

Д. М. Голяка, С. Є. Левчук, В. П. Процак, В. О. Кашпаров

*Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської радіології  
Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ***РОЗПОДІЛ ВМІСТУ  $^{137}\text{Cs}$  У ДЕРЕВИНІ СТОВБУРА  
СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)  
ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ**

За допомогою встановлених показників (відносний діаметр, відносна висота та відносна питома активність  $^{137}\text{Cs}$ ) для зразків деревини, відібраних у різних частинах повздовжніх розрізів деревних стовбурів, здійснено статистичну і графічну інтерпретацію закономірностей розподілу вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в деревині модельних дерев сосни звичайної. Установлено однорідність вибірок спостережень для повздовжніх перерізів досліджуваних деревних стовбурів за відносною питомою активністю  $^{137}\text{Cs}$  в деревині, розрахованою на основі відношення питомої активності даного радіонукліда в деревині річних кілець за певні роки до їхньої медіани на висоті 1,3 м. Виділено три інтервали відносних діаметрів деревини стовбурів модельних дерев на висоті 1,3 м досліджуваного деревостану, що характеризуються значною різницею за питомою активністю  $^{137}\text{Cs}$ :  $d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 0,55$  ( $\text{Am}(\omega) = 0,63 \pm 0,08$ ),  $0,55 < d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 0,95$  ( $\text{Am}(\omega) = 1,01 \pm 0,04$ ),  $0,95 < d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 1,0$  ( $\text{Am}(\omega) = 2,1 \pm 0,5$ ).

*Ключові слова:*  $^{137}\text{Cs}$ , радіоекологія, питома активність, Чорнобильська аварія, радіоактивне забруднення, стовбурова деревина, таксаційні показники, деревина річних кілець, сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), лісові екосистеми.

**Вступ**

Станом на 1 січня 1993 р. у результаті Чорнобильської аварії 1 233,8 тис. га лісів України, у тому числі 442,6 тис. га в Житомирській області, мали щільність забруднення  $^{137}\text{Cs}$  понад 37  $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$  [1]. З них 99,1 тис. га лісів мали щільність забруднення  $^{137}\text{Cs}$  понад 185  $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$ , що відповідає підзоні 2а – обмеження використання паливної та тонкомірної деревини. На 32,4 тис. га вкритих лісовою рослинністю земель Житомирщини щільність забруднення  $^{137}\text{Cs}$  території перевищувала 555  $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$ , що потребувало розробки спеціального режиму ведення лісового господарства та обмеження тривалості праці при проведенні лісгосподарських робіт [1, 2]. Тому на більшій частині зазначеної 2-ї зони безумовного (обов'язкового) відселення Народицького району Житомирської області згідно з наказом № 1038 Президента України від 11 грудня 2009 р. створено Древлянський заповідник площею 30 872 га.

Досвід ліквідації наслідків Чорнобильської аварії в 1986 р. [3] показав, що лісові екосистеми мають значний, а інколи й визначальний вплив на формування доз опромінення населення. У зв'язку з цим, для обмеження опромінення людей, МАГАТЕ були розроблені рекомендації [4] та введені в Україні гігієнічні нормативи питомої активності радіонуклідів у деревині та продукції з деревини (ГНПАР-2005), які встановили найбільш жорсткі у світі вимоги до допустимого вмісту  $^{137}\text{Cs}$  ( $600 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ ) і особливо  $^{90}\text{Sr}$  ( $60 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ ) у паливних дровах і пучках [5]. Оцін-

ки динаміки зміни площ лісових ділянок, в яких буде можливе виробництво деревини з питомою активністю  $^{137}\text{Cs}$  менше  $600 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ , показали, що в даний час для виробництва паливної деревини можна використовувати близько 60 % усіх площ лісництв 2-ї зони Житомирської області, через 10 років ця площа збільшиться до 69 % і в 2037 р. становитиме 87 % від загальної площі. Лише через 50 років у всіх лісництвах можливо буде заготовлювати паливну деревину без обмежень [6].

Особливості депонування радіонуклідів компонентами лісових екосистем (у тому числі у стовбуровій деревині) після Чорнобильської аварії найбільш комплексно вивчали А. Н. Переволоцький [7], А. І. Щеглов [8, 9] та науковці Поліського філіалу УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького (м. Житомир) О. О. Орлов, В. П. Краснов та ін. [10 - 13]. Не дивлячись на це, навіть через 30 років після аварії на ЧАЕС велика кількість аспектів біогеохімічного кругообігу і депонування радіонуклідів лісовими екосистемами залишаються мало вивченими.

У зв'язку з реабілітацією радіоактивно забруднених лісових ділянок, особливо інтенсифікацією лісгосподарських рубок, актуальність дослідження закономірностей накопичення радіонуклідів стовбуровою деревиною невідомо зростає [14], так як саме вона виступає основною товарною продукцією лісу. Більшість попередніх досліджень на теренах України базувались на вивченні розподілу радіонуклідів у деревині стовбура для одного модельного дерева в межах

© Д. М. Голяка, С. Є. Левчук, В. П. Процак, В. О. Кашпаров, 2017

окремого насадження [10 - 12]. Тому метою даного дослідження є виявлення загальних закономірностей радіального розподілу питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  на різних висотах модельних дерев різних ступенів товщини соснового деревостану. Це дає змогу на основі одиничних вимірювань питомої активності  $^{137}\text{Cs}$ , наприклад на висоті 1,3 м, більш точно оцінити його вміст в інших частинах дерева на відповідність гігієнічним нормативам ГНПАР-2005 [5].

### Матеріали та методи досліджень

Збір дослідного матеріалу проведено в листопаді 2015 р. на пробній площі  $50 \times 50$  м, закладеній у Повчанському лісництві у кварталі 50, виділі 16 ДП «Лугинське лісове господарство» Житомирської області в сосновому деревостані (N 51.13924°, E 28.60117°). Щільність забруднення  $^{137}\text{Cs}$  ґрунту у 2015 р.  $205 \pm 65$  кБк·м<sup>-2</sup>. Основні таксаційні ознаки насадження: склад 10 Сз<sup>1</sup> + Бп<sup>2</sup>, Влч<sup>3</sup>, Дз<sup>4</sup> (сосна звичайна 98 % запасу), вік 64 роки, середній діаметр 26,7 ± 6,3 см, середня висота 27,4 м, бонітет I<sup>a</sup>, відносна повнота 0,87, стовбурний запас у корі 569,7 м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup>.

Закладання пробної площі здійснено з дотриманням вимог правил СОУ 02.02–37–476:2006 [15]. Модельні дерева обиралися згідно із способом пропорціонального ступінчастого представництва. Відбір зразків для встановлення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  здійснювали на основі вирізаних дисків деревини товщиною 4 - 5 см на відносних висотах: 0,00Н (біля основи зрізаного дерева), 0,10Н (10 % висоти стовбура і т.д.), 0,25Н, 0,50Н, 0,75Н, 0,90Н, а також на висоті 1,3 м. Усього з насадження було відібрано 9 модельних дерев. У 5 дерев диски були відібрані лише на висоті 1,3 м. Диски деревини висушувалась при температурі 70 °С і розбивалася на групи по 5 річних кілець, що представляли вік дерева згідно з підходами аналізу ходу росту стовбура [16]. Наприклад, якщо вік дерева становить 63 роки, то виділяються такі групи річних кілець: 63 - 61, 60 - 56, 55 - 51, 50 - 46 і т. д. Деревина з виділених груп річних кілець механічним способом розділялась на гомогенні зразки для визначення вмісту  $^{137}\text{Cs}$ , одночасно для них зазначався вид деревини за анатомічною будовою (заболонь чи ядро). Використовуючи вихідні дані аналізу стовбура (аналіз ходу росту деревного стовбура) для дисків деревини на відносних висотах дерева та на висоті

1,3 м розраховані такі середні показники у виділених групах річних кілець: діаметр –  $d_m$ , см; вік формування шарів деревини згідно з віком дерева –  $a_m$ , рік; вік формування шарів деревини з прив'язкою до календарного року –  $u_m$ , рік. Розрахунок величин середніх показників здійснювався шляхом додавання крайніх значень показників групи річних кілець та діленням отриманого числа на 2. Наприклад, група річних кілець 60 - 56 (роки) має два діаметра, які відмежовують їх від іншої частини деревини стовбура: це діаметри деревних річних кілець 60 і 55.

Активність  $^{137}\text{Cs}$  у зразках гомогенізованої деревини вимірювали на низькофоновому гамма-спектрометрі з багатоканальним аналізатором ASPEC-927 (програмне забезпечення Gamma-Vision 32), який оснащений пасивним захистом і напівпровідниковим детектором із високочистого германію GEM-30185 (EG&G ORTEC, США). Маса зразків визначалась на вагах KERN PFB 2000-2 з дискретністю 0,01 г.

Загальна кількість відібраних зразків деревини для встановлення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  297 шт., з них 107 шт. з дисків деревини на висоті 1,3 м. Детальніше таксаційні показники та кількість отриманих зразків деревини модельних дерев представлено в таблиці. Середня відносна похибка вимірювання активності  $^{137}\text{Cs}$  на гамма-спектрометрі ±8 %, мінімальна – ±5 %, максимальна – ±20 %. Найбільша питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у сухій деревині становила 4710 Бк·кг<sup>-1</sup>, найменша – 327 Бк·кг<sup>-1</sup>. Середня питома активність  $^{137}\text{Cs}$  в ядровій деревині модельних дерев становила  $478 \pm 99$  Бк·кг<sup>-1</sup>, а в заболоні –  $862 \pm 191$  Бк·кг<sup>-1</sup> (див. таблицю).

### Результати та їхнє обговорення

Отримані дані питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у зразках деревини стовбурів модельних дерев та розраховані середні діаметри деревини річних кілець за певні роки характеризуються значним розмахом, що робить неможливим здійснити їхнє співставлення. Це чітко відображається графічною інтерпретацією залежностей питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у деревині річних кілець стовбурів модельних дерев на висоті 1,3 м від їхнього діаметра (рис. 1). Тому були розраховані відносні величини вищезазначених показників для кожного дерева. Відносна питома активність ( $A_m(\omega)$ ) є відношенням питомої активності будь-якого деревного зразка до медіани значень питомої активності ( $Me_{A_m}$ ) усіх зразків (виділених груп річних шарів) деревини на висоті 1,3 м без врахування їхнього масового чи об'ємного співвідношення. Використання медіани ( $Me_{A_m}$ ) зумов-

<sup>1</sup> Сз – сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.).

<sup>2</sup> Бп – береза повисла (*Betula pendula* Roth.).

<sup>3</sup> Влч – вільха чорна, клейка (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.).

<sup>4</sup> Дз – дуб звичайний, черешчатий (*Quercus robur* L.).

**Основні таксаційні показники модельних дерев та кількість відібраних зразків  
для встановлення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$**

Основні таксаційні показники					Кількість відібраних зразків, шт.		Питома активність $^{137}\text{Cs}$ в деревині стовбура, Бк·кг <sup>-1</sup>	
а, років	d <sub>1,3m</sub> , см	h, м	V <sub>УК</sub> , м <sup>3</sup>	V <sub>БК</sub> , м <sup>3</sup>	на висоті 1,3 м	на відносних висотах	ядро	заболонь
63	26,3	27,6	0,752	0,697	12	—	680 ± 54	960 ± 48
64	19,4	23,7	0,329	0,298	11	—	490 ± 39	1020 ± 82
63	16,3	24,1	0,253	0,224	12	49	420 ± 42	920 ± 64
63	21,1	24,3	0,349	0,316	12	—	450 ± 36	810 ± 57
64	36,6	29,4	1,42	1,32	12	48	570 ± 34	1160 ± 81
64	22,7	26,9	0,561	0,525	12	—	520 ± 42	970 ± 87
65	29,3	28,7	0,919	0,840	12	47	390 ± 39	620 ± 43
66	29,5	28,0	0,862	0,792	12	—	380 ± 38	620 ± 43
62	25,3	26,3	0,611	0,563	12	46	400 ± 40	680 ± 48

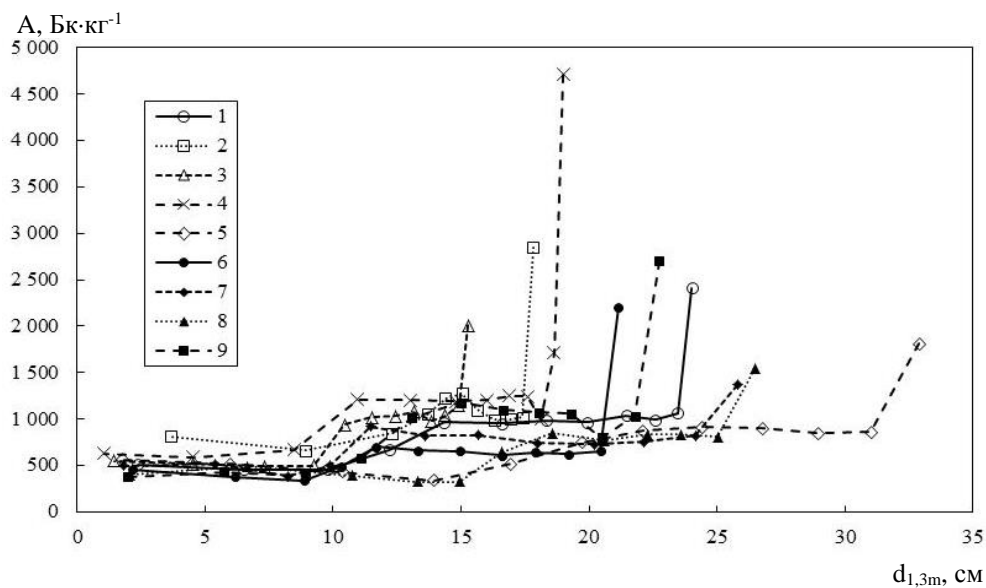


Рис. 1. Радіальний розподіл питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  від середини стовбурів модельних дерев (№ 1 - 9) на висоті 1,3 м у 2015 р.

лено асиметрію розподілу вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у шарах деревини. Відносний діаметр ( $d(\omega)_{1,3m}$ ) – відношення середнього значення діаметра деревини річних кілець за певні роки ( $d_M$ ) до діаметра дерева без кори на висоті 1,3 м (max  $d_{1,3m}$ ).

Для встановлення тісноти зв'язків між показниками деревини річних кілець за певні роки на висоті дерев 1,3 м використано ранговий коефіцієнт Спірмена ( $r_s$ ), так як вибірка за більшістю ознак характеризується відсутністю нормального розподілу. Усі отримані кореляції є статистично значущими на 95 % рівні ймовірності, при модулях значень коефіцієнта кореляції  $0,38 \leq r_s \leq 0,95$ . Використання відносних показників дає змогу визначити межі їхньої величини в обмеженому або визначеному інтервалі, що дозволяє значно краще аналізувати результати досліджень для модельних дерев, які мають значні відмінності в значеннях таксаційних показників.

Порівняння залежності активності  $^{137}\text{Cs}$  у зразках деревини від радіального розміщення на висоті 1,3 м в абсолютних (див. рис. 1) та відносних (рис. 2) величинах указує на значне поліпшення сприйняття отриманих даних у другому випадку. На рис. 2 вертикальними пунктирними лініями позначені інтервал (min, max) та середнє арифметичне значення (M) розміщення межі між ядром (зліва на рисунку) та заболонню (справа на рисунку) для досліджуваних модельних дерев.

З аналізу рис. 2, можна стверджувати що в периферійних шарах стовбура концентрація  $^{137}\text{Cs}$  є найбільшою, що цілком відповідає результатам попередніх досліджень [7, 8, 11, 12, 16]. В окремих деревах (3 шт.) прослідковується спад питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  між групами периферійних та старших деревних річних кілець. Для кожного стовбура на висоті 1,3 м характерне помітне зменшення вмісту  $^{137}\text{Cs}$  при зменшенні відносного діаметра на проміжку 0,4 - 0,7, що в даних дослід-

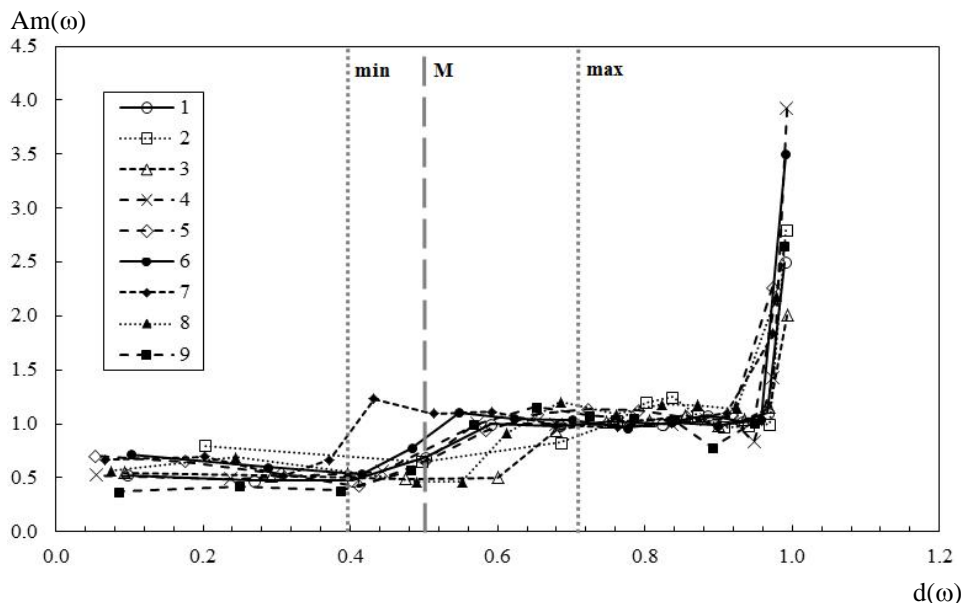


Рис. 2. Залежність відносної питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  ( $A_m(\omega)$ ) у деревині модельних дерев (№ 1 - 9) на висоті 1,3 м від відносного діаметра групи річних кілець ( $d(\omega)_{1,3m}$ ) у 2015 р.

женнях збігається з радіальним переходом заболоні в ядрову деревину стовбурів дерев. Зазначене явище потребує подальшого дослідження на більш репрезентативному матеріалі, отриманому із соснових деревостанів різних вікових класів.

Розподіл питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  за згрупованими календарними роками формування деревини річних кілець стовбура на висоті 1,3 м (рис. 3) підтверджує результати більшості вчених [7, 11, 12, 18], що радіонуклід проникає в деревні річні кільця, які виникли в доаварійний період.

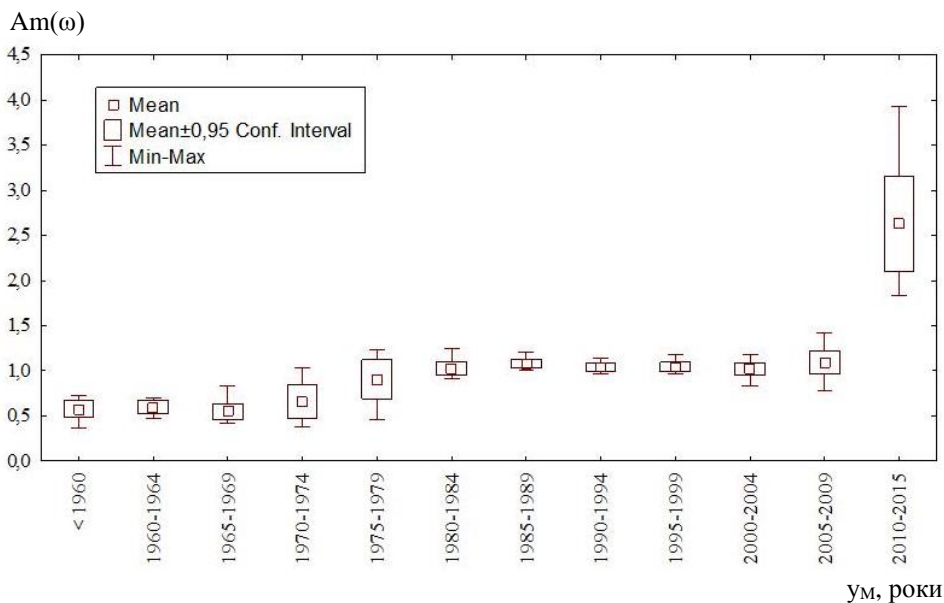


Рис. 3. Зміна відносної питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  ( $A_m(\omega)$ ) від календарних років формування деревини річних кілець стовбура ( $u_M$ ) на висоті 1,3 м у 2015 р.

Найбільша мінливість відносної питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  спостерігається в наймолодших кільцях –  $2,6 \pm 0,5^5$ . У деревині 1980 - 2009 рр. відносний вміст  $^{137}\text{Cs}$  мало змінюється  $1,05 \pm 0,03$ , мінімальна відносна питома активність радіонукліда спостерігається в найстаріших шарах деревини ( $\leq 1969$  р.) біля серцевини стовбура –  $0,57 \pm 0,04$ . Таким чином, відносна питома активність  $^{137}\text{Cs}$

( $A_m(\omega)$ ) в деревині модельних дерев (на висоті 1,3 м залежно від відносного діаметра стовбура ( $d(\omega)_{1,3m}$ ) може бути описана так:

$$A_m(\omega) = 0,63 \pm 0,08 \text{ при } d(\omega)_{1,3m} \leq 0,55;$$

$$A_m(\omega) = 1,01 \pm 0,04 \text{ при } 0,55 < d(\omega)_{1,3m} \leq 0,95;$$

$$A_m(\omega) = 2,1 \pm 0,5 \text{ при } 0,95 < d(\omega)_{1,3m} \leq 1,0.$$

<sup>5</sup> Довірчий інтервал.

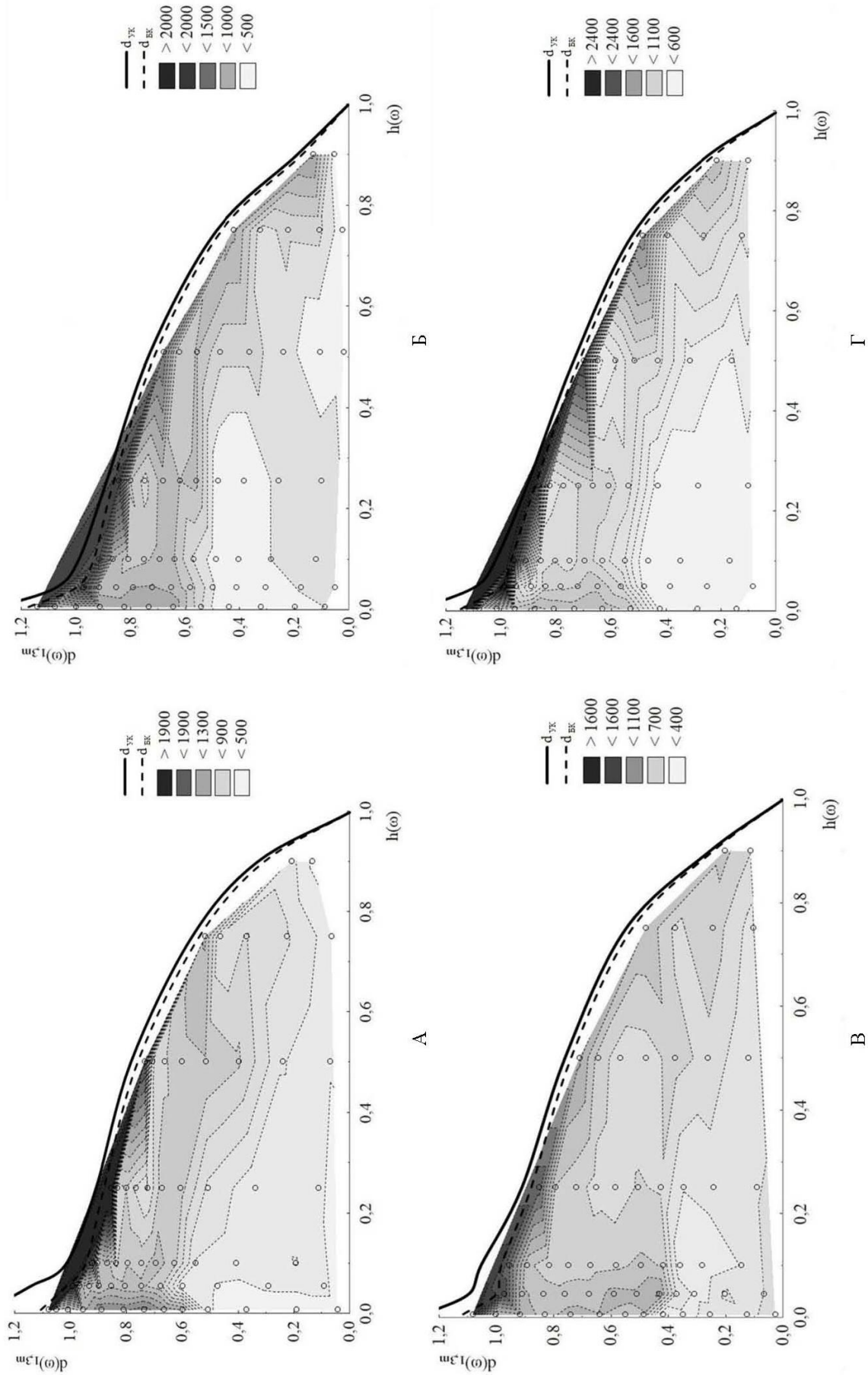


Рис. 4. Розподіл питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у стовбуровій деревині модельних дерев,  $\text{Bq}\cdot\text{кг}^{-1}$ :  
 А – дерево № 3; Б – дерево № 5; В – дерево № 7; Г – дерево № 9 (круглими маркерами вказані місця відбору зразків деревини).

Основним завданням даних досліджень є не лише представити радіальний розподіл активності  $^{137}\text{Cs}$  на висоті 1,3 м чи відносних висотах дерев, що було здійснено великою кількістю науковців раніше [7, 11, 16, 18], а й висвітити аспекти розподілу вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в поздовжньому перерізі деревного стовбура. Закономірності просторового розподілу питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  в деревині стовбура чотирьох модельних дерев на різних висотах подано на рис. 4 за допомогою інтерпретації графіком типу Wafer (поверхня якого будується на основі лінійної інтерполяції). На осі абсцис вказана відносна висота ( $h(\omega)$ ), на осі ординат – відносний діаметр ( $d(\omega)_{1,3\text{м}}$ ). Лінія з позначенням ( $d_{\text{УК}}$ ) є твірною стовбура в корі, а ( $d_{\text{БК}}$ ) є твірною стовбура без кори, яка визначає фактичні межі деревини стовбура. Круглими маркерами вказані місця відбору зразків деревини.

Аналіз особливостей розподілу вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у деревині стовбурів (див. рис. 4) виявив у всіх чотирьох досліджених деревах підвищену питому активність  $^{137}\text{Cs}$  на ділянці біля комлевої частини стовбура в проміжку відносних діаметрів 0,5 - 1,0. Це може призвести до консервативних оцінок – викликати завищення результатів середньої пито-

мої активності деревини дерева, якщо при відборі її зразків вирізуються диски на висоті дерева до 1,3 м. Однак при відборі зразків віковим буром більший об'єм деревини потрапляє з внутрішніх шарів деревини стовбура (біля серцевини), що, навпаки, занижує середнє значення концентрації  $^{137}\text{Cs}$  в деревині стовбура на висоті 1,3 м.

Середні значення відносної питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  в деревині річних кілець за певні роки наведено на рис. 5. Аналіз розподілу питомої активності в деревині вказує на поступове її зменшення в периферійних шарах із збільшенням висоти, але при цьому забруднення серцевини зростає з 0,5 до 0,7, так як її формують більш пізні річні кільця. Наразі більшість експериментальних робіт учених засвідчують збільшення середньої питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  в деревині із збільшенням висоти дерева, однак зустрічаються дослідження, коли сумарна активність деревини вершини виявлялась меншою, ніж комля, що є цілком імовірним на певній відстані від самого кінчика вершини у випадку тривалого пригнічення дерева та формуванні незначних радіальних приростів протягом останніх років життя дерева [7 - 9, 11].

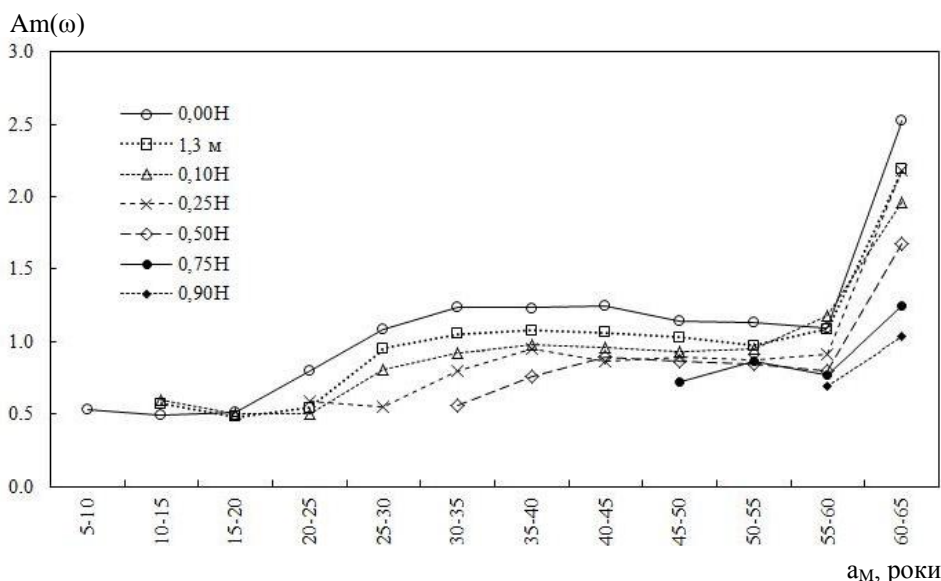


Рис. 5. Середні значення відносної питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  деревини стовбурів за групами річних кілець на різних висотах.

Більшість отриманих результатів даної роботи є цілком співставними з даними, отриманими іншими авторами, хоча були виявлені певні відмінності. Так, у публікації О. О. Орлова для насаджень сосни звичайної віком 60 - 65 років у 2004 р. на ділянках, що знаходяться в межах 1 км від пробної площі, де проводились описані в цій роботі дослідження [11], не спостерігається різке збільшення вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в шарах деревини (майже у 2 рази) в інтервалі вікових груп 1970 -

1979 рр. у напрямку руху від серцевини до периферії. У більш ранній публікації Yves Thiry, Francois Goora, Thomas Riesen (2002) не виявлений пік концентрації в периферійних річних кільцях, однак спостерігаються схожі з нашими експериментальними матеріалами «стрибкоподібні» збільшення активності річних шарів деревини [16]. Найбільша подібність наших результатів виявлена з дослідженнями А. Н. Перелюцького [7].

## Висновки

1. Використання відносних показників – діаметра, висоти, питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  – для зразків деревини, виділених для деревини річних кілець за певні роки, дає змогу покращити аналіз та інтерпретацію експериментальних даних.

2. Підтверджено, що найбільша питома активність  $^{137}\text{Cs}$  спостерігається на периферійних, наймолодших шарах деревини сосни звичайної;  $^{137}\text{Cs}$  проникає у прирости, сформовані до аварії на ЧАЕС. Так, за результатами обробки експериментального матеріалу встановлено, що в доаварійних річних кільцях (1980 - 1984 рр.) вміст досліджуваного радіонукліда достовірно не відрізняється від більш пізніших шарів (1990 - 2004 рр.), що підтверджується іншими публікаціями за даним напрямком для дерев і деревостанів, які характеризувалися іншими таксаційними

показниками [7, 11 та ін.]. За результатами досліджень вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у стовбурі дерев на висоті 1,3 м виділено три інтервали відносних діаметрів шарів деревини, що характеризуються значними відмінностями в значеннях питомої активності радіонукліда в деревині:

$$d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 0,55 \quad (Am(\omega) = 0,63 \pm 0,08),$$

$$0,55 < d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 0,95 \quad (Am(\omega) = 1,01 \pm 0,04),$$

$$0,95 < d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 1,0 \quad (Am(\omega) = 2,1 \pm 0,5).$$

3. Більш детальних досліджень потребують закономірності розподілу питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  в поздовжньому розрізі деревного стовбура для більш точного визначення середньої питомої активності радіонукліда в деревині стовбура на основі зразків деревини кернів, які отримуються за допомогою прирослих чи вікових бурів (бурів Плесслера) як одного з найбільш поширених способів оцінки забруднення деревини  $^{137}\text{Cs}$  в насадженнях без рубки модельних дерев.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Краснов В.П., Орлов А.А., Иркиенко С.П. и др.* Рекомендации по ведению лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения / Под ред. В. П. Краснова. - Київ: Аграрна наука, 1995. - 64 с.
2. *CD, IATLAS, Ukraine, radioactive contamination, MES.* - ТОВ «Інтелектуальні Системи ГЕО», 2008.
3. *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience: report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. (Radiological Assessment Reports Series).* STI/PUB/1239. - Vienna: International Atomic Energy Agency, 2006 - 166 p.
4. *Assessing radiation doses to the public from radionuclides in timber and wood products.* IAEA-TECDOC-1376. - Vienna: International Atomic Energy Agency, 2003. - 61 p.
5. *Гігієнічний норматив питомої активності радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у деревині та продукції з деревини (ГНПАР-2005).* Затверджено Наказом МОЗ України від 31.10.2005. № 573. - 3 с.
6. *Повернення в господарське використання для виробництва біоенергоресурсів відчужених радіоактивно забруднених територій: звіт про НДР / Кер. НДР В. О. Кашпаров. № ДР 0109U000780 / УкрНДІСГР НУБіП України.* - Київ, 2013. - 366 с.
7. *Переволоцкий А.Н.* Распределение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в лесных биогеоценозах. - Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. - 255 с.
8. *Щеглов А.И.* Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. - Москва: Наука, 2000. - 268 с.
9. *Shcheglov A., Tsvetnova O., Klyashtorin A.* Biogeochemical cycles of Chernobyl-born radionuclides in the contaminated forest ecosystems. Long-term dynamics of themigration processes // *Journal of Geochemical Exploration.* - 2014. - Vol. 144. - 2014. - P. 260 - 266.
10. *Иркиенко С.П., Краснов В.П., Дмитренко О.Г., Орлов О.О.* Особливості радіального розподілу  $^{137}\text{Cs}$  в деревині сосни звичайної // *Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України.* - 2001. - Вип. 2 (8). - С. 60 - 65.
11. *Орлов О.О.* Закономірності радіального розподілу  $^{137}\text{Cs}$  у стовбуровій деревині головних лісоутворювальних порід Українського Полісся // *Лісівництво і агролісомеліорація.* - 2009. - Вип. 116. - С. 214 - 220.
12. *Шитюк К.Ф., Орлов О.О., Мельничук С.* Порівняльна оцінка розподілу  $^{137}\text{Cs}$  в екосистемах соснових та сосново-дубових лісів Українського Полісся // *Ядерна фізика та енергетика.* - 2010. - Т. 11, № 1. - С. 74 - 81.
13. *Давидов М.М., Протас Т.І., Савущик М. П.* Накоплення радіонуклідів в основних компонентах лісових екосистем Київських Полісся та Лісостепу // *Ядерна енергетика та довкілля.* - 2014. - № 2 (4). - С. 25 - 31.
14. *Ландін В.П.* Особливості відновлення лісокористування в лісах, забруднених радіонуклідами // *Науковий вісник НЛТУ України.* - 2013. - Вип. 23.11. - С. 38 - 43.
15. *СОУ 02.02-37-476 : 2006.* Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. - Введ. 26.12.2006. - Київ: Мінагрополітики України, 2006. - 32 с.
16. *Анучин Н.П.* Лесная таксация. - 5-е изд., доп. - Москва: Лесная промышленность, 1982. - 550 с.
17. *Thiry Yves, Goor Francois, Riesen Thomas.* The tree distribution and accumulation of radiocaesium in stem of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Journal of Environmental Radioactivity.* - 2002. - Vol. 58. - Iss. 2-3. - P. 243 - 259.
18. *Midori Chigira, Yuko Saito, Kan Kimura.* Distribution of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in annual tree rings of Japanese cedar. *Cryptomeria japonica* D. Don // *J. Radiation research.* - 1988. - Vol. 29. - P. 152 - 160.

Д. Н. Голяка, С. Е. Левчук, В. П. Процак, В. А. Кашпаров

Украинский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии НУБиП Украины, Киев

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ  $^{137}\text{Cs}$  В ДРЕВЕСИНЕ  
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)  
ЖИТОМИРСКОГО ПОЛЕСЬЯ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ**

С помощью рассчитанных показателей (относительный диаметр, относительная высота и относительная удельная активность  $^{137}\text{Cs}$ ) для образцов древесины, отобранных в разных частях продольных сечений древесных стволов, осуществлена статистическая и графическая интерпретация закономерностей распределения  $^{137}\text{Cs}$  в древесине модельных деревьев сосны обыкновенной. Обнаружена однородность выборок наблюдений для продольных сечений исследуемых древесных стволов по относительной удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в древесине, рассчитанной на основе отношения удельной активности данного радионуклида в древесине годовых колец за определенные годы к их медиане на высоте 1,3 м. Выделены три интервала относительных диаметров древесины стволов модельных деревьев на высоте 1,3 м исследуемого древостоя, характеризующихся значительной разницей по удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ :  $d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 0,55$  ( $Am(\omega) = 0,63 \pm 0,08$ ),  $0,55 < d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 0,95$  ( $Am(\omega) = 1,01 \pm 0,04$ ),  $0,95 < d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 1,0$  ( $Am(\omega) = 2,1 \pm 0,5$ ).

**Ключевые слова:**  $^{137}\text{Cs}$ , радиоэкология, удельная активность, Чернобыльская авария, радиоактивное загрязнение, стволовая древесина, таксационные показатели, древесина годовых колец, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), лесные экосистемы.

D. M. Holiaka, S. E. Levchuk, V. P. Protsak, V. A. Kashparov

Ukrainian Institute of Agricultural Radiology of NULES of Ukraine, Kyiv

**DISTRIBUTION OF  $^{137}\text{Cs}$  ACTIVITY CONCENTRATION  
IN WOOD SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)  
OF ZHYTOMYR POLISSYA AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT**

Using the calculated values for wood samples (relative diameter, height and relative activity concentration of  $^{137}\text{Cs}$ ) selected in different parts of the profile tree stems, statistical and graphical interpretation of the regularity of the distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in the wood of model trees of Scots pine were performed. In the research detected observation uniformity of samples in the studied profiles stems for the relative activity concentration of  $^{137}\text{Cs}$ , calculated on the base of the ratio of the activity concentration of tree rings for certain years to their median at height of 1.3 m. Three intervals of the relative diameters for stem wood of model trees at height of 1.3 m of the study stand were obtained, that is characterized by significant difference on the activity concentration of  $^{137}\text{Cs}$ :  $d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 0,55$  ( $Am(\omega) = 0,63 \pm 0,08$ ),  $0,55 < d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 0,95$  ( $Am(\omega) = 1,01 \pm 0,04$ ),  $0,95 < d(\omega)_{1,3\text{m}} \leq 1,0$  ( $Am(\omega) = 2,1 \pm 0,5$ ).

**Keywords:**  $^{137}\text{Cs}$ , radioecology, activity concentration, the Chernobyl accident, radioactive contamination, stem wood, inventory indicator, the wood growth rings, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), forest ecosystems.

REFERENCE

1. Krasnov V.P., Orlov A.A., Irklienko S.P. et al. Recommendations on forest management in conditions of radioactive contamination / Ed. V. P. Krasnov. - Kyiv: Agrarna nauka, 1995. - 64 p. (Rus).
2. CD, IATLAS, Ukraine, radioactive contamination, MES, Ltd. "Intellectual systems GEO", 2008.
3. Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience: report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. (Radiological Assessment Reports Series). STI/PUB/1239. - Vienna: International Atomic Energy Agency, 2006 - 166 p.
4. Assessing radiation doses to the public from radionuclides in timber and wood products. IAEA-TECDOC-1376. - Vienna: International Atomic Energy Agency, 2003. - 61 p.
5. Sanitary standard of activity concentration of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in wood and products of wood (HNPAP 2005). - Approved by the Ministry of Health of Ukraine of 31.10.2005. - No. 573. - 3 p. (Ukr)
6. Return to economic use for the production of bio-energy resources at the excluded radioactively contaminated areas: Report on research work / Head of research V. A. Kashparov. State registration number of research 0109U000780 / UIAR NULES Ukraine. - Kyiv, 2013, - 366 p. (Ukr)
7. Perevolotsky A.N. Distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in forest biogeocenoses. - Gomel: RSRUE "Institute of Radiology", 2006. - 255 p. (Rus)
8. Shcheglov A.I. Biogeochemistry of artificial radionuclides in forest ecosystems. - Moskva: Nauka, 2000. - 268 p. (Rus)
9. Shcheglov A., Tsvetnova O., Klyashtorin A. Biogeochemical cycles of Chernobyl-born radionuclides in the contaminated forest ecosystems. Long-term dynamics of the migration processes // Journal of Geochemical Exploration. - Vol. 144. - 2014. - P. 260 - 266.
10. Irkliyenko S.P., Krasnov V.P., Dmitrenko O.G., Orlov O.O. Features of the radial distribution of  $^{137}\text{Cs}$



- in wood of *Pinus sylvestris* // Problemy ekologiyi lisiv i lisokorystuvannya na Polissi Ukrayiny. - 2001. - Vol. 2 (8). - P. 60 - 65. (Ukr)
11. Orlov O.O. Regularities of  $^{137}\text{Cs}$  radial distribution in stem wood of the main forest-forming tree species of Ukrainian Polyssya // Lisivnytstvo i agrolisomelioratsiya. - 2009. - Iss. 116 - P. 214 - 220. (Ukr)
  12. Shytyuk K.F., Orlov O.O., Melnychuk S.D. Comparative evaluation of the  $^{137}\text{Cs}$  distribution in the pine and pine-oak forest ecosystems of Ukrainian Polissia // Yaderna fizyka ta energetyka (Nucl. Phys. At. Energy. - Vol. 11, No. 1. - 2010. - P 74 - 81. (Ukr)
  13. Davydov M.M., Protas T.I., Savuschik M.P. Accumulation of radionuclides in major forest ecosystems in the zones Polissya and Forest-steppe of Kyiv region // Yaderna energetyka ta dovkillya. - 2014. - No. 2 (4). - P 25 - 31. (Ukr)
  14. Landin V.P. On the resumption of forest management in forests contaminated // Naukovyi visnyk NLTU Ukrayiny. - 2013. - Iss. 23.11. - P. 38 - 43. (Ukr)
  15. SOU 02.02-37-476 : 2006. Areas of trial forest inventory. Method of laying. - Enter. 26.12.2006. - Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 2006. - 32 p. (Ukr)
  16. Anuchin N.P. Forest mensuration. - 5-th ed., ext. - Moskva: Lesnaya promyshlennost', 1982. - 550 p. (Rus)
  17. Thiry Yves, Goor Francois, Riesen Thomas. The tree distribution and accumulation of radiocaesium in stem of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Journal of Environmental Radioactivity. - 2002. - Vol. 58. - Issues 2 - 3. - P. 243 - 259.
  18. Midori Chigira, Yuko Saito, Kan Kimura. Distribution of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in annual tree rings of Japanese cedar, *Cryptomeria japonica* D.Don // J. Radiation research. - 1988. - Vol. 29. - P. 152 - 160.

Надійшла 24.10.2016

Received 24.10.2016