



original article | UCD: 574:630.16(477.42) | doi: 10.31210/visnyk2019.02.07

## THE CONTENT OF $^{137}\text{Cs}$ IN THE ABOVEGROUND PART OF PLANTS IN FRESH PINE WOODS OF UKRAINIAN POLISSIA

V. V. Melnyk,

ORCID ID: [0000-0002-3551-5085](https://orcid.org/0000-0002-3551-5085), E-mail: [melnyk\\_vika91@ukr.net](mailto:melnyk_vika91@ukr.net),

Zhytomyr State Technological University, Chudnivska str., 103, Zhytomyr, 10005, Ukraine

The radioactive contamination of the aboveground part of plants of pine plantations with  $^{137}\text{Cs}$  under the conditions of fresh pine woods of Ukrainian Polissia was investigated. The research was conducted on sample plots established in the Narodychy forestry, where six samples of the aboveground parts of plant species and the corresponding samples of soil were selected. Before measuring  $^{137}\text{Cs}$  specific activity all samples were dried to air-dry state and homogenized. The classical method of comparative ecology was taken as a basis of the researches. The average value of soil radioactive contamination within the permanent sample plots varied from 106 to 380 kBq/m<sup>2</sup> (the variation coefficient was 29 %). Significant fluctuations of the specific activity values of  $^{137}\text{Cs}$  for all the investigated species were found. The maximal content of  $^{137}\text{Cs}$  was found in the aboveground part of *Melampyrum pratense* (104291 Bq/kg) and the minimal one – in *Peucedanum oreoselinum* (L.) Moench (217 Bq/kg). While comparing the content of  $^{137}\text{Cs}$  in the aboveground part of the Poaceae family, it was found that the *Koeleria glauca* (Spreng.) DC was characterized by considerably higher values of the investigated index than the *Festuca ovina* L. In the process of analyzing  $^{137}\text{Cs}$  concentration in the aboveground part of *Vaccinium vitis-idaea* L. and *Calluna vulgaris* (L.) Hill, the fluctuation of the investigated parameter was found within each sample plot. Intensity indices of  $^{137}\text{Cs}$  incoming in the aboveground part of plants of fresh pine woods for all the researched species varied considerably: the accumulation coefficient varied from 0.1 to 53.9, the transition coefficient – from 0.8 to 594 m<sup>2</sup>·kg<sup>-1</sup>·10<sup>-3</sup>. According to the results of a single-factor analysis of variance, the aboveground parts of plants were classified into 5 groups as to their ability to accumulate  $^{137}\text{Cs}$ . By the accumulation intensity of  $^{137}\text{Cs}$  in fresh pine woods plants can be represented in the following order: *Melampyrum pratense* > *Calluna vulgaris* (L.) Hill. > *Vaccinium vitis-idaea* L. > *Koeleria glauca* (Spreng.) DC > *Festuca ovina* L. > *Peucedanum oreoselinum* (L.) Moench. The concentration values of  $^{137}\text{Cs}$  in the studied species have a close linear relation with the value of the density of soil radioactive contamination.

**Key words:** radioactive contamination,  $^{137}\text{Cs}$ , specific activity, transition coefficient, aboveground part of plant

## ВМІСТ $^{137}\text{CS}$ У НАЗЕМНІЙ ФІТОМАСІ РОСЛИН СВІЖИХ БОРІВ ЛІСІВ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

V. V. Мельник,

Житомирський державний технологічний університет, вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005, Україна

Досліджено радіоактивне забруднення  $^{137}\text{Cs}$  наземної фітомаси рослин соснових насаджень в умовах свіжих борів Українського Полісся. Дослідження проводилися на пробних площах, закладених у Народицькому лісництві, було відібрано зразки 6-х видів наземної фітомаси рослин та відповідні до них зразки ґрунту. Перед вимірюванням питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  усі зразки висушувалися до повітряно-сухого стану та гомогенізувалися. В основу досліджень покладено класичний метод порівняльної екології. Середня величина радіоактивного забруднення ґрунту в межах постійних пробних площ варіювала від 106 до 380 кБк/м<sup>2</sup> (коефіцієнт варіації становив 29 %). Виявлено значні коливання величин питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  для всіх досліджуваних видів. Максимальний вміст  $^{137}\text{Cs}$  виявлено в

наземній фітомасі перестріча лучного (104291 Бк/кг), а мінімальний – у смовді гірській (217 Бк/кг). Порівнюючи вміст  $^{137}\text{Cs}$  у наземній фітомасі родини Тонконогові з'ясовано, що кипець сизий характеризується значно вищими значеннями досліджуваного показника, ніж костриця овеча. Аналізуючи концентрацію  $^{137}\text{Cs}$  у наземній фітомасі брусниці та вереса звичайного було виявлено коливання досліджуваного показника в межах кожної пробної площі. Показники інтенсивності надходження  $^{137}\text{Cs}$  у наземну фітомасу рослин свіжих борів для досліджуваних видів варіювали у широких межах: коефіцієнт накопичення від 0,1 до 53,9, коефіцієнт переходу – від 0,8 до  $594 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ . За результатами однофакторного дисперсійного аналізу наземну фітомасу рослин за здатністю до акумуляції  $^{137}\text{Cs}$  було віднесено до п'яти груп. За інтенсивністю накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах свіжих борів маємо такий висхідний ряд: перестріч лучний > верес звичайний > брусниця > кипець сизий > костриця овеча > смовдь гірська. Значення концентрації  $^{137}\text{Cs}$  у досліджуваних видах мають тісний лінійний зв'язок з величиною щільності радіоактивного забруднення ґрунту.

**Ключові слова:** радіоактивне забруднення,  $^{137}\text{Cs}$ , питома активність, коефіцієнт переходу, наземна фітомаса.

## СОДЕРЖАНИЕ $^{137}\text{CS}$ В НАЗЕМНОЙ ФИТОМАССЕ РАСТЕНИЙ СВЕЖИХ БОРОВ ЛЕСОВ УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

**В. В. Мельник,**

Житомирский государственный технологический университет, ул. Чудновская, 103, г. Житомир, 10005, Украина

Исследовано радиоактивное загрязнение  $^{137}\text{Cs}$  наземной фитомассы растений сосновых насаждений в условиях свежих боров Украинского Полесья. Средняя величина радиоактивного загрязнения почвы в пределах постоянных пробных площадей варьировала от 106 до 380 кБк/м<sup>2</sup> (коэффициент вариации составил 29 %). Выявлены значительные колебания величин удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  для всех исследуемых видов. Максимальное содержание  $^{137}\text{Cs}$  наблюдалось в наземной фитомассе марьянника лугового (104291 Бк/кг), а минимальное – в горичнике горном (217 Бк/кг). Показатели интенсивности поступления  $^{137}\text{Cs}$  в наземную фитомассу растений свежих боров для исследуемых видов варьировали в широких пределах: коэффициент накопления – от 0,1 до 53,9, коэффициент перехода – от 0,8 до  $594 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ . По результатам однофакторного дисперсионного анализа наземную фитомассу растений по способности к аккумуляции  $^{137}\text{Cs}$  разделено на 5 групп. Интенсивность накопления  $^{137}\text{Cs}$  в растениях свежих боров представлена в следующем ряду: марьянник луговой > вереск обыкновенный > брусника > тонконог сизый > костра овечья > горичник горный.

**Ключевые слова:** радиоактивное загрязнение,  $^{137}\text{Cs}$ , удельная активность, коэффициент перехода, наземная фитомасса.

### Вступ

У результаті аварії на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС) відбулося надходження радіонуклідів до лісових екосистем, їх подальше переміщення до ґрунту та перерозподіл у численних складових лісових біоценозах. Частина компонентів лісових екосистем широко використовується у практиці ведення лісового господарства та місцевим населенням для власного вжитку. Водночас у багатьох регіонах України введена регламентація заготівлі продукції лісового господарства внаслідок значного радіоактивного забруднення [1, 12–15, 25]. Використовуючи або споживаючи «дари лісу», місцеве населення одержить значне додаткове дозове навантаження – від 12 до 40 % у всього населення та від 50 до 95 % у критичних груп населення [6, 19]. З часу аварії на ЧАЕС відбулися суттєві зміни в радіаційній ситуації на всій території України, зокрема і у лісах. Тому такі обставини вимагають уточнення численних, встановлених раніше, положень щодо можливості використання дикорослих лісових рослин для забезпечення потреб місцевого населення.

Перші дослідження з вивчення розподілу радіоактивних елементів у компонентах лісових екосистем розпочалися в Радянському Союзі. Насамперед, дослідники зазначили значні відмінності у рівнях радіоактивного забруднення різних компонентів окремих ярусів лісової рослинності. Було виявлено, що мінімальні величини питомої активності радіонуклідів були у деревині, а максимальні – в мохах і лісовій підстилці [7, 17, 27]. Дослідники відмічали значну акумуляючу роль лісових рослин та варі-

ювання показника інтенсивності надходження  $^{137}\text{Cs}$  до різних видів у межах одного і того самого еко-топу, широкий діапазон рівнів їхнього радіоактивного забруднення та важливу роль у перерозподілі радіонуклідів у лісових біогеоценозах [1, 7, 11, 17, 18, 20, 24, 27]. У перші 10–20 років після аварії на ЧАЕС з'явилася достатня кількість публікацій [5, 11, 20, 23, 26, 28], у яких описано основні фактори, що впливають на інтенсивність накопичення радіонуклідів рослинами: систематичне положення, життєва форма, утворення симбіозу з мікоризою грибів, глибина розміщення кореневої системи у ґрунті, тип ґрунту, мінералогічний та гранулометричний склад ґрунту, багатство (кількість мінерального азоту), вологість, кислотність (рН), вміст органічної речовини, вміст обмінних  $\text{K}^+$  і  $\text{Ca}^{2+}$ , ізотопний склад радіоактивних випадінь, їхні фізико-хімічні властивості, форма і шлях надходження радіонуклідів до екосистеми.

Натепер основним шляхом надходження радіонуклідів у рослини є кореневий. Доведено, що інтенсивність надходження  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  з ґрунту в рослини різних видів прямо залежить від вертикального розподілу радіонуклідів та інтенсивності кореневої діяльності рослин по профілю ґрунту [9, 12, 14, 23]. Чим глибше розміщується коренева система рослин, тим меншим є надходження радіонуклідів до наземної фітомаси. Саме тому за будовою кореневої системи рослин дослідники представили такий ряд за збільшенням вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в рослинах: стрижнева коренева система < мичкувата коренева система < повзучі горизонтальні кореневища [12, 16].

Проводячи низку досліджень, білоруські дослідники [2] розділили таксони дикорослих рослин на три групи за інтенсивністю акумуляції радіонуклідів. За їхніми даними, концентраторами  $^{137}\text{Cs}$  є рослини родин Ranunculaceae, Lythraceae, Scrophulariaceae, Iridaceae; дискримінаторами – родин Gentianaceae, Onagraceae, Ariaceae, Hypericaceae та група рослин, що характеризується значним діапазоном значень коефіцієнту накопичення – Fabaceae, Poaceae, Asteraceae, Chenopodiaceae.

У публікаціях інших дослідників [3–5, 10, 21, 28] було зроблено висновок, що величина коефіцієнта переходу  $^{137}\text{Cs}$  у рослини залежить від типу лісорослинних умов. Рослини зеленомошних сосняків учені розташували в порядку зменшення коефіцієнту переходу радіонукліду з ґрунту: папороті (Polypodiophyta) – родини Scrophulariaceae (Melampyrum sp.) – Polygonaceae (Rumex sp.) – Vacciniaceae (Vaccinium myrtillus, V. vitis-idaea) – Hypericaceae – Asteraceae – Liliaceae – Lamiaceae – Rosaceae (Fragaria vesca) – Poaceae – Pyrolaceae, а в сосняках чорничних: папороті – Ericaceae – Vacciniaceae – Scrophulariaceae – Primulaceae – Liliaceae – Rosaceae.

Отже, значна група дослідників зробила досить подібні висновки: найбільше накопичення  $^{137}\text{Cs}$  відмічене у папоротеподібних, а найменше – у вищих квіткових рослинах; спостерігається значна міжвидова відмінність в акумуляції  $^{137}\text{Cs}$  в одному типі лісорослинних умов; величина коефіцієнта переходу  $^{137}\text{Cs}$  тісно залежить від типу лісового ґрунту, розподілу корневих систем по глибині ґрунтового профілю, вмісту обмінних форм радіонуклідів у відповідних горизонтах; у гігоморфних ландшафтах накопичення  $^{137}\text{Cs}$  на 1–2 порядки вище, ніж в автоморфних; у межах одного едатопу спостерігається 5–6-ти кратна різниця мінімальних та максимальних значень коефіцієнту переходу  $^{137}\text{Cs}$  у наземну фітомасу рослин [5, 8, 10–12, 21, 22, 27, 28].

Аналізуючи літературні джерела, у яких ідеться про радіоактивне забруднення наземної фітомаси рослин лісових екосистем, можна зробити висновок про різні ступені вивчення того чи того питання. Окремі проблеми zostалися поза увагою дослідників, деякі вивчені фрагментарно, а частина потребує більш поглибленого вивчення. Крім того, більшість публікацій написана за результатами досліджень, проведених у перші 15–20 років з часу аварії на ЧАЕС. *Мета* нашої роботи – вивчення вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у наземній фітомасі рослин свіжих борів Українського Полісся на сучасному етапі. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі *завдання*: дослідити і проаналізувати показники інтенсивності надходження радіонукліду до наземної фітомаси найбільш поширених видів рослин.

### Матеріали і методи досліджень

Дослідження проводилося у 2016 році на постійних пробних площах (ППП), розташованих у Народицькому лісництві ДП «Народицьке спеціалізоване лісове господарство» (ППП №4–6). Постійні пробні площі (розміром 100×100 м) закладалися за стандартною методикою в соснових насадженнях свіжого бору (табл. 1). З'ясовано радіоактивне забруднення наземної фітомаси наступних видів: перестріча лучного (Melampyrum pratense), вереса звичайного (Calluna vulgaris (L.) Hill.), брусниці (Vaccinium vitis-idaea L.), смовді гірської (Peucedanum oreoselinum (L.) Moench), кипця сизого (Koeleria glauca (Spreng.) DC.) та костриці овечої (Festuca ovina L.).

## СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ЕКОЛОГІЯ

### 1. Характеристика постійних пробних площ

Показники	Характеристики лісових насаджень на ППП		
	ППП № 4	ППП № 5	ППП № 6
Квартал/виділ	40/8	40/10	58/6
Тип лісорослинних умов	Свіжий бір (А <sub>2</sub> )		
Вік, років	60	75	100
Склад насаджень	10 Сз		
Середня висота, м	16	22	24
Середній діаметр, см	20	28	30
Клас бонітету	2	1	1
Підріст	Відсутній		
Підлісок	Поодинокий		
Проективне покриття трав'яно-чагарничкового ярусу, %	50–55	55–60	50–55
Проективне покриття мохового ярусу, %	85–90	85–90	80–85
Ґрунт	дерново-середньопідзолистий піщаний		
Асоціація	сосновий ліс зеленомоховий		

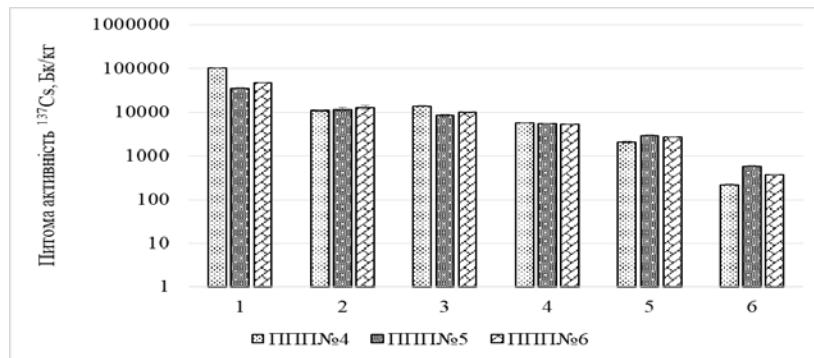
На пробних площах за допомогою сітки Л.Г. Раменського у 3–5-ти кратній повторності відбиралися наземна фітомаса досліджуваних видів. У місцях відбору рослин здійснювався відбір відповідних зразків ґрунту: за допомогою циліндричного бура діаметром 57 мм, у 5-ти точках (методом конверту), на глибину 15 см. Усі зразки висушувалися до повітряно-сухого стану, подрібнювалися та гомогенізувалися. Вимірювання питомої активності <sup>137</sup>Cs у зразках здійснювалося на сцинтиляційному гамма-спектрометричному приладі (GDM–20) із багатоканальним аналізатором імпульсів (АІ). Усього було проаналізовано 385 зразків, з яких – 200 зразків фітомаси рослин та 185 зразків ґрунту. Відносна похибка вимірювання питомої активності <sup>137</sup>Cs у зразках не перевищувала 5 %. Статистична обробка одержаних даних проводилася за загальноприйнятими методами за допомогою прикладного пакету програм Microsoft Excel та Statistica 10.0.

#### Результати досліджень та їх обговорення

Аналіз рівнів радіоактивного забруднення ґрунту на кожній пробній площі дав змогу виявити певну варіабельність досліджуваних величин. На ППП № 4 середнє значення досліджуваного показника становить 216±4,60 кБк/м<sup>2</sup>, що у 1,3 рази менше максимального (285 кБк/м<sup>2</sup>) та у 1,5 рази більше мінімального значення (142 кБк/м<sup>2</sup>) – коефіцієнт варіації (V) становив 16 %. Подібна ситуація спостерігається і на інших пробних площах: величина щільності радіоактивного забруднення ґрунту варіювала у певних межах (V = 35 %), а середнє значення становило на ППП № 5 202±8,72 кБк/м<sup>2</sup>; на ППП № 6 – 196±8,85 кБк/м<sup>2</sup>. Водночас відсутність достовірної різниці між середніми значеннями щільності радіоактивного забруднення ґрунту на постійних пробних площах (ППП № 4–6) підтверджується результатами однофакторного дисперсійного аналізу: F<sub>факт.</sub>=1,8<F<sub>(2;185;0,95)</sub>=3,0.

Аналізуючи величин питомої активності <sup>137</sup>Cs у наземній фітомасі рослин свіжого бору, встановлено значні міжвидові коливання вмісту радіонукліду. Різниця між мінімальними та максимальними значеннями сягала від 60 до 462 разів у межах усіх пробних площ (рис. 1).

На всіх пробних площах максимальний вміст <sup>137</sup>Cs було виявлено в рослин родини ранникових – перестріча лучного, хоча одночасно він мав суттєве коливання досліджуваного показника – від 24688 до 104291 Бк/кг. Найвища середня питома активність <sup>137</sup>Cs у фітомасі даного виду була відмічена на ППП № 4 і становила 100272±1380 Бк/кг. На ППП № 5 порівняння середнього значення концентрації радіонукліду з мінімальним та максимальним його показником становило різницю 1,2 та 1,4 рази відповідно. На ППП № 6 середній вміст радіонукліду становив 47629±1308 Бк/кг за невеликої варіації всіх значень (V = 9,9 %).



Умовні позначення:

- 1 – перестріч лучний;
- 2 – брусниця;
- 3 – верес звичайний;

- 4 – кипець сизий;
- 5 – костриця овеча;
- 6 – смовдь гірська.

**Рис. 1. Середні значення величин питомої активності <sup>137</sup>Cs у наземній фітомасі рослин свіжого бору на ППП**

Мінімальну концентрацію <sup>137</sup>Cs містять рослини родини зонтичних, а саме – смовдь гірська, де середні величини питомої активності такі: на ППП № 4 – 217±4,4 Бк/кг, на ППП № 5 – 573±14,1 Бк/кг та на ППП № 6 – 367±1,5 Бк/кг. Варто відмітити, що коливання величини питомої активності <sup>137</sup>Cs для смовді гірської в межах пробних площ були незначні. Аналізуючи вміст <sup>137</sup>Cs у наземній фітомасі брусниці, було виявлено коливання досліджуваного показника в межах кожної пробної площі. На ППП № 4 середня концентрація радіонукліду у фітомасі брусниці становила 10769±431 Бк/кг, що в 1,2 та 1,3 рази менше та більше максимального та мінімального значень. На ППП № 5 величини концентрації <sup>137</sup>Cs у пагонах брусниці мали амплітуду від 4463 до 17020 Бк/кг, а середнє значення становило 11187±1565 Бк/кг. Вміст <sup>137</sup>Cs у фітомасі брусниці на ППП № 6 становив 12601±1328 Бк/кг, що в 1,9 разів більше мінімальної концентрації радіонукліду та у 1,5 разів менше максимального значення. Зазначимо, що при проведенні однофакторного дисперсійного аналізу вмісту <sup>137</sup>Cs у наземній фітомасі брусниці на трьох пробних площах не було виявлено достовірної різниці середніх значень  $F_{\text{факт.}}=0,6 < F_{(2;38;0,95)}=3,3$ .

Величини питомої активності <sup>137</sup>Cs у фітомасі вереса звичайного на пробних площах коливалися від 5025 до 14738 Бк/кг, – одержані показники свідчать про значне коливання вмісту <sup>137</sup>Cs у фітомасі даного виду на пробних площах –  $F_{\text{факт.}}=22,8 > F_{(2;33;0,95)}=3,3$ . Середня концентрація <sup>137</sup>Cs у вересі звичайному на ППП № 4 становить 13577±474 Бк/кг, на ППП № 5 – 8271±713 Бк/кг та на ППП № 6 – 9901±239 Бк/кг. У межах кожної пробної площі виявлено коливання питомої активності, – на ППП № 5 середній вміст радіонукліду у 1,6 разів більше мінімального і у 1,3 рази менше максимального. На ППП № 4 величини досліджуваного показника перебувають у межах від 11592 до 14738 Бк/кг, а на ППП № 6 – від 8827 до 11257 Бк/кг, тобто спостерігається незначне коливання.

Аналіз вмісту <sup>137</sup>Cs у наземній фітомасі родини Тонконогові свідчить про такі закономірності: кипець сизий характеризується значно вищими значеннями досліджуваного показника, ніж костриця овеча. Коливання питомої активності між даними видами сягало 2,7 разів на ППП № 4, 1,9 разів – на ППП № 5 та 2,0 рази – на ППП № 6. Крім того, можна відмітити суттєву відмінність концентрації <sup>137</sup>Cs у фітомасі костриці овечої та кипця сизого на всіх пробних площах, що підтверджується результатами однофакторного дисперсійного аналізу:  $F_{\text{факт.}}=20,1 > F_{(2;25;0,95)}=3,4$  та  $F_{\text{факт.}}=8,9 > F_{(2;21;0,95)}=3,5$  відповідно.

На всіх пробних площах, за умови достовірної однорідності щільності радіоактивного забруднення ґрунту, коефіцієнти накопичення <sup>137</sup>Cs у наземній фітомасі рослин свіжого бору варіювали у широких межах – від 0,1 до 53,9 (табл. 2). Для перестріча лучного були характерні найвищі значення досліджуваного показника: мінімальна величина інтенсивності накопичення <sup>137</sup>Cs була відмічена на ППП № 5 і становила 20,2, що у 1,9 та 2,2 рази менше, ніж на ППП № 4 та ППП № 6 відповідно.

**СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ЕКОЛОГІЯ**

**2. Статистичні параметри величини коефіцієнту накопичення <sup>137</sup>Cs у наземній фітомасі рослин лісів свіжих борів Українського Полісся**

Види	Статистики				
	M	m	δ	V, %	P, %
1	2	3	4	5	6
<b>ППП №4</b>					
Перестріч лучний	38,7	1,7	6,2	15,9	4,4
Верес звичайний	7,8	0,7	2,6	33,7	9,4
Брусниця	4,7	0,4	1,2	26,3	7,6
Кипець сизий	2,7	0,08	0,2	8,8	3,1
Костриця овеча	1,9	0,08	0,3	13,9	4,3
Смовдь гірська	0,1	0,01	0,02	15,4	4,1
<b>ППП №5</b>					
Перестріч лучний	20,2	1,1	4,6	23,0	5,4
Брусниця	6,1	0,3	1,1	18,6	5,2
Верес звичайний	5,9	0,2	0,9	14,9	4,1
Кипець сизий	2,8	0,1	0,3	9,7	4,4
Костриця овеча	1,4	0,05	0,1	10,1	3,6
Смовдь гірська	0,6	0,004	0,01	2,5	0,8
<b>ППП №6</b>					
Перестріч лучний	44,7	1,4	5,2	11,7	3,2
Верес звичайний	8,6	0,1	0,5	6,2	1,8
Брусниця	7,7	0,2	0,9	11,2	3,0
Кипець сизий	4,5	0,3	1,0	23,1	7,7
Костриця овеча	1,6	0,06	0,2	9,9	3,5
Смовдь гірська	0,2	0,01	0,02	8,5	2,7

Для вереса звичайного в межах пробних площ максимальне значення даного коефіцієнта становило 10,2, а мінімальне – 4,2. Порівнюючи інтенсивність накопичення <sup>137</sup>Cs у фітомасі вереса звичайного між пробними площами можна відмітити, що для ППП № 4 середнє значення становить 7,8±0,7, що в 1,3 рази менше максимального і 1,8 разів більше мінімального значення, на ППП № 5 таке співвідношення становить 1,4 та 1,7 разів відповідно, а на ППП № 6 – 2 та 1,2 рази. Для брусниці виявлено варіювання інтенсивності накопичення <sup>137</sup>Cs від 2,6 до 9,4, тоді як середнє значення на ППП № 4 становить 4,7, що в 1,3 та 1,6 разів менше, ніж на ППП № 5 та ППП № 6 відповідно.

Для представників родини Тонконогові вищими значеннями коефіцієнту накопичення <sup>137</sup>Cs характеризується кипець сизий, порівняно з кострицею овечою, і відповідно середні показники становлять на ППП № 4 – 2,7±0,08 і 1,9±0,08, на ППП № 5 – 2,8±0,12 і 1,3±0,05 та на ППП № 6 – 4,5±0,3 і 1,6±0,06. Мінімальне значення коефіцієнту накопичення на всіх пробних площах спостерігаємо у смовді гірської та перебуває в межах від 0,12 до 0,57. Найвище середнє значення цього показника відмічене на ППП № 5 (0,55±0,004), що у 4,2 та 2,4 рази перевищує такий показник на ППП № 4 і ППП № 6. Середні значення коефіцієнтів накопичення у наземній фітомасі рослин свіжих борів Українського Полісся на всіх пробних площах суттєво відрізнялися, що підтверджується результатами однофакторного дисперсійного аналізу: ППП № 4 –  $F_{\text{факт.}}=305 > F_{(5;65;0,95)}=2,4$ , ППП № 5 –  $F_{\text{факт.}}=119 > F_{(5;66;0,95)}=2,4$  та ППП № 6 –  $F_{\text{факт.}}=585 > F_{(5;65;0,95)}=2,4$ . Крім того, нами було побудовано ряд видів за коефіцієнтом накопичення <sup>137</sup>Cs (у порядку його зменшення): перестріч лучний > верес звичайний > брусниця > кипець сизий > костриця овеча > смовдь гірська.

Для всіх пробних площ було розраховано коефіцієнт переходу <sup>137</sup>Cs в системі «грунт – наземна фітомаса» для видів, що досліджуються (рис. 2). Варто відмітити, що на всіх трьох пробних площах за результатами однофакторного дисперсійного аналізу види наземної фітомаси рослин свіжого бору були віднесені до 5-ти груп, які суттєво відрізняються інтенсивністю накопичення <sup>137</sup>Cs ( $F_{\phi} > F_{0,95}$ ). Розподіл за величиною коефіцієнта переходу є тотожним такому як для коефіцієнта накопичення.

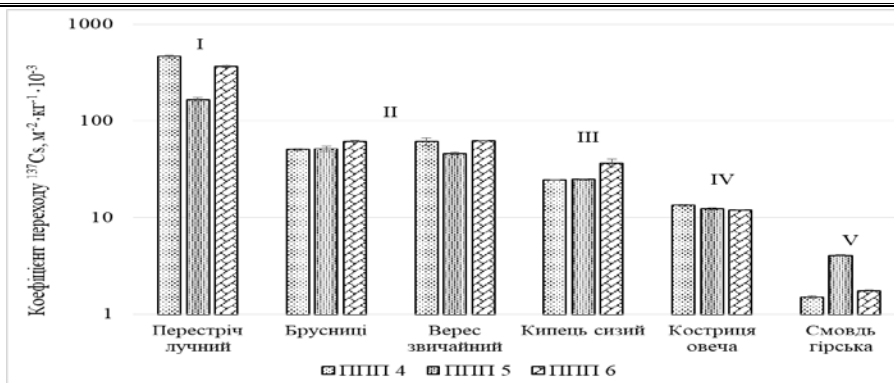


Рис. 2. Середні значення коефіцієнту переходу <sup>137</sup>Cs у наземну фітомасу рослин свіжого бору Українського Полісся

Аналіз одержаних результатів дозволяє зробити висновок, що максимальний коефіцієнт переходу <sup>137</sup>Cs (I група) відмічено у перестріча лучного ( $112 - 594 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ ). Другу групу представляють брусниця та верес звичайний ( $F_{\text{факт.}} = 0,09 < F_{(1;72;0,95)} = 4,0$ ), ці представники відносяться до різних родин за систематичним положенням і характеризуються значною інтенсивністю накопичення <sup>137</sup>Cs ( $100 > \text{КП} > 50$ ). У III ( $20 > \text{КП} > 50$ ) та IV ( $10 > \text{КП} > 20$ ) дисперсійних групах рослини родини тонконогові кипець сизий та костриця овеча, різниця середніх значень підтверджується результатами однофакторного дисперсійного аналізу  $F_{\text{факт.}} = 90 > F_{(1;47;0,95)} = 4,05$ . Мінімальні значення коефіцієнту переходу <sup>137</sup>Cs (V група) спостерігалися для смовді гірської ( $0,8 - 4,3 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ ), що належать до родини зонтичних ( $2 > \text{КП}$ ). Аналіз радіоактивного забруднення наземної фітомаси рослин дозволяє побудувати висхідний ряд видів за інтенсивністю накопичення <sup>137</sup>Cs у свіжих борах: перестріч лучний > верес звичайний > брусниця > кипець сизий > костриця овеча > смовдь гірська.

### Висновки

На основі проведених досліджень встановлено, що максимальний вміст <sup>137</sup>Cs спостерігається в наземній фітомасі перестріча лучного (104291 Бк/кг), а мінімальний – у смовді гірської (217 Бк/кг). Виявлено значні міжвидові відмінності у величинах питомої активності <sup>137</sup>Cs для представників родини тонконогові: для кипця сизого характерним є двократне перевищення величини питомої активності <sup>137</sup>Cs порівняно з кострицею овечою. В умовах свіжих борів Українського Полісся показники інтенсивності надходження <sup>137</sup>Cs у наземну фітомасу рослин коливались у широких межах: коефіцієнт накопичення – від 0,1 до 53,9, коефіцієнт переходу – від 0,8 до  $594 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ . За величиною коефіцієнта переходу <sup>137</sup>Cs у наземну фітомасу рослини можна представити такими дисперсійними групами (у низхідному порядку): I – перестріч лучний; II – верес звичайний та брусниця; III – кипець сизий; IV – костриця овеча; V – смовдь гірська.

### References

1. Bulavik, I. M., & Perevolockij, A. N. (1994). Migracija <sup>137</sup>Cs v lesnyh jekosistemah. *Les i Chernobyl'*, 7–42 [In Russian].
2. Demkiv, O. T. (1967). Deiaki zakonmirnosti rozpodilu radioaktyvnykh izotopiv v orhanakh vysokohirnykh roslyn Karpat. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal*, 6, 50–54 [In Ukrainian].
3. Ermakova, O. O., Kazej, A. P., & Kuz'mich, O. T. (1993). Akkumuljacija radionuklidov rastenijami zhivogo napochvennogo pokrova sosnovykh fitocenzov. *Tez. Dokl. Ch.1. Radiobiologija. Kiev, 20–25 sentjabrja 1993 g.* Pushhino [In Russian].
4. Ermakova, O. O., Kuz'mich, O. T., & Kazej, A. P. (1995). *Osobennosti nakoplenija radionuklidov razlichnymi vidami napochvennogo pokrova v lesnyh fitocenzah v zavisimosti ot urovnja radioaktivnogo zagrjaznenija pochv.* V. I. Parfenova, B. I. Jakusheva (Ed.). Minsk: Nauka i tehnika [In Russian].
5. Ermakova, O. O. (2000). Radiojekologicheskij monitoring akkumuljacji <sup>137</sup>Cs v rastenijah zhivogo nadpochvennogo pokrova lesnyh cenozov. *Radioaktivnost' pri jadernyh vzryvah i avarijah 2000 god: mezhdunar. konf. 24–26 aprelja 2000 g.* Moskva: Trudy : Gidrometeoizdat [In Russian].

6. Karachov, I. I. (2006). Problemy radioaktyvnoho zabrudnennia kharchovykh produktiv lisu i vnutrishnie oprominennia naselennia. *Problemy kharchuvannia*, 1, 8–13 [In Ukrainian].
7. Krasnov, V. P. (1998). *Radioekologhiia lisiv Polissia Ukrainy*. Zhytomyr: Volyn [In Ukrainian].
8. Krasnov, V. P., Kurbet, T. V., Korbut, M. B., & Boiko, O. L. (2016). Rozpodil  $^{137}\text{Cs}$  u lisovykh ekosystemakh Polissia Ukrainy. *Ahroekologichnyi zhurnal*, 1, 82–87 [In Ukrainian].
9. Kulikov, I. V., Molchanova, I. V., & Karavaeva, E. N. (1990). *Radiojekologija pochvenno-rastitel'nogo pokrova*. Sverdlovsk: UrO AN SSSR [In Russian].
10. Orlov, O. O. (2005). Akumuliatsiia  $^{137}\text{Cs}$  vydamy traviano-chaharnykovoho yarusu lisovykh ekosystem: analitychnyi ohliad. *Problemy ekologii lisu i lisokorystuvannia na Polissi Ukrainy*, 5 (11), 18–32 [In Ukrainian].
11. Perevolockij, A. N. (2006). *Raspredilenie  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  v lesnyh biogeocenozah*. Gomel' RNIUP «Institut radiojekologii» [In Russian].
12. Krasnova, V. P. (2007). *Prikladnaja radiojekologija lesa : monografiia*. Zhitomir: Polissja [In Russian].
13. *Rekomendacii po vedeniju lesnogo hozjajstva v uslovijah radioaktivnogo zagryaznenija*. (1995). Kyiv: Agrarna nauka [In Russian].
14. *Rekomendatsii z vedennia lisovoho hospodarstva v umovakh radioaktyvnoho zabrudnennia*. (1998). Kyiv: Yarmarok [In Ukrainian].
15. *Rukovodstvo po vedeniju lesnogo hozjajstva v zonah radioaktivnogo zagryaznenija*. (1995). Minsk [In Russian].
16. *Rukovodstvo po vedeniju lesnogo hozjajstva v uslovijah radioaktivnogo zagryaznenija lesa na territorii Vostochno-Ural'skogo radioaktivnogo sleda (na period 1997-2000 gg.)*. (1997). Moskva [In Russian].
17. Tihomirov, F. A., Sanzharova, N. I., & Shpazhnikov, A. A. (1979). Migracija antropogennykh radionuklidov v sisteme pochva-rastenie v lesnom biogeocenoze. *Problemy lesnoj radiojekologii*, 38, 83–96 [In Russian].
18. Tihomirov, F. A., & Sanzharova, N. I. (1978). Postuplenie strocija-90 v travjanistye rastenija kak pokazatel' raspredelenija intensivnosti kornevoj dejatel'nosti po pochvennomu profilju. *Vestn. Moskovskogo un-ta. Ser. Pochvovedenie*, 1, 78–87 [In Russian].
19. Chobotko, H. M., Raichuk, L. A., Piskovyi, Yu. M., & Yaskovets, I. I. (2011). Formuvannia dozy vnutrishnoho oprominennia naselennia Ukrainського Polissia vnaslidok spozhyvannia kharchovykh produktiv lisovoho pokhodzhennia. *Ahroekologichnyi zhurnal*, 1, 37–42 [In Ukrainian].
20. Shheglova, A. I., & Cvetnova, O. B. (2001). Rol' lesnykh jekosistem pri radioaktivnom zagryaznenii. *Priroda*, 4, 22–32 [In Russian].
21. Burger, A. & Lichtscheidl, I. (2018). Stable and radioactive cesium: A review about distribution in the environment, uptake and translocation in plants, plant reactions and plants' potential for bioremediation. *Science of the Total Environment*, 618, 1459–1485. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.298.
22. Dubchak, S. (2017). Distribution of Caesium in Soil and its Uptake by Plants. *Impact of Cesium on Plants and the Environment*, 1–18. doi: 10.1007/978-3-319-41525-3\_1.
23. Krasnov, V. P., Kurbet, T. V., Shelest, Z. M., & Boyko, A. L. (2015).  $^{137}\text{Cs}$  distribution in sod-podzol forest soil of Ukrainian Polissia. *Nuclear Physics and Atomic Energy*, 16 (3), 247–253. doi: 10.15407/jnpae2015.03.247.
24. Kudzin, M., Zabrotski, V., & Harbaruk, D. (2016). Distribution of  $^{137}\text{Cs}$  between the components of pine forest of chernobyl NPP exclusion zone. *Impact of Cesium on Plants and the Environment*, 1, 149–169. doi: 10.1007/978-3-319-41525-3\_9.
25. Mamikhin, S. V., Tihomirov, F. A. & Shcheglov, A. I. (1997). Dynamics of  $^{137}\text{Cs}$  in the forests of the 30-km zone around the Chernobyl nuclear power plant. *Science of the total environment*, 193 (3), 169–177. doi: 10.1016/S0048-9697(96)05329-6.
26. Perevolotskiĭ, A. N., & Perevolotskaia, T. V. (2012). The forecasting of vertical distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the forest soils of the Republic of Belarus. *Radiatsionnaia biologii, radioecologiya*, 52 (6), 625–635.
27. Shcheglova, A., Tsvetnovaa, O. & Klyashtorinb A. (2014). Biogeochemical cycles of Chernobyl-born radionuclides in the contaminated forest ecosystems. *Long-term dynamics of the migration processes Journal of Geochemical Exploration*, 144, 260–266. doi: 10.1016/j.gexplo.2014.05.026.



28. Zheleznova, O. S., Chernykh, N. A., Grachev, V. A., Baeva, Y. I. & Tokratov, S. A. (2016). Accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  by plants of forest ecosystems: The estimation of plant species factor. Case study: Mixed forests of the east European plain. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7 (6), 547–560.

Стаття надійшла до редакції 04.04.2019 р.

**Бібліографічний опис для цитування:**

Мельник В. В. Вміст  $^{137}\text{Cs}$  у наземній фітомасі рослин свіжих борів лісів Українського Полісся. *Вісник ПДАА*. 2019. № 2. С. 61–69.

© Мельник Вікторія Вікторівна, 2019