

УДК 630*424.5

Турко В.М.,
Ірклієнко С.П.,
Орлов О.О.,
Іванюк І.Д.

НАКОПИЧЕННЯ ^{137}Cs СОСНОЮ ЗВИЧАЙНОЮ У СУБОРАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

На основі досліджень встановлено, що накопичення ^{137}Cs у тканинах та органах сосни звичайної в суборах обумовлено рівнями радіоактивного забруднення ґрунту та його гідрологічним режимом. Найбільш радіоактивно забрудненими є асиміляційний апарат та меристема дерева.

Лісові екосистеми, які виконують важливі водоохоронні, ґрунтозахисні, кліматорегулюючі та інші функції, після аварії на Чорнобильській АЕС виконали функцію своєрідних фільтрів-накопичувачів радіонуклідів, що привело до акумуляції в складових елементах лісових насаджень значної кількості радіоактивних елементів. За результатами досліджень, що проводились на радіоактивно забруднених територіях [6, 7], концентрація радіоактивних частинок у лісових ґрунтах у 2-30 разів вища, ніж в ґрунтах інших типів природних ландшафтів (луки, болота). Відзначається, що шпилькові насадження затримали радіоактивних частинок значно більше, ніж листяні [9].

На Поліссі головною породою є сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), насадження якої займають 64,5 відсотків відкритої лісом площі [4]. Субори (В) є найбільш поширеною типовою групою умов місцезростання (ТУМ) у регіоні досліджень – 46,4% від відкритої лісом площі. У цій групі типів переважає свіжий субір (В₂), на який припадає 52,5%, на вологий субір

(В₃) – 35,4%, на інші типи (В₄, В₅) – 12,1% [2]. Тому об'єктом досліджень були соснові деревостани, які зростають у суборових умовах місцезростання.

Метою досліджень було вивчення інтенсивності накопичення ^{137}Cs деревиною стовбура сосни звичайної при різних щільностях радіоактивного забруднення ґрунту і при різних режимах зволоження, а також виявлення відмінностей у концентрації радіоцезію тканинами і органами дерева.

Дослідження проводились на пробних площах (ПП), закладених у Лугинському держлісгоспі Житомирської області при щільності радіоактивного забруднення ґрунту ^{137}Cs від 1,3 до 11,1 Кі/км² (табл.1). На пробних площах зростають, переважно, середньовікові соснові деревостани, які є достатньо високопродуктивними (головним чином I класу бонітету). За умовами місцезростання вони репрезентують свіжі, вологі та сирі субори. Приурочені до дерново-підзолистих, супіщаних з прошарками суглинків, підстелених флювіогляціальними пісками ґрунтів.

Таблиця 1

Таксаційна характеристика насаджень на пробних площах

№	Місцезнаходження				ТУМ	Склад	Вік, років	Середні		Клас боїтету	Пов- нота	Запас на 1га,м3	Середня щіль- ність забруднення грунту ¹³⁷ Cs, Кі/км ²
	держлісгосп	лісництво	квар- тал	ви- діл				Н, м	Д, см				
53	Луїнівський	Луїнівське	79	21	B ₃	10С	48	19.4	18.4	1	0.8	350	9.5
54	Луїнівський	Луїнівське	71	22	B ₃	10С+Б	46	18.7	17.9	1	0.8	310	6.1
55	Луїнівський	Повчанське	49	15	B ₂	10С	63	20.4	21.7	1	1.0	417	10.8
61	Луїнівський	Повчанське	50	14	B ₃	10С	44	22.8	22.9	1в	1.0	511	11.1
65	Луїнівський	Повчанське	49	20	B ₄	9С1 Б	25	9.6	10.8	III	0.9	135	12.4
83	Луїнівський	Повчанське	38	25	B ₂	10С	37	15.6	15.8	1	0.8	256	1.3
97	Луїнівський	Луїнівське	5	20	B ₃	10С	90	19.3	18.6	1	0.8	336	1.8

Зміни питомої активності ^{137}Cs в стовбурі сосни звичайної на ПП-55, в залежності від висоти стовбура та періоду приросту по діаметру, Бк/кг

Висота стовбура, м	Кора	П'ятирічні періоди приросту по діаметру, роки (М±m)						
		1997-1993	1992-1988	1987-1983	1982-1978	1977-1973	1972-1968	
0	5650±1819	4600±720	1850±539	1840±528	1570±395	1560±427	1300±463	
2	5850±330	4520±1418	1450±140	1040±206	1040±462	1030±293	810±48	
4	5870±1907	3130±381	1880±370	1470±275	1350±324	1390±380	1070±312	
6	10520±3046	2570±335	1920±377	1600±403	1610±398	1370±277	1320±250	
8	14610±6015	3090±592	1650±510	1340±453	1490±326	1240±282	1090±292	
10	11230±4164	2850±191	1730±360	1590±457	1320±253	1220±284	1030±314	
12	12030±4292	2460±416	2030±436	1390±146	1253±220	1070±273	840±179	
14	7960±4022	1500±229	1220±328	1200±301	1110±258	840±67		
16	9890±4670	1710±396	1330±312	1210±155				
18	6010±1741	1160±274	1000±335					
Висота стовбура, м		П'ятирічні періоди приросту по діаметру, роки (М±m)						
		1967-1963	1962-1958	1957-1953	1952-1948	1947-1943	1942-1938	1937-1933
0		1260±332	1250±293	1280±287	860±303	610±99	560±107	680±145
2		1000±49	680±85	660±91	500±60	526		
4		1140±333	1040±424	830±217	780±373			
6		1230±483	880±163	1230±30				
8		1070±310	1050±363					
10		900±83						

На кожній із пробних площ виділялось по дев'ять модельних дерев, із яких відбирались зразки кори зовнішньої і внутрішньої, а також деревина стовбура без кори. Паралельно із цим, буром, діаметром 50 мм на глибину 10 см, в 5 точках відбирались зразки лісового ґрунту на площі кореневого живлення модельних дерев [3]. На трьох пробних площах модельні дерева зрізувались на висоті кореневої шийки. Тут відбирались зразки тканин стовбура (деревина у корі, деревина без кори, кора) у його комлевій частині, на висоті $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ висоти стовбура і вершини, а також органи крони - гілки і шпильки. На одній із пробних площ, для вивчення характеру розподілу радіоцезію у річних приростах стовбура сосни звичайної, модельні дерева розрізувались на 2-

метрові відрізки, із торців яких відбирали зрізи. Зрізи стовбура аналізувались за 5-річним радіальним періодом приросту деревини на вміст ^{137}Cs .

Перед проведенням спектрометричних аналізів всі відібрані зразки висушувались до повітряно-сухого стану. Вимірювання питомої активності ^{137}Cs проводились на спектрометрі LP-4900B "AFORA" з напівпровідниковим детектором ДГ ДК-100В у лабораторії радіоекології лісу Поліської ЛНДС.

Отримані матеріали досліджень показують, що одним із факторів, який впливає на накопичення радіоцезію у тканинах стовбура сосни звичайної, є величина щільності радіоактивного забруднення ґрунту даним радіонуклідом (табл. 2).

Таблиця 2

Накопичення ^{137}Cs у тканинах стовбура сосни звичайної при різних щільностях радіоактивного забруднення ґрунту та лісорослинних умовах

№ ПП	Щільність радіоактивного забруднення ґрунту ^{137}Cs , $\text{кБк}/\text{км}^2$	ТУМ	Кора		Деревина без кори
			зовнішня	внутрішня	
83	41 – 64	B_2	330/6.5*	689/14.5	407/7.5
55	375 – 427	B_2	4200/10.5	6037/15.0	1463/3.7
97	49 – 79	B_3	619/9.8	736/11.5	516/8.1
54	177 – 282	B_3	1267/6.0	2613/12.6	668/3.1
53	321 – 395	B_3	3227/9.6	2440/7.0	710/2.1
65	425 – 487	B_4	4925/10.8	14700/31.8	2895/6.4

* чисельник – питома активність ^{137}Cs (Бк/кг);
знаменник – коефіцієнт переходу (Бк/кг + $\text{кБк}/\text{м}^2$)

Із зростанням щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs зростає і питома активність його у стовбурі дерева. Так, в умовах свіжого субору, при середніх щільностях забруднення ґрунту ^{137}Cs 1-2 $\text{Кі}/\text{км}^2$ (ПП-83) концентрація даного радіонукліду у тканинах стовбура (кора зовнішня,

внутрішня і деревина без кори) складає 330-689 Бк/кг. При щільностях більше 10 $\text{Кі}/\text{км}^2$ для цих же лісорослинних умов (ПП-55), питома активність ^{137}Cs зростає у 3-9 разів і становить 1463-6037 Бк/кг. Аналогічна закономірність є характерною і для інших пробних площ.

Слід зазначити, що у корі, як у її зовнішній, так і у внутрішній частині, питома активність ^{137}Cs є вищою у порівнянні із деревиною стовбура без кори. У той же час зовнішня частина кори є менш радіоактивно забрудненою, ніж внутрішня. Таке співвідношення пов'язане із тим, що внутрішня частина кори межує із провідною тканиною дерева – лубом, який виконує також і запасуючі функції, а відповідно концентрує у собі значну кількість радіоактивних частинок.

Між величиною щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs і величиною питомої активності даного радіонукліду у тканинах стовбура сосни звичайної існує кореляційна залежність. Так, прикладом, для умов вологих суборів зв'язок між вмістом ^{137}Cs у ґрунті ($\text{кБк}/\text{м}^2$) і у деревині без кори ($\text{Бк}/\text{кг}$) описується рівняннями мультиплікативної залежності. Коефіцієнт кореляції має величину 0.80. Зв'язок є достовірним на 5%-рівні значимості ($F_{\phi} (13.35) > F_{\alpha} (10.04)$).

Надходження радіонуклідів у лісову рослинність визначається також ґрунтовими параметрами [5]. Серед таких параметрів виділяється вміст органічних речовин у ґрунті, сума обмінних катіонів, наявність фізичної глини, сума звібраних основ, кислотність, вологість ґрунту, наявність карбонатів тощо [1]. Оскільки дослідження проводились у межах одного трофотопу – суборів, де вплив фізико-хімічних і механічних властивостей ґрунту на міграційну здатність радіонуклідів у системі “ґрунт-рослини” слабо проявляється, а тому і не деталізувався. Вивчався тільки вплив вологості ґрунту на інтенсивність накопичен-

ня ^{137}Cs деревиною сосни звичайної. Із отриманих матеріалів (табл.2), досить наглядно простежується тенденція збільшення питомої активності ^{137}Cs у деревині стовбура при підвищенні вологості ґрунту (від свіжих до вологих і мокрих гіротопів). Ця закономірність простежується не тільки для тканин стовбура, а й для інших органів дерева (табл.3). Питома активність ^{137}Cs у тканинах і органах сосни звичайної, що зростає в умовах свіжого субору, є у 2-3 рази меншою, ніж у відповідних тканинах та органах дерев, які репрезентують вологі субори, і у 4-5 разів – для умов мокрого субору. За величиною щільності радіоактивного забруднення ґрунту ^{137}Cs , три пробні площі (№55;61;65) мають достатньо близькі фактичні значення – 10.8-12.4 $\text{Кі}/\text{км}^2$ (табл.1). У певній мірі відмінності у надходженні і концентрації радіоцезію у тканинах і органах сосни звичайної можна пояснити особливостями розвитку їх кореневої системи у різних гіротопах. Як відомо [8], у сосни звичайної коренева система є достатньо пластичною і може бути як поверхневою, так і глибоко проникати у ґрунтові горизонти. Для свіжих умов зволоження вона є добре розвиненою. Значна кількість коріння знаходиться в нижніх різосферних шарах, у яких знаходження радіоцезію є мінімальним. Відповідно і поглинання його всмоктуючими корінчиками буде меншим. Для мокрих умов, де рівень ґрунтових вод є вищим, а відповідно і потужність ґрунту менша, у сосни звичайної розвивається поверхнева коренева система.

Таблиця 3

Питома активність ^{137}Cs в тканинах та органах сосни звичайної суборо-
вих умов місцезростання, Бк/кг

Місце відбору зразка	Питома активність ^{137}Cs , у різних гігروتопах		
	B ₂ (ПП №55)	B ₃ (ПП №61)	B ₄ (ПП №65)
Дерешина стовбура без кори, загалом:	1238	2922	5750
на висоті 0Н стовбура	1380	3930	5900
на висоті ¼ Н стовбура	1350	2620	5730
на висоті ½ Н стовбура	1060	2610	4270
на висоті ¾ Н стовбура	852	2630	5720
верхівка	1550	2820	7130
Дерешина стовбура, у корі, загалом:	1318	3676	7324
на висоті 0Н стовбура	1870	4040	7780
на висоті ¼ Н стовбура	1420	3470	7030
на висоті ½ Н стовбура	1390	3270	6420
на висоті ¾ Н стовбура	1610	3520	6630
верхівка	1750	4080	8760
Кора, загалом:	7660	12686	31600
на висоті 0Н стовбура	3340	4310	10900
на висоті ¼ Н стовбура	6140	7820	23100
на висоті ½ Н стовбура	8400	10800	27400
на висоті ¾ Н стовбура	10200	18600	29900
верхівка	10200	21900	66700
Гілки, загалом:	9702	17288	28740
низ крони	4010	8340	12900
середина крони	5570	11100	14700
верх крони	8470	15400	38200
дворічні	7860	15400	21000
однорічні	22600	36200	56900
Шпильки, загалом:	11844	21440	34460
низ крони	10900	13000	12600
середина крони	10800	14600	15200
верх крони	14300	23900	43600
дворічні	8620	11900	26000
однорічні	14600	43800	74900

При такому режимі зволоження основна кількість коріння знаходиться у верхніх, найбільш радіоактивно забруднених ^{137}Cs горизонтах ґрунту. Надходження радіоактивних частинок в органи дерева для таких умов є більш високим, що і підтвер-

джується результатами досліджень. Додатково на перебіг цього процесу може впливати достатня кількість вологи, що прискорює процес розчинення радіонуклідів, які знаходяться у ґрунті. Тим самим збільшується частка доступних його форм.

Відповідно, такий процес буде прискорювати міграційну здатність радіонуклідів у системі "грунт-рослини". Для мокрих умов зволоження коефіцієнт переходу (КП) радіоцезію із лісового ґрунту у деревину сосни становить $6.4 \text{ Бк/кг} \rightarrow \text{кБк/м}^2$ і є вищим, ніж для вологих і свіжих умов місцезростання (відповідно 2.1 і 3.7 $\text{Бк/кг} \rightarrow \text{кБк/м}^2$), при близьких за величиною щільностях забруднення ґрунту ^{137}Cs (табл.2).

Тенденція до більш інтенсивного накопичення радіоцезію тканинами стовбура, у більш зволених умовах, є характерною і для усіх інших його органів (табл.3). Так, у всіх аналізованих зразках сосни звичайної, що репрезентують мокрі умови зволоження, питома активність ^{137}Cs є в 1.5-2 рази вищою, ніж у вологих, і у 3-5 разів вищою, ніж у свіжих умовах. У шпильках найвищу активність ^{137}Cs має хвоя першого року, у дворічної хвої – вона зменшується у 1.5-3.9 рази. Для гілок характерна аналогічна ситуація. У пагонах поточного року активність ^{137}Cs є у 2-3 рази вищою, ніж у пагонах попередніх років. Тобто, спостерігається концентрація радіонуклідів у найбільш активних ростових органах дерева: асиміляційному апараті та апексі пагона. У тканинах стовбура дерева таких суттєвих відмінностей у концентрації ^{137}Cs не простежується. Фактичні значення питомої активності ^{137}Cs по висоті стовбура як у деревині з корою і без кори, так і у корі є достатньо строкатими, однак вони не відображають певної тенденції зміни даного показника. Розбіжності значень є випадковими і знаходяться у межах похибки вимірю-

вання $\pm 10\%$ і пов'язані із градуальними характеристиками ефективності (ГХЕ).

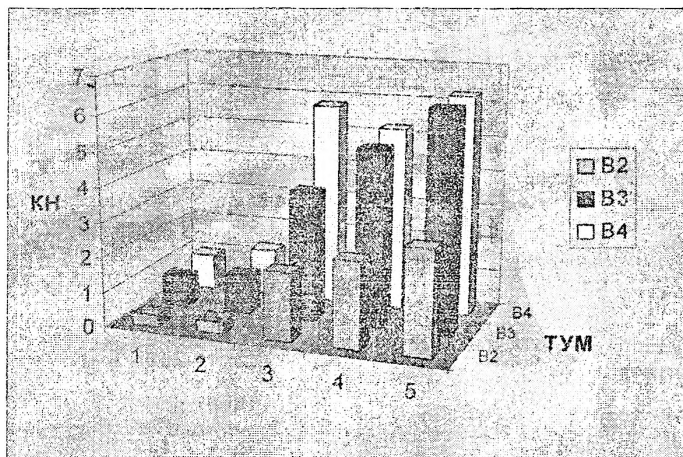
З метою виявлення зв'язку між переходом радіонуклідів із ґрунту у тканини та органи сосни звичайної, а також рівнями умов зволоження (гігротопами) використовували такий показник, як коефіцієнт накопичення (КН), що визначається як відношення вмісту радіонукліду в одиницях мас рослин та ґрунту. Цей показник є більш прийнятним, ніж коефіцієнт переходу, оскільки він інтегрує дію усіх процесів надходження радіонуклідів до фітомаси, а також є більш прийнятним для лісових ґрунтів, де значення щільності скелету ґрунту (об'ємної ваги) може мати дуже низькі і непостійні величини. Особливо це стосується перезволених ґрунтів.

Розрахунки коефіцієнта накопичення показують, що найвищим він є для мокрих умов місцезростання, дещо зменшується для вологих умов і суттєво (у 2-4 рази) знижується у свіжих гігротопках (рис.1). Серед органів дерева найвищі значення КН характерні для шпильок, а далі у порядку зменшення йдуть гілки, кора, деревина у корі і деревина без кори.

Наведені результати показують, що найменшою активністю ^{137}Cs відзначається стовбур сосни звичайної. Подальші дослідження, які були спрямовані на вивчення зміни вмісту ^{137}Cs у деревині за 5-річним радіальним періодом приросту на різній висоті (через 2 м) стовбура, виявили певні закономірності (табл.4). Як вже зазначалось і раніше, кора визначається значним радіоактивним забрудненням. В ній

питома активність ^{137}Cs є у 10 разів вищою у порівнянні із деревиною певних періодів радіального приросту. Ці відмінності значно менші для останнього 1997-1993 рр. періоду приросту, який межує із боковою (латеральною) меристемою і корою, та має найвищу питому активність ^{137}Cs деревини стовбура. У радіальному напрямку радіоактивне забру-

дження деревини стовбура зменшується поступово, однак усі радіальні кільця, до самої серцевини, мають достатньо високу активність ^{137}Cs . Спостерігається поступове зменшення вмісту радіоцезію у відповідних приростах деревини при підвищенні висоти відбору зрізів від коменя до вершини стовбура.



Умовні позначення:

1 – деревина стовбура без кори; 2 – деревина стовбура у корі; 3 – кора; 4 – гілки; 5 – шпильки
Рис. 1 Коефіцієнти накопичення цезію-137 тканинами та органами сосни звичайної в суборних умовах місцезростання

Таким чином, наведені результати вказують, що при веденні лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення необхідно брати до уваги як рівні вмісту ^{137}Cs у ґрунті, так і лісорослинні умови. Зростання зволоженості умов місцезростання зумовлює значне зростання інтенсивності накопичення радіоцезію тканинами та органами сосни звичайної. При вищих щільностях радіоактивного забруднення ґрунту ^{137}Cs підвищує-

ться і радіоактивність деревини. Найвищою питомаю активністю ^{137}Cs відзначаються найбільш фізіологічно активні органи і тканини сосни звичайної - шпильки та меристема гілок і стовбура. Внаслідок дифузних потоків радіонуклідів у стовбурі, всі його частини, від периферії до серцевини, є радіоактивно забрудненими, що значно обмежує можливість використання деревини сосни звичайної у господарських цілях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексахин Р.М., Васильев А.В. и др. Сельскохозяйственная радиология / Под ред. Р.М.Алексахина, Н.А.Корнеева. - М.: Экология, 1992. - 400 с.
2. Вакулук П.Г. Изменение лесистости Украины: Конспект лекций. - Пушкино, 1981.-48 с.
3. Іструкція з відбору та підготовки зразків для радіометричного контролю продукції лісового господарства. - К.: ДКЛГ України, 1998. - 22 с.
4. Комплексное лесохозяйственное районирование Украины и Молдавии / С.А.Генсирук, С.В.Шевченко, В.С.Бондарь и др.; Под ред. С.А.Генсирука. - К.:Наук. думка, 1981.-360 с.
5. Краснов В.П. Радіоекологія лісів Полісся України. - Житомир, 1998. - 112 с.
6. Мартинович Б.С., Сак М.М., Кузьмич О.Т., Казей А.П. Роль лесных фитоценозов в системе радиозоологического мониторинга природно-растительного комплекса БССР // Пробл. эколог. мониторинга: Материалы Российской радиобиолог.науч.-практ. конф. - Брянск: Брянский центр НТИ, 1991.-Ч.2.-С.27-28.
7. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Куликов Н.В. Радиозоологическое изучение почвенно-растительного покрова сопряженных участков ландшафта в зоне Чернобыльской АЭС // Экология.-1990.-№3.-С.30-35.
8. Погребняк П.С. Общее лесоводство.-М.:Сельхозиздат, 1963.-399с.
9. Тихомиров Ф.А. Вопросы радиозоологии лесных биогеоценозов // Пробл. радиозоологии и биологического действия малых доз ионизирующей радиации. - Сыктывкар, 1976.-С.70-85.

Турко В. М. - кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри екології лісового господарства ДААУ.

Ірклієнко С. П. - кандидат сільськогосподарських наук, директор Поліської лісової науково-дослідної станції УкрНДЛГА.

Орлов О. О. - кандидат біологічних наук, завідувач лабораторією радіобіоекології Поліській лісової науково-дослідної станції УкрНДЛГА.

Іванюк І. Д. - пошукач Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації, директор Житомирського державного лісопромислового підприємства.