

УДК 551.521

О. О. ОРЛОВ *

**ЗАКОНОМІРНОСТІ РАДІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ^{137}Cs У СТОВБУРОВІЙ
ДЕРЕВИНІ ГОЛОВНИХ ЛІСОУТВОРЮВАЛЬНИХ ПОРІД
УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ**

Поліський філіал УкрНДЛГА ім. Г. М. Висоцького

Вивчено розподіл ^{137}Cs у періодичних радіальних приростах деревини стовбура головних деревних порід Українського Полісся. Проаналізовано розподіл радіонукліду між до- та післячорнобильськими річними кільцями деревини у різних деревних видів. Показано, що в усіх радіальних періодичних приростах деревини загальною закономірністю є значне зменшення питомої активності ^{137}Cs з висотою. Ключові слова: радіальний розподіл ^{137}Cs , головні деревні породи, Українське Полісся, періодичний радіальний приріст.

Вивчення радіального розподілу ^{137}Cs у деревині стовбура головних лісоутворювальних порід є важливим із практичного погляду, адже дає змогу прогнозувати її радіоактивне забруднення, а також можливість зменшення в ній вмісту ^{137}Cs шляхом обробки, зокрема при виробництві обрізних пиломатеріалів. Однак, радіальний розподіл ^{137}Cs у стовбурі визначається складним комплексом чинників: деревною породою, віком дерева, висотою відбору зразка, типом лісорослинних умов тощо, що вимагає спеціального дослідження кожного зі згаданих чинників.

Радіальний розподіл ^{137}Cs у стовбуровій деревині привертав увагу дослідників, при цьому абсолютна більшість із них вказували на максимальний вміст згаданого радіонукліду у наймолодшому периферійному кільці та значне зменшення цього показника у центральній частині стовбура [1, 8, 11, 12]. При цьому підкреслювали [7], що швидке зменшення питомої активності ^{137}Cs є характерним для кількох наймолодших річних кілець деревини, тоді як між центральними кільцями радіонуклід розподілений більш-менш рівномірно. За даними М. Г. Бузинного [10], у кожному з річних кілець деревини сосни питома активність ^{137}Cs розподілена нерівномірно – у більшості випадків вміст радіонукліду у пізній деревині є на 20 – 30 % вищим порівняно з ранньою деревиною. І. М. Булавик [1] продемонстрував, що радіальний розподіл ^{137}Cs у різновікових дерев сосни є специфічним: у молодих дерев майже 100 % цього радіонукліду зосереджено у післяаварійних радіальних приростах деревини; у дерев віком 25 – 35 років запас ^{137}Cs у післяаварійних річних кільцях сягає близько 50 %; у 50-річних – до 30 %. Радіальний розподіл ^{137}Cs у деревині різних порід Білоруського Полісся розглянув О. М. Переволоцький [8]. Ним, зокрема, показано менше відношення питомої активності ^{137}Cs у крайніх 5-річних радіальних приростах деревини сосни звичайної порівняно з дубом звичайним та вільхою чорною. Також дослідником зроблено важливий висновок про необхідність вивчення не лише радіального розподілу питомої активності цього радіонукліду у деревині, але й його сумарної активності. Публікацій стосовно радіального розподілу ^{137}Cs у деревині різних порід у Поліссі України нами не виявлено.

Мета роботи полягала у вивченні радіального розподілу ^{137}Cs у деревині головних лісоутворювальних порід Полісся України: сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), дуба звичайного (*Quercus robur* L.), вільхи чорної (*Alnus glutinosa* (L.) P.Gaertn.), осики звичайної (*Populus tremula* L.) та берези повислої (*Betula pendula* Roth).

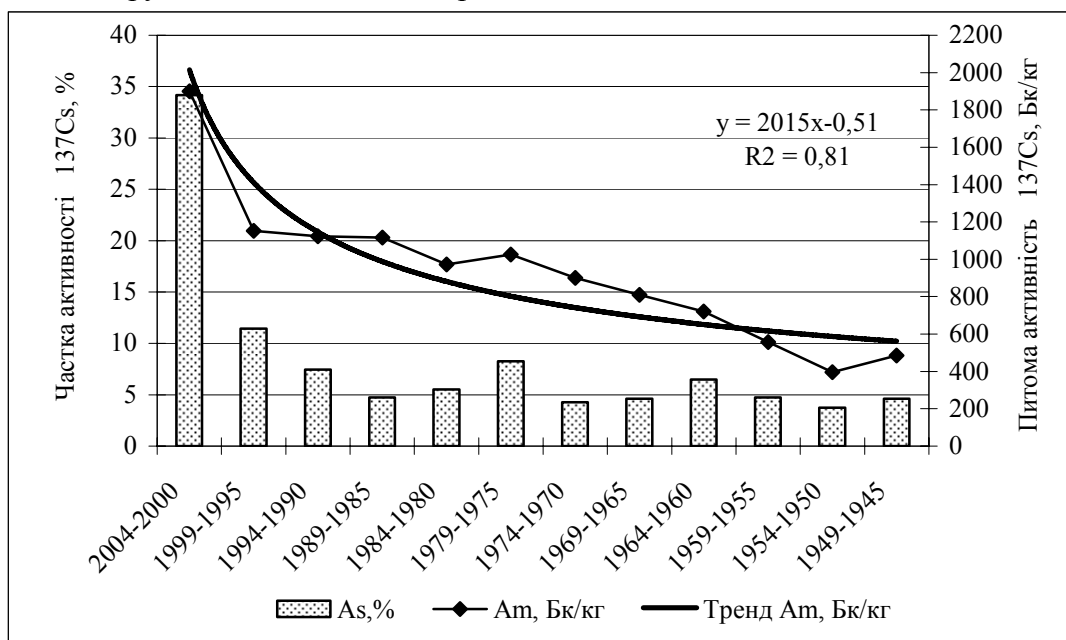
Дослідження проведені у 2004 р. на постійних пробних площах (ППП), закладених у насадженнях ДП "Лугинське ЛГ" Житомирського обласного управління лісового та мисливського господарства. Коротка таксаційна характеристика пробних площ: ППП-55 (Повчанське л-во, кв. 49, вид. 15) характеризувалася віком 64 роки, складом насадження 10С, середньою висотою 18,6 м, середнім діаметром 19,2 см, ТЛУ – В₂, щільністю забруднення ґрунту 359 кБк/м²; ППП-69 (Повчанське л-во, кв. 50, вид. 12) мала вік 60 років, склад 8С2Б,

* © О. О. Орлов, 2009

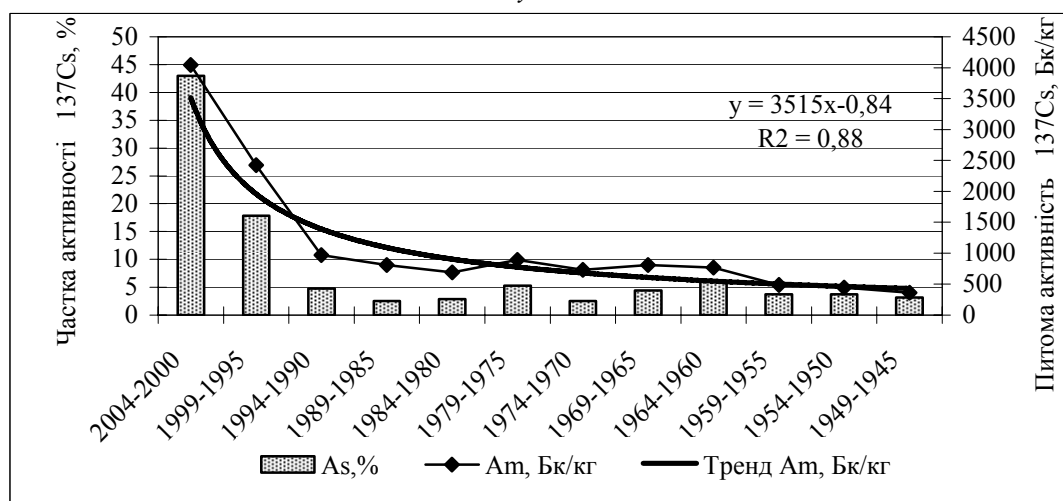
од. Д, Ос, Влч, середню висоту 26,3 м, середній діаметр 24,4 см, ТЛУ – С₃, щільність забруднення ґрунту – 341 кБк/м².

Методика досліджень полягала у проведенні за загальноприйнятими у лісівництві й лісовій таксації методами переобліку на пробних площах та підборі модельних дерев. Стовбури модельних дерев для визначення ходу росту розпилювали на 2-метрові відрізки, з верхніх торців яких отримували зрізи кілець завтовшки 2 – 3 см. Їх у лабораторних умовах висушували протягом 72 год. при температурі +105°С до повітряно-сухої маси. Потім зрізи ножем розділяли на 5-річні радіальні періодичні прирости деревини у напрямку від периферії стовбуру до центру, кожен із яких враховували як окремий зразок, подрібнювали та аналізували на вміст ¹³⁷Cs на спектроаналізаторі СЕГ-001 "АКП-С"-150 із сцинтиляційним детектором БДЕГ-20Р2. Статистичну обробку отриманих результатів проведено з використанням стандартного пакету Excel.

Результати спектрометричних досліджень зразків 5-річних радіальних періодичних приростів, відібраних на висоті 1,3 м у 60-річних дерев головних лісоутворювальних порід (рис. 1), демонструють важливі закономірності.

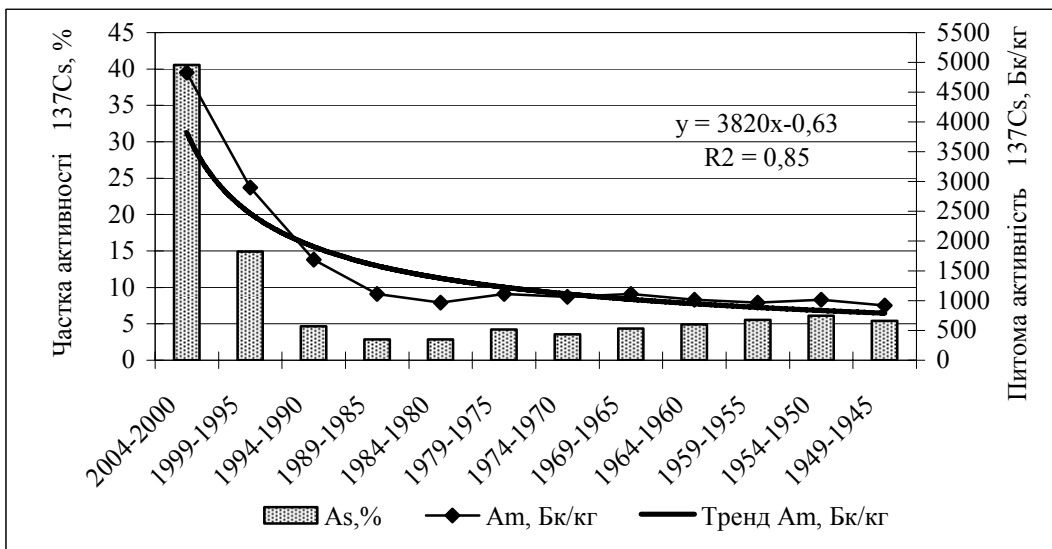


Примітка: тут і далі As – сумарна активність ¹³⁷Cs, Бк; Am – питома активність ¹³⁷Cs, Бк/кг *Pinus sylvestris* L.

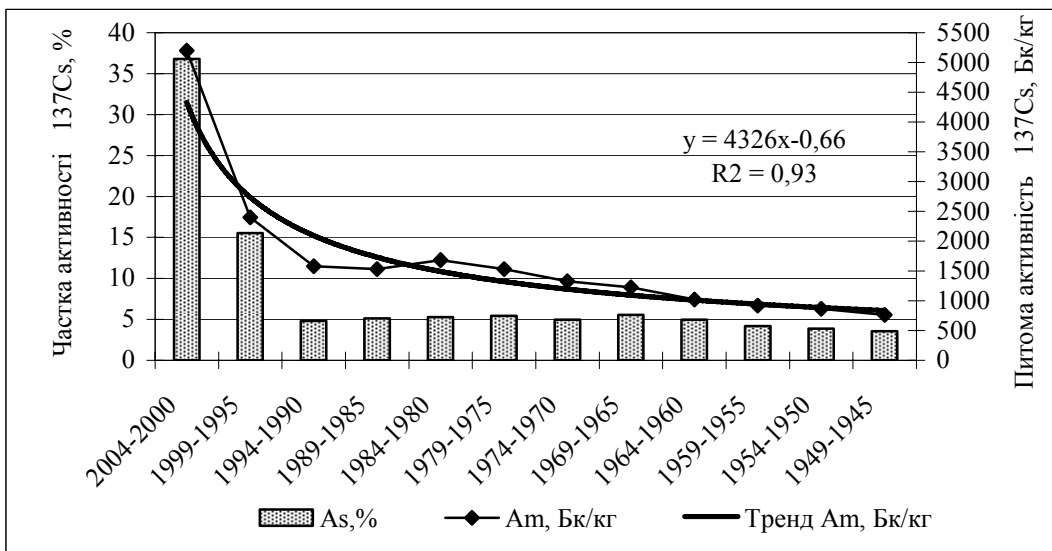


Quercus robur L.

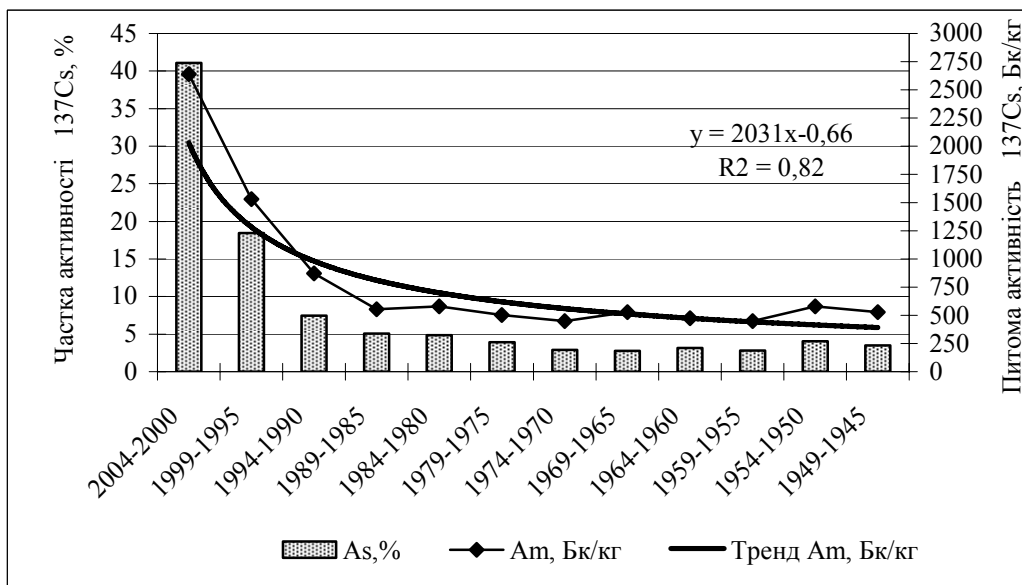
Рис. 1 – Радіальний розподіл ¹³⁷Cs у деревині 60-річних дерев головних лісоутворювальних порід Українського Полісся на висоті 1,3 м



Alnus glutinosa (L.) P.Gaertn.



Populus tremula L.



Betula pendula Roth

Продовження рис. 1 – Радіальний розподіл ¹³⁷Cs у деревині 60-річних дерев головних лісоутворювальних порід Українського Полісся на висоті 1,3 м

Зокрема, чітко видно, що в усіх проаналізованих деревних порід питома активність ^{137}Cs у 5-річних радіальних періодичних приростах майже монотонно зменшувалася від периферії стовбура до його центральної частини. Відношення цього показника у крайніх радіальних періодичних приростах – наймолодшому (2000 – 2004 рр.) та найстарішому (1945 – 1949 рр.) становило: у сосни – 3,9 разу; дуба – 11,1 разу; вільхи – 5,3 разу; осики – 6,8 разу; берези – 5 разів. При цьому загальною закономірністю щодо всіх наведених деревних порід є зменшення питомої активності ^{137}Cs у деревині у радіальному напрямку – стрибкоподібне у 1 – 2 периферійних періодичних приростах і повільне – у решті, що задовільно апроксимується мультиплікативним рівнянням виду: $Y = aX^b$, де Y – питома активність ^{137}Cs у радіальному періодичному прирості, Бк/кг; X – порядковий номер 5-річного радіального приросту від крайнього периферійного. Зазначений зв'язок у всіх деревних порід є тісним, з діапазоном коефіцієнта детермінації (R^2) від 0,81 у сосни до 0,93 у осики.

Однак, на нашу думку, крім аналізу питомої активності ^{137}Cs у періодичних радіальних приростах для об'єктивнішої картини доцільно проаналізувати в них також розподіл сумарної активності радіонукліду, адже різновікові річні кільця мають різну лінійну протяжність, товщину, об'єм, об'ємну щільність, співвідношення ранньої та пізньої деревини тощо. Тому нами проаналізовано розподіл сумарної активності ^{137}Cs Бк/радіальний періодичний приріст (на висоті 1,3 м) для досліджуваних деревних порід. Отримані дані свідчать, що загальний розподіл сумарної активності ^{137}Cs є доволі подібним до розподілу його питомої активності. Втім, спостерігаються певні відмінності. Зокрема, така відмінність полягає в тому, що сумарна активність у передчорнобильських радіальних періодичних приростах характеризується доволі рівномірним розподілом, при цьому тренд зменшення цього показника у центральних радіальних приростів практично відсутній, що обумовлюється збільшенням ширини річних кілець, а також їхньої об'ємної щільності у центральних радіальних приростів.

Таким чином, підтверджено, що всім проаналізованим деревним породам властивою є загальна тенденція – абсолютний максимум як питомої, так і сумарної активності ^{137}Cs щорічно зміщується у наймолодше, найбільш фізіологічно активне річне кільце, яке формується. Слід особливо підкреслити те, що частково радіонуклід надходить у зазначене річне кільце завдяки кореневому поглинанню деревом ^{137}Cs із ґрунту та ксилемному акропетальному потоку радіонукліда, інша ж частка активності радіонукліда надходить до наймолодшого річного кільця з кількох попередніх річних кілець. При цьому фізіологічно активними у проведенні вологи у сосни є 3 – 7 річних кілець та близько 10 % площі заболоні [4]; у кільцепорових порід (наприклад, дуба) – 2 – 3 кільця; у розсіянопорових порід (осики, берези, вільхи) – 5 – 15 річних кілець [6]. Таким чином, у 60-річних дерев проаналізованих порід ^{137}Cs виявлений у всіх радіальних періодичних приростах, у т. ч. дочорнобильських. Надходження радіонукліда до останніх обумовлене не корневим надходженням із ґрунту, а дифузією та доволі активним потоком радіонукліда разом із калієм із периферійної частини стовбура до його центру, чому сприяє переважне знаходження ^{137}Cs та калію у деревині у водорозчинній формі [3]. За даними П. Крамера, Т. Козловського [6], таке переміщення відбувається завдяки діяльності серцевинних променів, які в середньому займають близько 17 % об'єму деревини у листяних порід і 8 % – у хвойних. Діяльністю саме серцевинних променів обумовлена значна частка активності ^{137}Cs , яка сумарно міститься у дочорнобильських кільцях проаналізованих деревних порід (рис. 2) – від 32,98 % у берези до 46,95 % у сосни.

За співвідношенням сумарної активності ^{137}Cs у крайніх радіальних періодичних приростах досліджені деревні породи утворюють такий ранжований ряд: дуб (13,5 разу) > береза (11,8 разу) > осика (10,3 разу) > вільха (7,5 разу) > сосна (7,4 разу). Розрахунки свідчать, що у периферійному 5-річному радіальному прирості 2000 – 2004 рр. містилося: у сосни – 34,16 % активності всього перерізу стовбура на висоті 1,3 м; дуба – 42,97 %; вільхи – 40,55 %; осики – 36,81 %; берези – 41,09 %. Наведені дані свідчать, що виробництво обрізних

пиломатеріалів є дієвим методом зменшення вмісту ^{137}Cs у деревній продукції, що й було реалізовано нами у гігієнічному нормативі на вміст ^{137}Cs у деревині та продукції з деревини [2]. Одночасно вказано на те, що реалізація обапелів на паливо (продукція – паливні пучки) в умовах радіоактивного забруднення є проблематичною та недоцільною у багатьох випадках внаслідок їх значного радіоактивного забруднення.



Рис. 2 – Розподіл активності ^{137}Cs між дочорнобильськими та післячорнобильськими радіальними періодичними приростами деревини у різних порід

Важливим як із наукового, так і з практичного погляду є аналіз вмісту ^{137}Cs у радіальних періодичних приростах на різній висоті стовбура дерева. Знайдені закономірності проаналізовано на прикладі сосни на ППП-55 у свіжих суборах (B_2) (табл. 1).

З даних табл. 1 випливає, що на всіх висотах стовбура характерною є описана вище закономірність – мультиплікативне зменшення питомої активності ^{137}Cs від периферійних кілець до центральних. Також загальною закономірністю є зменшення з висотою різниці питомої активності ^{137}Cs у крайніх радіальних періодичних приростах. Так в окоренку ($h = 0$ м) значення показника сягало 4,7 разу; на висоті 1,3 м – 4,1 разу; 9 м – 3,2 разу; 17 м – 1,4 разу. Зазначене явище пов'язане у сосни з різним співвідношенням об'єму фізіологічно активної заболонної та більш інертної серцевинної деревини на різних висотах стовбура.

Дані табл. 1 чітко демонструють значне зменшення питомої активності ^{137}Cs з висотою у всіх радіальних періодичних приростів, яке для кожного радіального періодичного приросту задовільно апроксимується експоненційним рівнянням виду:

$$Y = a \cdot e^{-bX}$$

де Y – питома активність ^{137}Cs у радіальному періодичному прирості деревини, Бк/кг;

X – порядковий номер радіального періодичного приросту деревини від периферійного.

Високі значення коефіцієнта детермінації (R^2) наведеної залежності для всіх радіальних періодичних приростів – від 0,77 для приросту 2000 – 2004 рр. до 0,88 для приросту 1985 – 1989 рр. – свідчать про її закономірний характер. Так, наприклад, у радіального періодичного приросту 2000 – 2004 рр. на висоті 0 м (окоренок) питома активність ^{137}Cs сягала 3400 Бк/кг, а на висоті 19 м (верхівка) – 2011 Бк/кг, різниця сягала 1,69 разу. Відповідні значення приросту 1995 – 1999 рр. сягали 2853 та 1447 Бк/кг, а різниця – 1,97 разу. Для решти радіальних періодичних приростів спостерігалася аналогічна картина.

Цікавим також є стрибкоподібне зменшення зазначеного показника у радіальних періодичних приростах, починаючи з нижньої межі крони, доверху. Наприклад, питома активність ^{137}Cs радіального періодичного приросту 2000 – 2004 рр. під кроною ($h = 13$ м)

сягала 2100 Бк/кг, на початку крони (h = 15 м) цей показник зменшився до 1740 Бк/кг, а в центральній частині крони (h = 17 м) – до 1720 Бк/кг.

Таблиця 1

Питома активність ^{137}Cs у радіальних періодичних приростах (Бк/кг) на різній висоті стовбура сосни (ППП-55, ТЛУ – В₂)

Висота, м	Радіальні періодичні прирости деревини, роки						
	2004 – 2000	1999 – 1995	1994 – 1990	1989 – 1985	1984 – 1980	1979 – 1975	1974 – 1970
19	2011						
17	1720	1447	1306	1218			
15	1740	1376	1152	1317			
13	2100	1692	1547	1250	1201	1299	
11	2300	1700	1530	1157	1007	935	803
9	2230	2097	1557	1054	942	897	831
7	2300	1750	1647	1073	953	746	746
5	2120	1924	1301	1139	878	804	843
3	2400	2200	1542	1166	1037	1073	844
1,3	2500	2060	1367	1059	835	824	840
1	2900	2565	1392	1058	902	719	881
0	3400	2853	1750	1394	1606	1414	1114

Продовж. табл. 1

Висота, м	Радіальні періодичні прирости деревини, роки						
	1969 – 1965	1964 – 1960	1959 – 1955	1954 – 1950	1949 – 1945	1944 – 1940	1939 – 1935
11	477						
9	932	699					
7	636	748	866				
5	851	868	719	828			
3	839	963	922	764	623		
1,3	813	894	751	665	653	616	
1	816	847	736	735	548	611	444
0	1128	1130	1116	1168	941	824	731

Отримані вище дані добре корелюють із висновками, зробленими нами раніше [5, 9], а також отриманими іншими дослідниками [1, 8]. Максимальні значення питомої активності ^{137}Cs в окоренковій частині стовбура сосни добре корелюють з особливостями анатомічної будови її деревини на цій висоті, зокрема максимальною кількістю серцевинних променів – провідників вологи у радіальному напрямку, а також функціонуванням зони запасання резервної вологи [4].

Висока мобільність ^{137}Cs у деревині сосни пояснюється також тим, що близько 55 % активності цього радіонукліду знаходиться у цій тканині у водорозчинній формі й лише 14 % – у міцно фіксованій.

Висновки. Питома активність ^{137}Cs у 5-річних радіальних періодичних приростах деревини головних лісоутворювальних порід Українського Полісся майже монотонно зменшується від периферії стовбура до його центру. У 60-річних деревостанах співвідношення питомої активності ^{137}Cs у наймолодших та найстаріших 5-річних радіальних періодичних приростах деревини є мінімальним у сосни (3,9 разу), а максимальним – у дуба (11,1 разу). За співвідношенням у 60-річних деревостанах сумарної активності ^{137}Cs у наймолодших та найстаріших 5-річних радіальних періодичних приростах деревини деревні породи утворюють такий ранжований ряд: дуб > береза > осика > вільха > сосна. У головних лісоутворювальних порід Полісся України абсолютний максимум як питомої, так і сумарної активності ^{137}Cs щорічно зміщається у наймолодше річне кільце. У 60-річних деревостанах дочорнобильські радіальні прирости деревини містили від 32,98 % сумарної активності ^{137}Cs

у берези до 46,95 % у сосни. Питома активність ^{137}Cs всіх радіальних періодичних приростів деревини експоненційно зменшується зі збільшенням висоти відбору зразка. Виробництво обрізних пиломатеріалів з кругляка є дієвим методом зменшення вмісту ^{137}Cs у деревній продукції. Ефективність цього методу деконтамінації продукції різко зменшується зі зменшенням віку дерева.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Булавик *И.М.* Обоснование лесопользования в условиях радиоактивного загрязнения Белорусского Полесья. – Автореф. дисс. ... доктора с.-х. наук. – Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 1998. – 39 с.
2. Гігієнічний норматив питомої активності радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у деревині та продукції з деревини. – Гігієнічний норматив ГН 6.6.1-120-2005. – Видання офіційне. – Київ, 2005. – 12 с.
3. Диденко *Л. Г.* О содержании и формах нахождения ^{137}Cs и калия в хвое и древесине сосны // Проблемы лесоведения и лесоводства. – Сб. науч. трудов Ин-та леса НАН Беларуси. – Вып. 52. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2001. – С. 150 – 157.
4. Иванов *А. И.*, Дубинин *А. И.* Площадь сечения заболони и площадь зоны транзита влаги в ней у сосны обыкновенной // Лесоведение. – 1992. – № 5. – С. 28 – 37.
5. Ірклієнко *С. П.*, Краснов *В. П.*, Дмитренко *О. Г.*, Орлов *О. О.* Особливості радіального розподілу ^{137}Cs в деревині сосни звичайної // Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України. – Наук. праці. – Вип. 2 (8). – Житомир: Волинь, 2001. – С. 60 – 65.
6. Крамер *П. Д.*, Козловский *Т.* Физиология древесных растений. – Пер. с англ. Т. Айрола. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 464 с.
7. Краснов *В. П.* Радиоэкология лесов Полесья Украины. – Житомир: Волинь, 1998. – 112 с.
8. Переволоцкий *А. Н.* Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. – Гомель: РНИУП "Институт радиологии", 2006. – 255 с.
9. Турко *В. М.*, Ірклієнко *С. П.*, Орлов *О. О.*, Іванюк *І. Д.* Накопичення ^{137}Cs сосною звичайною у суборах Центрального Полісся України // Вісник Державної агроекологічної академії України. – 2000. – № 1. – С. 32 – 40.
10. Buzinny *M.*, Los' *I.*, Shepelevich *K.* The distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the biomass of pine trees planted in 1987 – 1988 in the near zone of the Chernobyl nuclear power plant // Applied Radiation and Isotopes. – 2000. – Vol. 52. – P. 905 – 910.
11. Masuchika *K.*, Yoshinobu *K.*, Katsuo *O. et al.* Distribution of environmental cesium-137 in tree rings // J. Environ. Radioactivity. – 1988. – Vol. 8. – P. 15 – 19.
12. Monoshima *N.*, Bondiotti *E.A.* The radial distribution of Sr-90 and Cs-137 in trees // J. Environ. Radioactivity. – 1994. – Vol. 22. – P. 93 – 109.

Orlov *O. O.*

REGULARITIES OF ^{137}CS RADIAL DISTRIBUTION IN TRUNK WOOD OF THE MAIN FOREST-FORMING TREE SPECIES OF UKRAINIAN POLYSSYA

Polysskiy Branch of UkrRIFFM named after G. M. Vysotsky

^{137}Cs distribution in the periodical radial increment of trunk wood of the main tree species of Ukrainian Polyssya has been researched. Radionuclide distribution between before- and after-Chernobyl annual tree rings was analyzed in different tree species. For all periodical radial wood increment an essential decrease of ^{137}Cs specific activity with height has been shown.

Key words: radial ^{137}Cs distribution, main tree species, Ukrainian Polyssya, periodical radial increment.

Орлов *А. А.*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ^{137}CS В СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЕ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

Полесский филиал УкрНИИЛХА им. Г. Н. Высоцкого

Изучено распределение ^{137}Cs в периодических радиальных приростах древесины ствола основных древесных пород Украинского Полесья. Проанализировано распределение радионуклида между пред- и послечернобыльскими годовыми кольцами древесины у разных древесных видов. Показано, что у всех радиальных периодических приростов древесины общей закономерностью является значительное уменьшение удельной активности ^{137}Cs с высотой.

Ключевые слова: радиальное распределение ^{137}Cs , основные древесные породы, Украинское Полесье, периодический радиальный прирост.

E-mail: polysskiy_branch@ukr.net

Одержано редколегією 7.10.2009 р.