



В. П. КРАСНОВ¹, О. В. ЖУКОВСЬКИЙ², О. О. ОРЛОВ²
ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВІДБОРУ ЗРАЗКІВ ДЕРЕВИНИ
СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ
ПИТОМОЇ АКТИВНОСТІ ¹³⁷Cs

¹Державний університет «Житомирська політехніка»

²Поліський філіал Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації
ім. Г. М. Висоцького

Досліджено розподіл ¹³⁷Cs у деревині стовбура 80-річної сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) у свіжих борах. Встановлено зменшення величини питомої активності ¹³⁷Cs в деревині, яка сформувалася в ті самі роки, але на різній висоті. Так, величина цього показника в деревині 1997–1993 рр. утворення біля окоренка становила $4\,730 \pm 348$ Бк·кг⁻¹, на висоті 6 м – $3\,510 \pm 257$ Бк·кг⁻¹ (в 1,3 разу менше), на висоті 12 м – $3\,330 \pm 294$ Бк·кг⁻¹ (в 1,4 разу менше) і на висоті 22 м – $2\,870 \pm 148$ Бк·кг⁻¹ (в 1,7 разу менше). Подібні закономірності відзначено і в деревині, яка утворилася в інші періоди спостереження: значення питомої активності ¹³⁷Cs у них зменшуються з висотою. На всіх висотах стовбура в деревині, утвореній протягом 1997–1993 рр., визначено найбільші значення питомої активності радіонукліда; із заглибленням до ядра стовбура цей показник знижується. Біля окоренка величина показника в зовнішньому шарі (1997–1993 рр. утворення) становила $4\,730 \pm 348$ Бк·кг⁻¹, а в центрі стовбура (1923–1927 рр. утворення) – $1\,000 \pm 117$ Бк·кг⁻¹, що є в 4,7 разу меншим. Під час проведення радіоекологічних досліджень для визначення середньої питомої активності ¹³⁷Cs в деревині стовбура рекомендовано відбирати зразки деревини через 1–2 м вздовж стовбура й визначити середнє з використанням усіх отриманих даних щодо цього показника на всіх висотах стовбура.
Ключові слова: деревина, сосна звичайна, питома активність ¹³⁷Cs, радіоактивне забруднення, радіонукліди.

Вступ. Вже в перші роки після аварії на ЧАЕС радіоекологи, які вивчали лісові екосистеми, розпочали досліджувати рівні радіоактивного забруднення тих чи інших їхніх компонентів, а в подальшому – шляхи й темпи міграції радіонуклідів у певних біогеоценозах. Одним із завдань у той період було відпрацювання методик подібних досліджень. Для їхнього обґрунтування необхідно було знати біологічні та екологічні особливості досліджуваних видів, які могли належати навіть до різних царств живих організмів. З урахуванням багатокomпонентності лісових екосистем це викликало багато проблем, деякі з яких до цього часу залишаються невирішеними. З огляду на це, дослідження, спрямовані на вдосконалення методик вивчення радіоактивного забруднення деревних порід і перерозподілу радіонуклідів у лісових екосистемах, є актуальними.

Одним із завдань у цьому напрямі було визначення питомої активності ¹³⁷Cs в частинах та органах деревних порід і насамперед у деревині, яка має найбільшу масу в складі фітоценозу і яка, на думку вчених, могла утримувати значну частку цього радіоактивного елемента. Ці дослідження мали наукове значення, оскільки давали змогу встановити закономірності міграції радіонуклідів у лісових екосистемах і розробити прогнозні моделі виявлених процесів, а також практичне, оскільки давали можливість встановити сучасні (на певний час) рівні радіоактивного забруднення деревини та розробити обґрунтований прогноз її використання. Крім того, для регламентування використання деревини на певних радіоактивно забруднених площах необхідно здійснювати радіаційний контроль деревини, що також потребує обґрунтування методики її відбору. Так, згідно з існуючими нормативними документами (Kaletnyk et al. 1998), необхідно відбирати зразки деревини у вигляді тирси на висоті стовбура 1,3 м без конкретизації глибини її відбору.

Відомо, що в перші роки після надходження ¹³⁷Cs до лісових екосистем рівні радіоактивного забруднення деревини були невеликими. Це пояснювалося тим, що лише невелика кількість цезію надійшла до деревних порід позакореневим шляхом, переважно через листя та хвою (Shcheglov 1999). У подальшому відбулося переміщення радіонукліда з крон дерев на нижче розташовані яруси рослинності та на поверхню ґрунту, його поступове заглиблення в лісову підстилку та мінеральні горизонти лісових ґрунтів. Залежно від типу

лісорослинних умов і породного складу насаджень темпи цього заглиблення були різними (Petruayev et al. 1992, Davydov et al. 1996, Krasnov 1998). Вже після певного заглиблення радіоактивних елементів у лісову підстилку почалося надходження ^{137}Cs до деревних порід кореневим шляхом – через кореневу систему. Цей процес відбувається за участі мікоризних грибів, з якими деревні породи завжди мають симбіотичні зв'язки (Vinichuk & Johanson 2003). З часом радіонукліди надійшли до гумусово-елювіального горизонту мінеральної частини ґрунту, де сконцентрована основна кількість сисних коренів сосни звичайної, і міграція ^{137}Cs до деревних порід прискорилося (Krasnov et al. 2007).

Оскільки головні деревні породи є едифікаторами лісів і мають важливе господарське значення, вже в перші роки після аварії на ЧАЕС дослідники приділяли їм значну увагу. У наукових публікаціях у перші 10 років після аварії науковці відзначали залежність радіоактивного забруднення деревини від щільності радіоактивного забруднення ґрунту. Проте величини вмісту радіонукліда, отримані різними дослідниками в тих самих деревних породах за однакових рівнів радіоактивного забруднення ґрунту, різнилися (Bulavik 1998). У наступний період активізувалися дослідження щодо радіоактивного забруднення частин і органів деревних порід, радіального розподілу ^{137}Cs у стовбурі, а також розподілу сумарної активності цього радіоактивного елемента в лісових екосистемах (Krasnov 1998, Irkliienko et al. 1998, Perevolotskiy 2006, Bulko et al. 2017).

Під час дослідження розподілу ^{137}Cs в деревині в радіальному напрямку всі дослідники відзначали максимальний вміст радіонукліда в периферійній частині з поступовим зменшенням цього показника в деревині в напрямку до центру стовбура, а також суттєві коливання значення питомої активності радіонукліда в межах одного річного кільця (Masuchika et al. 1988, Monoshima & Bondietti 1994, Buzinny et al. 2000, Orlov 2009, Krasnov et al. 2016, Golyaka et al. 2017). Отримані результати вказували на важливу роль деревного ярусу в утриманні радіонуклідів та загальному їхньому перерозподілі в лісових екосистемах. Водночас для подібних досліджень потрібно було вирішити питання методичного характеру: як встановити середню питому активність стовбура деревної породи, як відбирати зразки деревини для порівняння розподілу радіонукліда в стовбурі тощо.

Відзначені відмінності результатів, які отримали різні автори, на нашу думку, можуть пояснюватися декількома обставинами: проведенням досліджень у різних екологічних умовах (деревні породи мають широкий екологічний ареал); методикою відбору зразків (із живого чи спиляного дерева, з якої частини стовбура); наявністю різних типів спектрометричних приладів і насамперед чутливістю детекторів, якими були обладнані ці прилади; використанням технічного обладнання для відбору зразків та їхньої підготовки; використанням різних посудин Маріселлі, в які вміщують зразок для вимірювання питомої активності ^{137}Cs (у разі використання чутливіших детекторів можна використовувати менші за об'ємом посудини).

Мета дослідження полягає у встановленні закономірностей радіального розподілу ^{137}Cs в деревині сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) для обґрунтування методики відбору зразків деревини для наукових досліджень і радіаційного контролю продукції з деревини.

Матеріали й методи. Дослідження проведено на тимчасовій пробній площі (ТПП) у 1997 р. у Повчанському лісництві (кв. 49, вид. 11) ДП «Лугинське лісове господарство». Результати цих досліджень не використовували для публікацій раніше, вони мають цінність для відпрацювання методики, оскільки надають інформацію про доволі тривалий період утворення деревини (1923–1997 рр.). На ТПП насадження мало таку лісівничо-таксаційну характеристику: склад – 10Сз, вік – 80 років, повнота – 0,7; клас бонітету – II, тип лісорослинних умов – свіжий бір (А₂); підріст – поодинокі екземпляри сосни звичайної та берези повислої (*Betula pendula* Roth.); підлісок – поодинокі зіновать руська (*Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ExWol.) Klaskova) та горобина звичайна (*Sorbus aucuparia* L.); живий надґрунтовий покрив складався з плеуроція Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), дикрана багатоніжкового (*Dicranum polysetum* Sw.), вереса звичайного (*Calluna*

vulgaris (L.) Hull), брусниці (*Vaccinium vitis-idaea* L.), смовді гірської (*Peucedanum oreoselinum* (L.) Moench), куничника наземного (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth); ґрунт – дерново-слабопідзолистий піщаний. Щільність радіоактивного забруднення ґрунту в 1997 р. – $791,8 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$.

Тимчасову пробну площу розміром 100×100 м (1 га) закладали за стандартною методикою (Forest inventory sample plots 2006). На ній проведений суцільний таксаційний перелік дерев, за результатами якого визначено параметри середнього модельного дерева для трьох основних ступенів товщини. У подальшому дерева (3 шт.), близькі за таксаційними показниками до середніх модельних, підбирали на ТПП і спилували. Стовбур дерев розділяли на відрізки завдовжки 2 м, на вершині яких випилювали кружки деревини завтовшки 4 см та вкладали в пакети з етикеткою (номер дерева, висота відбору деревини). У камеральних умовах на кожному кружку виділяли річні кільця деревини, утворені за 5-річні проміжки часу (з 1993 до 1923 р.). Виділену деревину зрізали, починаючи від периферійних кілець до середини кружка. Отримані зразки подрібнювали, висушували до повітряно-сухого стану в сушильних шафах і надалі аналізували на багатоканальному гамма-спектроаналізаторі імпульсів СЕГ-005-АКП із сцинтиляційними детекторами БДЕГ-20-Р1 та БДЕГ-20-Р2 з метою визначення питомої активності ^{137}Cs . Середня відносна похибка вимірювання активності радіонукліда $\pm 8\%$ (довірчий рівень – 0,95). Результати досліджень обробляли за допомогою пакета прикладних програм Microsoft Excel.

Результати та обговорення. Отримані матеріали (табл. 1) демонструють значення питомої активності ^{137}Cs в деревині стовбура сосни звичайної на різній висоті та за різного часу її утворення. Зіставлення даних дає змогу відзначити, що на всіх висотах у деревині, утвореній протягом 1997–1993 рр. визначено найбільші значення питомої активності радіонукліда, а в міру заглиблення до ядра стовбура цей показник знижується. Так, біля окоренка величина аналізованого показника у зовнішньому шарі (1997–1993 рр. утворення) становила $4\,730 \pm 348 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$, а в центрі стовбура (1923–1927 рр. утворення) – $1\,000 \pm 117 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$, що є в 4,7 разу меншим. На висоті 6 м це зменшення становило 3,1 разу – від $3\,510 \pm 257 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (1997–1993 рр. утворення) до $1\,130 \pm 76 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (1942–1938 рр. утворення); на висоті 12 м – 3,4 разу – від $3\,330 \pm 294 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (1997–1993 рр. утворення) до $990 \pm 145 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (1942–1938 рр. утворення); на висоті 20 м – 1,4 разу – від $2\,810 \pm 116 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (1997–1993 рр. утворення) до $2\,080 \pm 107 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (1987–1983 рр. утворення).

Зменшення питомої активності ^{137}Cs в деревині визначали в ті самі роки, але значення показника залежало від висоти. Так, у деревині 1997–1993 рр. утворення біля окоренка воно становило $4\,730 \pm 348 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$, на висоті 6 м – $3\,510 \pm 257 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (в 1,3 разу менше), на висоті 12 м – $3\,330 \pm 294 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (в 1,4 разу менше), на висоті 22 м – $2\,870 \pm 148 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (в 1,7 разу менше). Подібні закономірності існують і для деревини, яка утворилася в інші періоди спостереження: значення питомої активності ^{137}Cs в них зменшуються з висотою.

Встановлені закономірності пояснюються тим, що ^{137}Cs , як і інші макро- і мікроелементи, піднімається з ґрунту стовбуром сосни звичайної у невеликій, зовнішній частині ксилеми (3–7 річних кілець) (Ivanov & Dubinin 1992). Також відомо, що цей радіонуклід є хімічним аналогом калію, хімічного елемента, який є дуже важливим для рослинних клітин і сконцентрований переважно в їхній цитоплазмі (Aleksahin & Naryshkin 1977). За певної нестачі останнього ^{137}Cs посідає його місце під час створення молекул клітин у різних частинах рослин. Цілком природно припустити, що подібне частіше стається у нижній частині стовбура. Доволі значний вміст радіонукліда в шарах деревини, яка утворилася до аварії на ЧАЕС, може пояснюватися двома факторами: надходженням радіонукліда дочорнобильського походження – із глобальних випадів, які утворилися внаслідок випробувань у відкритих середовищах ядерної зброї у 50–60-ті роки минулого століття, а також дифузією радіонукліда серцевинними променями в глибше розташовану деревину (Kramer & Kozlovskiy 1983).

Таблиця 1

Розподіл питомої активності ¹³⁷Cs в деревині стовбура сосни звичайної різних років утворення на різній висоті

Висота відбору зразка, м	Питома активність ¹³⁷ Cs у деревині річних кілець, Бк·кг ⁻¹														
	1997–1993	1992–1988	1987–1983	1982–1978	1977–1973	1972–1968	1967–1963	1962–1958	1957–1953	1952–1948	1947–1943	1942–1938	1937–1933	1932–1928	1927–1923
22	2 870 ± 148	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
20	2 810 ± 116	2 060 ± 271	2 080 ± 107	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
18	2 030 ± 515	1 300 ± 191	1 750 ± 90	2 200 ± 138	2 180 ± 422	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16	3 190 ± 336	1 800 ± 119	1 650 ± 106	1 810 ± 114	1 800 ± 81	1 750 ± 179	1 220 ± 151	–	–	–	–	–	–	–	–
14	3 520 ± 231	1 810 ± 189	1 760 ± 79	1 730 ± 129	1 850 ± 79	1 910 ± 146	1 650 ± 102	1 450 ± 61	–	–	–	–	–	–	–
12	3 330 ± 294	2 210 ± 186	1 830 ± 274	1 570 ± 128	1 560 ± 64	1 710 ± 275	1 530 ± 269	1 090 ± 200	990 ± 145	–	–	–	–	–	–
10	3 210 ± 95	1 840 ± 42	1 710 ± 49	1 770 ± 124	1 650 ± 77	1 740 ± 107	1 810 ± 118	1 500 ± 76	1 150 ± 76	1 240 ± 131	–	–	–	–	–
8	3 040 ± 228	1 780 ± 105	1 720 ± 84	1 590 ± 135	1 540 ± 170	1 770 ± 175	1 750 ± 90	1 860 ± 166	1 170 ± 119	1 030 ± 130	1 090 ± 86	–	–	–	–
6	3 510 ± 257	1 770 ± 65	1 710 ± 93	1 730 ± 131	1 920 ± 95	1 910 ± 64	1 820 ± 151	1 670 ± 27	1 390 ± 132	1 180 ± 59	1 190 ± 120	1 130 ± 76	–	–	–
4	4 640 ± 628	1 880 ± 84	1 910 ± 152	1 620 ± 71	1 760 ± 204	1 900 ± 102	1 840 ± 87	1 810 ± 157	1 610 ± 189	1 490 ± 143	1 040 ± 62	930 ± 32	1 010 ± 67	–	–
2	3 990 ± 231	1 850 ± 69	1 900 ± 151	1 800 ± 125	1 790 ± 55	1 910 ± 122	1 820 ± 215	1 800 ± 292	1 850 ± 171	1 780 ± 272	1 720 ± 283	1 050 ± 241	920 ± 54	930 ± 103	–
0	4 730 ± 348	2 390 ± 184	2 220 ± 97	2 150 ± 44	2 080 ± 59	2 160 ± 234	2 270 ± 44	2 080 ± 269	2 050 ± 201	2 080 ± 361	1 950 ± 375	1 600 ± 407	1 310 ± 216	1 030 ± 118	1 000 ± 117

Наведені вище дані дають змогу згрупувати їх (табл. 2) та проаналізувати з огляду можливого використання певної частини деревини для визначення середнього значення питомої активності ¹³⁷Cs в деревині стовбура сосни звичайної.

Таблиця 2

Середня питома активність ¹³⁷Cs в деревині сосни звичайної біля окоренка залежно від глибини її відбору (за різної кількості років утворення)

Період утворення деревини	Кількість років	Статистики середньої питомої активності ¹³⁷ Cs в деревині, Бк·кг ⁻¹				Зменшення у порівнянні до 1997–1993 рр., разів
		<i>M</i> ± <i>m</i>	σ	<i>V</i> , %	<i>P</i> , %	
1997–1993	5	4 733 ± 348	603	12,7	7,4	–
1997–1987	10	3 562 ± 229	396	11,1	6,4	1,3
1997–1983	15	3 115 ± 184	318	10,2	5,9	1,5
1997–1977	20	2 874 ± 146	253	8,8	5,1	1,6
1997–1973	25	2 716 ± 114	198	7,3	4,2	1,7
1997–1967	30	2 623 ± 105	181	6,9	4,0	1,8
1997–1963	35	2 573 ± 96	166	6,5	3,7	1,8
1997–1957	40	2 511 ± 117	203	8,1	4,7	1,9
1997–1953	45	2 460 ± 124	215	8,7	5,0	1,9
1997–1947	50	2 422 ± 143	248	10,2	5,9	2,0
1997–1943	55	2 379 ± 164	284	11,9	6,9	2,0
1997–1937	60	2 314 ± 181	313	13,5	7,8	2,1
1997–1933	65	2 237 ± 181	314	14,0	8,1	2,2
1997–1927	70	2 151 ± 176	305	14,2	8,2	2,2
1997–1923	75	2 074 ± 170	295	14,2	8,2	2,3
Середнє		2 716 ± 153	265	9,7	5,6	–

Ми вже відзначали, що найбільші значення питомої активності радіонукліда властиві периферійній частині деревини і зменшуються до центру стовбура. Це пояснює зменшення середньої питомої активності ^{137}Cs в деревині в разі збільшення зразка за рахунок внутрішніх її шарів. Отже, якщо для радіологічного контролю відбиратимуть деревину із зовнішніх шарів, то величина питомої активності ^{137}Cs в ній буде значно більшою, ніж у деревині, що знаходиться всередині стовбура (до 2,3 разу). Визначення середньої питомої активності радіонукліда, враховуючи неоднорідність радіальних приростів деревини в різних частинах стовбура, стає проблематичним і вимагає представництва в зразку деревини кожного року (у нашому випадку – періоду) утворення. Необхідно також зазначити, що величина питомої активності ^{137}Cs в межах одного періоду утворення варіює незначною мірою (коефіцієнти варіації перебувають у межах 6,5–14,2 %). Це вказує на однорідність процесу накопичення радіонукліда в річних кільцях по діаметру стовбура у певні роки та періоди часу.

Зазначений розподіл є також важливим для практики радіаційного контролю. Зазвичай круглий ліс іде на переробку, з нього виготовляють різноманітні необрізні та обрізні сортименти. При цьому видаляють зовнішню, найбільш радіоактивно забруднену частину. Тому слід рекомендувати здійснювати радіаційний контроль на певній стадії виробництва сортиментів. У такому разі на стадії відведення лісосік головного користування необхідно після суцільного переліку дерев спилувати декілька з них, розрізати на сортименти, з яких відбирати зразки деревини для радіаційного контролю. Складніше визначити середню питому активність ^{137}Cs у стовбурі для наукових цілей.

Вище ми вже зазначили, що значення питомої активності ^{137}Cs змінюється з висотою. Для дослідження виявлених закономірностей ми здійснили розрахунки середньої питомої активності в деревині (всіх років утворення) на різній висоті стовбура (табл. 3).

Таблиця 3

Середня питома активність ^{137}Cs в деревині сосни звичайної (всіх років утворення) на різній висоті стовбура

Період утворення деревини	Висота відбору зразка, м	Питома активність ^{137}Cs , Бк·кг ⁻¹ , та статистики її визначення			
		$M \pm m$	σ	V, %	P, %
1997–1923	0	2 074 ± 170	295	14,2	8,2
1997–1923	2	1 778 ± 131	227	12,8	7,4
1997–1927	4	1 786 ± 99	172	9,6	5,5
1997–1933	6	1 725 ± 44	77	4,5	2,6
1997–1937	8	1 656 ± 72	124	7,5	4,3
1997–1943	10	1 746 ± 20	35	2,0	1,1
1997–1947	12	1 762 ± 162	281	16,0	9,2
1997–1957	14	1 960 ± 24	41	2,1	1,2
1997–1963	16	1 889 ± 59	102	5,4	3,1
1997–1967	18	1 963 ± 146	252	12,8	7,4
1997–1977	20	2 303 ± 102	177	7,7	4,4
1997–1987	22	2 773 ± 55	96	3,5	2,0
Середнє для всього масиву даних на всіх висотах (12 зразків)		1 951 ± 30	52	2,7	1,5
Середнє за даними на висотах через 4 м, починаючи з окоренка (6 зразків)		1 912 ± 17	29	1,5	0,9
Середнє за даними на висотах через 6 м, починаючи з окоренка (4 зразки)		1 881 ± 60	104	5,5	3,2
Середнє за даними на висотах через 8 м, починаючи з окоренка (3 зразки)		1 873 ± 89	154	8,2	4,8
Середнє за даними на висоті відбору зразка 0, 11 і 22 м (1 зразок)		2 200 ± 26	45	2,0	1,2

Встановлено, що цей показник поступово збільшується з висотою від $2\,074 \pm 170$ до $2\,773 \pm 55$ Бк·кг⁻¹ (у 1,3 разу). Це, напевно, пояснюється зменшенням із висотою частки шарів деревини, які мали менші величини питомої активності ¹³⁷Cs (утворених до аварії на ЧАЕС).

Помічена неоднорідність питомої активності ¹³⁷Cs за висотою та діаметром стовбура свідчить про необхідність конкретизації деяких методичних моментів під час проведення радіоекологічних досліджень і в практиці використання деревини. Так, під час вивчення розподілу радіонукліда в лісових екосистемах необхідні знання щодо його вмісту в стовбурі (сумарної активності), а для цього, зі свого боку, необхідно знати середню величину питомої активності ¹³⁷Cs у ньому. Природно, що чим більшою є кількість вимірів, тим точність визначення цієї величини є більшою. У нашому випадку найточнішою середньою величиною питомої активності ¹³⁷Cs в деревині стовбура є середнє арифметичне, обчислене з урахуванням значень цього показника у всіх зразках деревини, відібраних по всій висоті стовбура (через 2 м). Воно становило 1951 ± 30 Бк·кг⁻¹ (див. табл. 3). Подібну методику – розпилювання стовбура на певні відрізки (в нашому випадку 2 м), відбору зразків деревини в рівній кількості по всьому діаметру з кожного відрізка та розрахунок середнього по всьому масиву даних – можна рекомендувати для наукових досліджень, які вимагають доволі точних даних, або коли необхідно виявити та обґрунтувати доволі тонкі закономірності. Оскільки подібна методика є доволі складною й вимагає багато зусиль, часу, людей і їхньої кваліфікації, ми спробували спрогнозувати зниження навантаження на працівників служби радіаційного контролю за рахунок зменшення кількості зразків без розпилювання стовбура на значну кількість відрізків. У таблиці 3 наведені також дані розрахунку середньої величини питомої активності ¹³⁷Cs в деревині стовбура в разі відбору меншої кількості зразків – через 4 м (6 зразків) – $1\,912 \pm 17$ Бк·кг⁻¹, 6 м (4 зразки) – $1\,881 \pm 60$ Бк·кг⁻¹ і 8 м (3 зразки) – $1\,873 \pm 89$ Бк·кг⁻¹, а також середнє за даними на висоті відбору зразка 0, 11 і 22 м (вершина, середина і низ стовбура) – $2\,200 \pm 26$ Бк·кг⁻¹.

Результати дисперсійного аналізу отриманих даних свідчать про існування суттєвих відмінностей ($F_{\phi} = 12,44 \dots 86,35 > F_{T(0,95)} = 7,71$) між середніми значеннями питомої активності ¹³⁷Cs в деревині стовбура (всього масиву і через 4, 6 і 8 м) та з урахуванням значень показника у зразках деревини, відібраних на висоті стовбура 0, 11 і 22 м (табл. 4).

Таблиця 4

Результати однофакторного дисперсійного аналізу середньої питомої активності ¹³⁷Cs у стовбурі сосни звичайної під час відбору зразків у різних варіантах

Середні значення за варіантами відбору зразків	Весь масив даних на всіх висотах (12 зразків)	На висотах через 4 м, починаючи з окоренка (6 зразків)	На висотах через 6 м, починаючи з окоренка (4 зразки)	На висотах через 8 м, починаючи з окоренка (3 зразки)
На висотах через 4 м, починаючи з окоренка (6 зразків)	1,31			
На висотах через 6 м, починаючи з окоренка (4 зразки)	1,09	0,24		
На висотах через 8 м, починаючи з окоренка (3 зразки)	0,69	0,19	0,01	
Середнє за даними на висоті відбору зразка 0, 11 і 22 м (1 зразок)	39,09	86,35	23,77	12,44

Примітка: $F_{\text{теоретичне}} = 7,71$; $p = 0,95$

Разом із тим між середніми величинами питомої активності ¹³⁷Cs у зразках деревини стовбура, відібраних через 2 (всього масиву), 4, 6 і 8 м достовірна різниця відсутня.

Висновки. Питома активність ^{137}Cs в деревині стовбура сосни звичайної зменшується від периферії до її центра та з висотою. В окоренковій частині стовбура це зменшення сягає 4,7 разу (від $4\,730 \pm 348$ до $1\,000 \pm 117$ Бк·кг $^{-1}$). У деревині 1997–1993 рр. утворення цей показник біля окоренка становив $4\,730 \pm 348$ Бк·кг $^{-1}$, а на висоті 22 м – $2\,870 \pm 148$ Бк·кг $^{-1}$ (в 1,6 разу менше). Одержані дані дають змогу вдосконалити методику визначення середньої питомої активності ^{137}Cs в деревині стовбура, а саме: відбирати зразки деревини через 1–2 м уздовж стовбура із включенням усіх річних кілець, а результати, отримані для різних сортиментів, порівнювати з гігієнічним нормативом питомої активності ^{137}Cs в деревині.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCE

- Aleksahin, R. M. and Naryshkin, M. A. 1977. Migration of radionuclides in forest biogeocenoses. Moscow, Nauka, 142 p. (in Russian).
- Bulavik, I. M. 1998. Justification of forest use in the conditions of radioactive contamination of Belarusian Polesie. Extended abstract of doctoral thesis. Gomel, Forest Institute of National Academy of Science of Belarus, 39 p. (in Russian).
- Bulko, N. I., Shabaleva, M. A., Mitin, N. V., Tolkacheva, N. V., Kozlov, A. K. 2017. Features and dynamics of the processes of ^{137}Cs entering the components of pine phytomass from hydromorphic peat soils in the far zone of the Chernobyl accident for a long post-accident period. In: Problems of forest science and forestry. Collection of scientific papers. Gomel, Forest Institute of National Academy of Science of Belarus, 77: 345–357 (in Russian).
- Buzinny, M., Los, I., Shepelevich, K. 2000. 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, 52: 905–910.
- Davydov, N. N., Zagrebin, A. B., Kaletnik, N. N., Podkur, P. P. 1996. Behavior of radionuclides in forest soils of the Chernobyl accident zone and their transition to forest products. Chernobyl-96. Results of 10 years of work to eliminate the consequences of the Chernobyl accident. Zelenyy Mys, p. 267 (in Russian).
- Forest inventory sample plots. Establishing method. Corporate standard 02.02-37-476:2006. 2007. Valid from May 1, 2007. Kyiv, Minahropolityky Ukrainy, 32 p. (in Ukrainian).
- Golyaka, D. M., Levchuk, S. Ye., Protsak, V. P., Kashparov, I. O. 2017. Distribution of ^{137}Cs content in the wood of the trunk of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of Zhytomyr Polissya after the Chornobyl accident. Nuclear physics and atomic energy, 18(1): 63–71 (in Ukrainian).
- Irkliienko, S. P., Turko, V. M., Kalish, O. B., Landin, V. P. 1998. The content of ^{137}Cs in the layers of radial growth of Scots pine trunks and the possibility of using wood products in conditions of high radioactive contamination. Problems of forest ecology and forest use. Zhytomyr, Polissky Branch of URIFFM, 5: 22–28 (in Ukrainian).
- Ivanov, A. I. and Dubinin, A. I. 1992. The cross-sectional area of sapwood and the area of the moisture transit zone in it in ordinary pine. Lesovedeniye [Forestry], 5: 28–37 (in Russian).
- Kaletnyk, M. M., Savushchuk, M. P., Krasnov, V. P., Davydov, M. M., Orlov, O. O., Irkliienko, S. P., Turko, V. M., Landin, V. P., Kornienko, V. P., Tsyhankov, M. Ya. 1998. Instructions for sampling and preparation of samples for radiometric control of forestry products. Kyiv, 22 p. (in Ukrainian).
- Kramer, P. D. and Kozlovskiy, T. T. 1983. Physiology of woody plants. Moscow, Lesnaya promyshlennost, 464 p. (in Russian).
- Krasnov, V. P. 1998. Radioecology of forests of Polissya of Ukraine. Zhytomyr, Volyn, 112 p. (in Ukrainian).
- Krasnov, V. P., Kurbet, T. V., Shelest, Z. M., Boiko, O. L., Zborovska, O. V. 2016. ^{137}Cs distribution in the wood of scots pine radial growth in the forests of Ukrainian Polissia. Nuclear physics and atomic energy, 17(4): 394–399.
- Krasnov, V. P., Orlov, A. A., Buzun, V. A., Landin, V. P., Shelest, Z. M. 2007. Applied Forest Radioecology. Zhytomyr, Polissia, 680 p. (in Russian).
- Masuchika, K., Yoshinobu, K., Katsuo, O. et. al. 1988. Distribution of environmental cesium-137 in tree rings. Journal of Environmental Radioactivity, 8: 15–19.
- Monoshima, N., and Bondiotti, E. A. 1994. The radial distribution of Sr-90 and Cs-137 in trees. Journal of Environmental Radioactivity, 22: 93–109.
- Orlov, O. O. 2009. Regularities of ^{137}Cs radial distribution in trunk wood of the main forest-forming tree species of Ukrainian Polyssya. Forestry and Forest Melioration [Lisivnytstvo i ahrolisomeliorsiya], 116: 214–220 (in Ukrainian).
- Perevolotskiy, A. N. 2006. Distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in forest biogeocenoses. Gomel, RNIUP Institut radiologii, 255 p. (in Russian).
- Petryayev, Ye. P., Ovsyannikova, S. V., Lyubnina, I. L., Rubinchik, S. Ya. 1992. Forms of radionuclides in soils of contaminated regions of Belarus. Minsk News of the Academy of Sciences of the BSSR, 4: 65–69 (in Russian).
- Shcheglov, A. I. 1999. Biogeochemistry of technogenic radionuclides in forest ecosystems. Moscow, Nauka, 268 p. (in Russian).
- Vinichuk, M. M. and Johanson, K. J. 2003. Accumulation of ^{137}Cs by fungal mycelium in forest ecosystems of Ukraine. Journal of Environmental Radioactivity, 64: 27–43.

Krasnov V. P.¹, Zhukovskiy O. V.², Orlov O. O.²

IMPROVEMENT OF THE SAMPLING METHOD FOR SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) WOOD USED TO EVALUATE SPECIFIC ACTIVITY OF ¹³⁷Cs

¹Zhytomyr Polytechnic State University

²Poliski Branch of Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

¹³⁷Cs distribution in 80-year-old Scots pine wood (*Pinus sylvestris* L.) was studied in fresh poor forest site conditions (A₂). The findings showed a decrease of ¹³⁷Cs specific activity in the wood at the same years of formation but at different height. Thus, this index in the wood of 1997–1993 formation was 4730 ± 348 Bq·kg⁻¹ near the stem base, at the height of 6 m – 3510 ± 257 Bq·kg⁻¹ (1.3 times less), at the height of 12 m – 3330 ± 294 Bq·kg⁻¹ (1.4 times less), at the height of 22 m – 2870 ± 148 Bq·kg⁻¹ (1.7 times less). Similar regularities were also observed in the wood formed in another periods of observation.

At all height levels the highest values of radionuclide specific activity were found in the wood of 1997–1993 formation years, and with deepening to the stem core this index decreased. Thus, the studied parameter in outer layer of 1997–1993 years formation was 4 730 ± 348 Bq·kg⁻¹ near the stem base, and it made 1 000 ± 117 Bq·kg⁻¹ in the trunk core of 1923–1927 years formation, which is 4.7 times less. When doing radioecological research on determining ¹³⁷Cs specific activity in the stem wood it is recommended to carry out sampling by 1–2 m intervals along the trunk with subsequent determination of the mean value based on the obtained data at all height levels.

К е у в о р д с : wood, Scots pine, specific activity ¹³⁷Cs, radioactive contamination, radionuclides.

Краснов В. П.¹, Жуковский О. В.², Орлов А. А.²

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОТБОРА ОБРАЗЦОВ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ¹³⁷Cs

¹Государственный университет «Житомирская политехника»

²Полесский филиал Украинского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого

Исследовано распределение ¹³⁷Cs в древесине ствола 80-летней сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в свежих борах. Установлено, что наблюдается уменьшение величины удельной активности ¹³⁷Cs в древесине в одни и те же годы образования, но на разной высоте. Так, величина данного показателя в древесине 1997–1993 гг. образования у комля составляла 4 730 ± 348 Бк·кг⁻¹, на высоте 6 м – 3 510 ± 257 Бк·кг⁻¹ (в 1,3 раза меньше), на высоте 12 м – 3 330 ± 294 Бк·кг⁻¹ (в 1,4 раза меньше), на высоте 22 м – 2 870 ± 148 Бк·кг⁻¹ (в 1,7 раза меньше). Подобные закономерности отмечены в древесине, которая образовалась в другие периоды: значение удельной активности ¹³⁷Cs в них уменьшаются с высотой.

На всех высотах ствола в древесине, образованной в течение 1997–1993 гг., определены наибольшие значения удельной активности радионуклида, а с углублением к ядру ствола этот показатель снижается. Так, у комля значение анализируемого показателя во внешнем слое (1997–1993 гг. образования) составляло 4 730 ± 348 Бк·кг⁻¹, а в центре ствола (1923–1927 гг. образования) – 1 000 ± 117 Бк·кг⁻¹, что в 4,7 раза меньше. При проведении радиоэкологических исследований для определения средней удельной активности ¹³⁷Cs в древесине ствола рекомендуется отбор образцов древесины через 1–2 м по длине ствола и последующее определение среднего с использованием всех полученных данных по данному показателю на всех высотах ствола.

К л ю ч е в ы е с л о в а : древесина, сосна обыкновенная, удельная активность ¹³⁷Cs, радиоактивное загрязнение, радионуклиды.

E-mail: volodkrasnov@gmail.com

Одержано редколегією: 11.05.2020