цей ряд має вигляд: пагони однорічні → пагони дворічні → кора (внутрішня частина) → гілки тонкі → кора (зовнішня частина) → гілки товсті → листки → деревина (рис. 1). Максимальне значення КП <sup>137</sup>Cs в осики було характерними для пагонів однорічних — 10,25 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>·10<sup>-3</sup>, а мінімальне — для деревини — 1,0 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>·10<sup>-3</sup>.

У лісозаготівельній практиці різні частини стовбура дерев використовуються з різною метою (виготовляють різні сортименти, дрова і т. д.). Отже, нормативи вмісту радіонукліду у продукції з деревини досить відрізняються один від одного (від 600 до 1500 Бк·кг<sup>-1</sup>). З огляду на це, важли-

Таблиця 2. Питома активність та коефіцієнти переходу <sup>137</sup>Cs до тканин і органів крони осики на різній висоті

Місце відбору зразків по висоті стовбура	Тканини та органи	Радіологічні показники		
		Am, Бк·кг <sup>-1</sup>	As, кБк·м <sup>-2</sup>	КП, м <sup>2</sup> ·кг <sup>-1</sup> ·10 <sup>-3</sup>
Нижня частина крони	Листки	2564 ± 117	471 ± 45,0	5,44 ± 0,92
	Пагони однорічні	4946 ± 227	471 ± 45,0	10,50 ± 1,77
	Пагони дворічні	4100 ± 56	471 ± 45,0	8,70 ± 0,93
	Гілки тонкі	3197 ± 89	471 ± 45,0	6,79 ± 1,02
	Гілки товсті	2419 ± 83	471 ± 45,0	5,14 ± 0,81
Середня частина крони	Листки	2599 ± 30	471 ± 45,0	5,52 ± 0,74
	Пагони однорічні	6232 ± 199	471 ± 45,0	13,23 ± 2,04
	Пагони дворічні	4161 ± 64	471 ± 45,0	8,83 ± 1,21
	Гілки тонкі	3412 ± 204	471 ± 45,0	7,24 ± 1,33
	Гілки товсті	2292 ± 78	471 ± 45,0	4,87 ± 0,76
Верхня частина крони	Листки	1821 ± 139	471 ± 45,0	3,87 ± 0,77
	Пагони однорічні	4829 ± 283	471 ± 45,0	10,25 ± 1,86
	Пагони дворічні	4191 ± 116	471 ± 45,0	8,90 ± 1,33
	Гілки тонкі	3230 ± 24	471 ± 45,0	6,86 ± 0,78
	Гілки товсті	2250 ± 88	471 ± 45,0	4,78 ± 0,77

Примітки: Am — питома активність; As — щільність забруднення ґрунту <sup>137</sup>Cs; КП — коефіцієнт переходу <sup>137</sup>Cs.



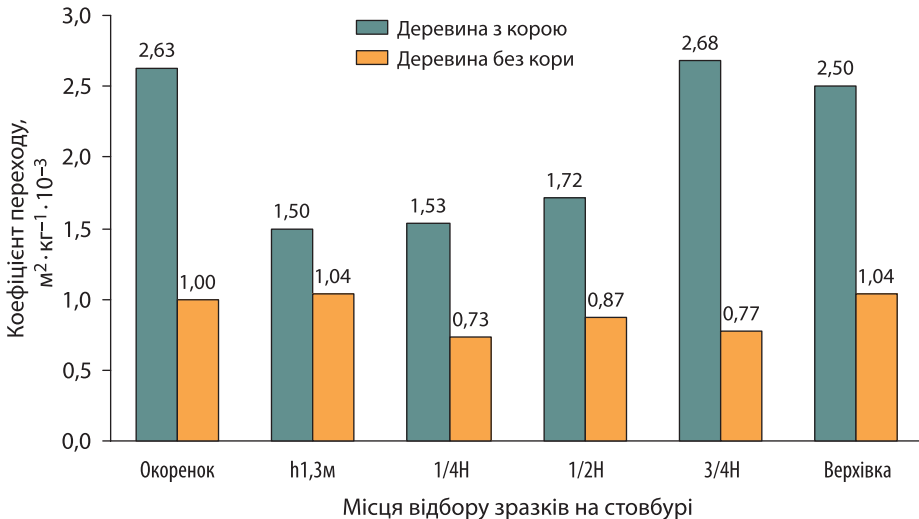
**Рис. 1.** Ранжований ряд органів і тканин осики за величиною коефіцієнта переходу  $^{137}\text{Cs}$  (верхня частина стовбура і крони)

вим моментом є визначення інтенсивності надходження  $^{137}\text{Cs}$  до деревини взятої на різній висоті стовбура (рис. 2).

Виявлено, що значення коефіцієнта переходу радіонуклідів у деревину осики з корою зменшувалася від верхівки до 3/4Н — від 2,63 до 1,5  $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$  відповідно, з наступним збільшенням значень від 1/2Н (1,53  $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ ) до висоти 1,3 м (2,68  $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ ). Зазначимо, що останнє значення перевищило таке для верхівки.

Для деревини осики без кори спостерігалася інша динаміка значень КП  $^{137}\text{Cs}$ : незначне збільшення цього показника від верхівки до 3/4Н — від 1,00 до 1,04  $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$  відповідно, з подальшим зменшенням до висоти 1,3 м (до 0,77  $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ ) та збільшенням в окоренку до максимального значення (1,04  $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ ).

Для практичного використання отриманих даних нами розраховано граничну щільність забруднення ґрунту  $^{137}\text{Cs}$  для



**Рис. 2.** Величина коефіцієнта переходу  $^{137}\text{Cs}$  у деревину з корою та деревину без кори осики на різній висоті стовбура

Таблиця 3. Гранична щільність забруднення ґрунту  $^{137}\text{Cs}$  для заготівлі деревини з осики у вологих сугрудах

Продукція лісового господарства	Граничний вміст $^{137}\text{Cs}$ , Бк·кг <sup>-1</sup>	Гранична щільність забруднення ґрунту $^{137}\text{Cs}$ для заготівлі деревини, кБк·м <sup>-2</sup>
<i>I. Лісоматеріали круглі</i>		
Пиловник неокорений	1500	555,00
Пиловник окорений	1000	555,00
Фансировина, сировина для виготовлення шпону	1000	—
Будівельний ліс для промислового будівництва і тимчасових споруд	1500	555,00
Баланси	1500	—
Деревина дров'яна для технологічних потреб	1500	555,00
<i>II. Лісоматеріали оброблені</i>		
Пиломатеріали необрізні	1000	373,13
Пиломатеріали обрізні	740	555,00
Брус	740	555,00
Паркет	740	—
Заготовки пиляні, зокрема для виробництва меблів	740	—
Заготовки пиляні для європіддонів	1500	555,00
Дошки тарні, брус тарний	1000	555,00
<i>III. Продукція культурно-побутового і господарського призначення</i>		
Дрова паливні, паливні пучки	600	223,88
Штахетник	1000	555,00
Сувенірна продукція	740	555,00
Продукція господарського і побутового призначення (черенки, кухонні дошки тощо)	740	555,00

можливої заготівлі деревини осики, радіоактивне забруднення якої б не перевищувало затверджені допустимі рівні у конкретному типі лісорослинних умов — вологих сугрудах (табл. 3). Відомо, що згідно з існуючим законодавством, ведення лісового господарства та лісозаготівлю дозволяється здійснювати на територіях, де щільність забруднення ґрунту  $^{137}\text{Cs}$  не перевищує 555 кБк·м<sup>-2</sup>. Отримані дані демонструють, що деревину осики можна використовувати на таких площах для виготовлення більшої кількості видів продукції, крім виробництва пиломатеріалів необрізних та дров паливних.

Пиломатеріали необрізні не можна виготовляти з деревини, яка заготовлена на площах щільність радіоактивного забруднення яких перевищує — 373,13 кБк·м<sup>-2</sup>,

а дрова паливних і паливні пучки — 223,88 кБк·м<sup>-2</sup>.

## ВИСНОВКИ

Через 37 років з часу надходження радіонуклідів до лісових екосистем унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС продовжується інтенсивне надходження  $^{137}\text{Cs}$  до деревних порід у вологих сугрудах. Це підтверджується значно більшим вмістом радіонукліду у тих тканинах і органах осики, які утворилися останніми роками — внутрішній частині кори, однорічних і дворічних пагонах. Максимальні величини коефіцієнтів переходу  $^{137}\text{Cs}$  встановлено для однорічних та дворічних пагонів, внутрішньої та зовнішньої частини кори, тонких гілок. Мінімальні величини коефіцієнта переходу радіонукліду виявлено для де-

ревини без кори. В процесі дослідження визначено, що необхідні обмеження щодо використання пиломатеріалів необрізних з осики у лісових масивах з щільністю радіоактивного забруднення вище —  $373,13 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ , а дров паливних та паливних пучків — понад  $223,88 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ . Відмін-

ності у заготівлі певної продукції з осики на площах із різною щільністю радіоактивного забруднення ґрунту пояснюються різними вимогами Гігієнічного нормативу питомої активності радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у деревині та продукції з деревини (ГНПАР-2005).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Висоцька, Н. Ю., & Кобець, О. В. (2019). Особливості росту та формування природних порослевих деревостанів осики європейської (*Populus tremula* L.). *Лісівництво і агролісомеліорація*, 134, 3–12. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.134.2019.3>.
2. Kivinen, S., Koivisto, E., Keski-Saari, S., Poikolainen, L., Tanhuanpää, T., Kuzmin, A., ... Kumpula, T. (2020). A keystone species, European aspen (*Populus tremula* L.), in boreal forests: Ecological role, knowledge needs and mapping using remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 462, article ID 118008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118008>.
3. Baroni, D., Korpimäki, E., Selonen, V., & Laaksonen, T. (2020). Tree cavity abundance and beyond: Nesting and food storing sites of the pygmy owl in managed boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 460, article ID 117818. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117818>.
4. Гелюта, В. П., Зикова, М. О., Гайова, В. П., Придюк, М. П., & Шевченко, М. В. (2022). Деякі зміни до списку видів грибів, включених до Червоної книги України. *Український ботанічний журнал*, 79(3), 154–68. DOI: <https://doi.org/10.15407/ukrbotj.79.03.154>.
5. Kuryło, G., Zaniewski, P. T., Bolibok, L., & Szczepkowski, A. (2024). Biodiversity of polypores inhabiting *Populus tremula* L. within regenerating stands of the Białowieża Primeval Forest (E Poland). *Acta Oecologica*, 124, article ID 104010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2024.104010>.
6. Toivonen, J., Kangas, A., Maltamo, M., Kukkonen, M., & Packalen, P. (2024). Mapping large European aspen (*Populus tremula* L.) in Finland using airborne lidar and image data. *Canadian Journal of Forest Research*, 54(7), 762–773. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2023-0271>.
7. Kusbach, A., Šebesta, J., Hruban, R., Peška, P., & Rogers, P. C. (2024). Eurasian aspen (*Populus tremula* L.): Central Europe's keystone species 'hiding in plain sight'. *PLoS ONE*, 19(3), article ID e0301109. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301109>.
8. Ткач, В. П., Висоцька, Н. Ю., & Кобець, О. В. (2019). Ріст і продуктивність порослевих осичників у свіжих і вологих ґрудах рівнинної частини України. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 135, 41–49. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.135.2019.41>.
9. Ahkami, A. H. (2023). Systems biology of root development in *Populus*: Review and perspectives. *Plant Science*, 335, article ID 111818. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2023.111818>.
10. Мельник-Шамрай, В. В., Орлов, О. О., Жуковський, О. В., Курбет, Т. В., Краснов, В. П., Іванюк, Р. О., & Весельський, О. О. (2024). Сучасне радіоактивне забруднення тканин і органів дуба звичайного у вологих сугрудах лісів Житомирського Полісся. *Екологічні науки*, 5(56), 144–152. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.22>.
11. Zhukovskiy, O. V., Krasnov, V. P., Patseva, I. G., & Ivanyuk, I. D. (2025). Contemporary patterns of radioactive contamination in black alder across different forest site conditions in the Polissia region of Ukraine. *Nuclear Physics and Atomic Energy*, 26(3), 242–248. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae2025.03.242>.
12. Holiaka, D., Yoschenko, V., Cherniaiev, O. R., Moskaliuk, A., Lesnik, O., Levchuk, S., ... Kashparov, V. (2023). Variability of activity concentrations and radial distributions of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in trunk wood of Scots pine and Silver birch. *Journal of Environmental Radioactivity*, 263, article ID 107186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107186>.
13. Мацала, М. С., & Білоус, А. М. (2021). *Природна динаміка лісів Чорнобильської зони відчуження (1986–2020)*. Житомир: Бук-Друк.
14. Turfan, N., Kurnaz, A., & Saryıldız, T. (2021). Effect of air pollution on element profile and radioactive compounds in six tree species. *Ağaç Ve Orman*, 2(2), 82–92. URL: <https://izlik.org/JA97KM35XJ>.
15. Noda, Y., Aohara, T., Satoh, S., & Furukawa, J. (2019). Application of the Artificial Annual Environmental Cycle and Dormancy-Induced Suppression of Cesium Uptake in Poplar. In T. Nakanishi, M. O'Brien, & K. Tanoi (Eds.), *Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident (III)* (pp. 95–105). Singapore: Springer. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-3218-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3218-0_10).
16. Mechshanova, A., Berillo, D., & Polyakov, V. (2026). Chemical composition and ecological adaptation of *Populus* (*Salicaceae*) species and hybrids depending on soil and environmental conditions. *Journal of Environmental Radioactivity*, 16, 3368–3386. DOI: <https://doi.org/10.1039/D5RA08630B>.
17. Manaka, T., Araki, M. G., Ohashi, S., Imamura, N., Sakashita, W., Ogo, S., ... Shinomiya, Y. (2023). Radiocesium mobility in different parts of the two major tree species in Fukushima. *Scientific Reports*, 13, article ID 9144. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35852-8>.

18. Kenzo, T., Saito, S., Araki, M. G., & Kajimoto, T. (2020). Vertical distribution of radiocesium concentrations among crown positions and year-to-year variation in four major tree species after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 225, article ID 106447. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106447>.
19. Yoschenko, V., Nanba, K., Wada, T., Johnson, T. E., Zhang, J., Workman, D., & Nagata, H. (2022). Late phase radiocesium dynamics in Fukushima forests post deposition. *Journal of Environmental Radioactivity*, 251–252, article ID 106947. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106947>.
20. Ohashi, S., Kuroda, K., Abe, H., Kagawa A., Komatsu, M., Sugiyama, M., ... Takano, T. (2022). Decadal trends in <sup>137</sup>Cs concentrations in the bark and wood of trees contaminated by the Fukushima nuclear accident. *Scientific Reports*, 12, article ID 11243. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14576-1>.
21. Yasukawa, C., Aoki, S., Nonaka, M., Itakura, M., Tsubokura, M., Baba, K., ... Hayashi, T. (2019). Intake of Radionuclides in the Trees of Fukushima Forests 1. Field Study. *Forests*, 10(8), article ID 652. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10080652>.
22. Відомості з безперервного лісовпорядкування земель лісового фонду: таксаційний опис, відомість інших рубок формування і оздоровлення лісів станом на 01.01.2021 року ДП «Лугинський спецлісгосп». (2021). Ірпінь: Укрліспроект.
23. СОУ 02.02-37-476: 2006. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. (2006). [Чинний від 2007-05-01]. Київ: Мінагрополітики України.
24. Belli, M., Bunzl, K., Delvaux, V., Gerzabeck, M., Rafferty, V., Riesen, T., ... Wirth, E. (1999). Dynamics of Radionuclides in Semi-Natural Environments. In I. Linkov, W.R. Schell (Eds.), *Contaminated Forests. NATO Science Series*, 58. Dordrecht: Springer. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-011-4694-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-011-4694-4_2).

Дата першого надходження рукопису до редакції: 26.01.2026  
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 02.03.2026  
Дата публікації: 10.04.2026