

Табл. 3. Коефіцієнти множинної кореляції між потужністю експозиційної дози γ -випромінювання, γ - і β -активністю хвої та вмістом пластидних пігментів у листяному апараті дерев радіологічного профілю

Пігменти	21.05.99 р.		3.08.99 р.		23.05.99 р.	
	$R \pm m_r$	F_ϕ	$R \pm m_r$	F_ϕ	$R \pm m_r$	F_ϕ
Хлорофіли	$0,507^{\pm 0,186}$	1,38	$\frac{0,652^{\pm 0,144}}{0,676^{\pm 0,136}}$	$\frac{2,96}{3,36}$	$0,807^{\pm 0,807}$	12,15
Каротиноїди	$0,560^{\pm 0,172}$	1,83	$\frac{0,543^{\pm 0,176}}{0,776^{\pm 0,100}}$	$\frac{1,67}{6,04}$	$0,750^{\pm 0,109}$	8,37

Таким чином, радіаційне опромінення сосни звичайної впливає на характер біосинтезу зелених і жовтих пігментів у сезонному аспекті та їх спектральні властивості.

Література

1. Гусев М.В. Малый практикум по физиологии растений. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 192 с.
2. Зайка В.К. Деякі морфологічні аспекти формування молодих півсїбсових по- томств сосни звичайної на Львівському Розточчі// Наук. вісник УкрДЛТУ: Природничі дос- лідження на Розточчі. – Львів: УкрДЛТУ, 1995, вип. 4. – С. 132-145.
3. Криницький Г.Т. Морфологічні основи селекції деревних рослин. Автореф. дис.... докт. біол. наук. – К, 1993. – 46 с.
4. Мамаев С.А. Индивидуальная изменчивость в содержании хлорофилла в хвое сос- ны обыкновенной// Закономерность формирования и дифференциации вида у древесных рас- тений и животных. – Свердловск: АН СССР, 1969, вып. 64. – С. 90-96.
5. Новикова А.А. Рост и развитие растений в зависимости от светового режима. – Минск: Наука и техника, 1995. – 95 с.

УДК 630: 546.79: 504.064.3 (477) Докторант С.В. Зібцев – ННІ лісового та садово-паркового господарства НАУ

НАКОПИЧЕННЯ ^{90}Sr У ФІТОМАСІ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ

Встановлено особливості абсолютного та відносного забруднення органів де- ревинних порід ^{90}Sr . Найбільші концентрації стронцію спостерігаються у асиміляційно- му апараті та пагонах, найменші – у деревині. Вміст стронцію у корі зовнішній ха- рактеризується високою мінливістю порівняно із іншими органами. Встановлені особливості формуються на рівні організму і зберігаються незалежно від видової приналежності, рівня забруднення ґрунту та типу умов місцезростання.

Ключові слова: Радіоекологічний моніторинг, стронцій-90, лісоутворюючі де- ревинні породи, компоненти фітомаси

Ass. Prof. S.V. Zibtsev – Institute for forestry and landscape architecture NAU

Accumulation of ^{90}Sr in forest phytomass

Peculiarities of main forests trees contamination by ^{90}Sr in Ukrainian Polissia region are shown. Maximum concentration is observed in leaves/needles, minimum – in timber tissues. Amount of strontium in bark is characterized by maximum variation among other organs and so most it is difficult for predictions. These peculiarities do not depends from species of tree, level of contamination and forest site types.

Key words: Radioecological monitoring, strontium-90, main forest species, forest phytomass

Проблема користування радіоактивно забрудненими лісами і через 17 років після аварії на Чорнобильській АЕС продовжує залишатися актуальною як з екологічної, так і медико-соціальної точок зору. Забруднені радіонуклідами ліси займають біля 30 % загальної площі лісів України і залишаються, на даний час, об'єктом інтенсивного господарського і рекреаційного користування. Існуючі рівні радіоактивного забруднення згідно до прогнозів [8] не зменшаться істотно у найближчому майбутньому. Проходження після аварії половини періоду напіврозпаду ^{90}Sr зумовило зменшення його загальної кількості у навколишньому середовищі на величину до 30 %, проте інтенсифікація в останній час процесу вилуговування ^{90}Sr з наливних частинок, в яких він був у зв'язаному стані, зумовлює збільшення радіаційної небезпеки стронцію [7]. Серед додаткових суттєвих чинників збереження радіаційної небезпеки протягом тривалого часу після аварії також необхідно назвати консервативність біологічного кругообігу елементів у лісових екосистемах.

Стронцій-90 є другим за дозоутворюючою значимістю радіонуклідом у зонах забруднення Чорнобильської АЕС після цезію-137. Проте на сьогоднішній день радіаційний контроль переважаючої більшості продукції лісу здійснюється за вмістом ^{137}Cs , а масштаби контролю стронцію значно менші, що пов'язано із технічними складностями та високою вартістю радіохімічного методу визначення вмісту цього радіонукліду у об'єктах навколишнього середовища. В той же час, хоча цезій і продовжує залишатись основним джерелом опромінення, результати численних досліджень показують, що в останні роки відбувається його "старіння", тобто перехід у важкодоступний для рослин стан, що в свою чергу зумовлює зниження його коефіцієнтів переходу до рослин [1, 5]. На відміну від ^{137}Cs , рухомість ^{90}Sr в останні роки зберігається на тому ж рівні, як і раніше або навіть зростає, що зумовлює перевищення допустимих рівнів його надходження у деякі види продукції [2].

Безпосередньо після аварії щільність забруднення території ^{90}Sr у зонах конденсаційних випадінь була значно нижчою ніж цезію [4], проте хімічні властивості радіонуклідів зумовили певну різницю їх поведінки у системі ґрунт–рослина. При однаковій щільності забруднення ґрунту, надходження ^{90}Sr у фітомасу відбувається на порядок інтенсивніше ніж ^{137}Cs , що пов'язано із різними формами існування цих радіонуклідів у ґрунті: обмінною та фіксованою відповідно [6, 9]. У зв'язку із згаданим вище, необхідно констатувати, що дослідження закономірностей розподілу ^{90}Sr у фітомасі деревних порід залишаються дуже актуальними і повинні продовжуватись.

В основі проведених нами досліджень покладений метод порівняльної екології, при якому з'ясовувались кількісні та якісні особливості накопичення ^{90}Sr в органах деревних порід, які зростають у різних типах лісорослинних умов та при різній щільності забруднення ґрунту. При постановці досліджень виходили з того положення, що питома активність ^{90}Sr в органах деревних порід зумовлюється рядом чинників, що впливають на процес надходження радіонукліду у внутрішнє середовище. У загальному вигляді за своєю природою, ці чинники можуть бути розділені на дві великих групи: лісівничо-екологічні та радіаційні. Група лісівничо-радіаційних чинників включає типи

умов місцезростання, які змінюються в просторовому аспекті, ценотичні умови насаджень, які змінюються в часовому аспекті, видові фізіологічні особливості функціонування дерев, які відносно стабільні у просторі та часі. Група радіаційних чинників включає вид радіонукліду, кількісний рівень забруднюючої інстанції, її фізико-хімічні властивості, віддаленість від джерела забруднення тощо.

Схема досліджень, що була застосована, дає змогу нівелювати вплив радіаційних чинників і оцінити вплив лісівничо-екологічних. Зокрема, досліджується міграція одного з двох найбільш значимого дозоутворюючого радіонукліду – ^{90}Sr . Об'єкти досліджень розташовані на ділянках з різною щільністю забруднення ґрунту, але в гомогенній, з точки зору форми первинних радіоактивних випадіннь, ближній зоні забруднення. Для виділення впливу лісівничих чинників на розподіл радіонуклідів в деревних рослинах підібрані пункти постійного нагляду (ППН) в найбільш розповсюджених в Поліссі типах умов місцезростання – A_2 , A_4 , B_2 , B_4 , C_2 , B_1 , C_3 , A_1 . Для досліджень була використана регулярна мережа радіоекологічного моніторингу лісів. Лісові насадження на ППН характеризуються близькими лісівничо-таксаційними показниками – повнотою, віком та структурою і, відповідно, можуть порівнюватись між собою.

Відбір зразків ґрунту здійснювався циліндричним відбірником з рухомих поршнем за методом, запропонованим А. Щегловим [8]. Відбір зразків фітомаси деревних рослин здійснювався з середніх за таксаційними показниками модельних дерев. На кожному ППН відбиралось три модельних дерева головних лісоутворюючих порід та два модельних дерева супутніх порід. Мішані з усіх моделей зразки фітомаси сосни звичайної, дуба звичайного, берези повислої, осики, ясени, вільхи чорної, клена гостролистого відбирались за наступною схемою: однорічна хвоя/листя, двох-чотирьохрічна хвоя, однорічні пагони, двох-чотирьох річні пагони, гілки, кора зовнішня та внутрішня, деревина. Після підготовки, яка включала сушіння (105°C) та подрібнення, зразки надходили до радіометричної лабораторії. Вимірювання вмісту ^{90}Sr у зразках проводилося у лабораторії радіоекології НЦРМ АМН України радіохімічним методом.

Результати наших досліджень вмісту ^{90}Sr у компонентах лісоутворюючих порід на полігонах представлені в таблиці 1. При варіюванні щільності забруднення ґрунту від 36 до 4715 кБк/м^2 питома активність ^{90}Sr у фітомасі змінюється в набагато більш широкому діапазоні і в окремих випадках сягає надзвичайно високих значень – від 49 до 93218 Бк/кг . В органах сосни звичайної у зазначеному діапазоні зміни щільності забруднення ґрунту, забруднення органів змінюється в межах $95\text{--}9321\text{ Бк/кг}$.

Забруднення лісової фітомаси на об'єктах досліджень непропорційно темпам росту запасів елемента в ґрунті. Рівень забруднення 1-річної хвої сосни при щільності забруднення ґрунту 36 кБк/м^2 сягає 2361 Бк/кг , тоді як при забрудненні ґрунту в 19 разів вище – питома активність ^{90}Sr у хвої в 4,5 разів вище. Аналогічну особливість можна помітити й у фітомасі берези, дуба черешкового. Це ще раз доводить, що, рівень забруднення ґрунту є важливим, але не

єдиним фактором, що впливає на накопичення ^{90}Sr у фітомасі. Крім того, істотно впливають на перехід радіонуклідів у фітомасу фізико-хімічні властивості ґрунту, які у лісівництві відображаються типами умов місцезростання.

Табл. 1. Питома активність ^{90}Sr у фітомасі деревних порід на постійних пунктах спостережень мережі моніторингу лісу, Бк/кг

Компоненти фітомаси	Щільність забруднення ґрунту, кБк/м ²							
	4715	679	207	150	146	108	115	36
ТЛУ	A ₂	A ₄	B ₂	B ₄	C ₂	C ₃	B ₁	A ₁
Сосна звичайна								
Хвоя однорічна	53000	529	1109	127	-	-	505	2361
Кора внутрішня	82049	808	6266	-	660	-	-	723
Хвоя двох-чотирьохрічна	10093	681	1840	278	95	-	1334	676
Пагони двох-чотирьохрічні	93218	830	2723	275	228	-	-	648
Пагони однорічні	76118	655	1293	281	-	-	457	568
Кора зовнішня	33781	1043	1032	290	525	-	-	527
Гілки	69394	561	1967	206	164	-	1020	458
Деревина	26397	266	-	4267	124	-	216	347
Береза повисла								
Листя	-	17629	10631	2147	-	1690	12817	890
Пагони	-	8114	8071	1630	-	2268	-	642
Кора зовнішня	-	2410	1979	457	-	584	-	1098
Гілки	-	4835	5618	1058	-	729	4589	435
Деревина	-	652	600	192	-	163	-	249
Дуб звичайний								
Листя	-	1952	8742	6132	1816	-	1928	1079
Пагони	-	2483	8585	588	914	-	-	837
Гілки	-	1622	4943	789	1550	451	-	533
Кора зовнішня	-	2325	867	809	2884	1745	1452	-
Деревина	-	242	243	49	131	52	200	-

Чіткої картини в рівні забруднення окремих органів сосни звичайної ^{90}Sr не спостерігається (табл. 2). Частіше ніж в інших органів, максимальна питома активність ^{90}Sr спостерігається у 1-річній хвої сосни – на 4-х полігонах з восьми. В той же час, існує 12 % імовірність максимального забруднення й інших органів: кори внутрішньої, пагонів і хвої 2-4-х річних, кори зовнішньої. Забруднення деревини мінімальне тільки на чотирьох полігонах з восьми.

Ряд органів сосни за градієнтом зниження концентрації ^{90}Sr вибудований за допомогою їх середньозваженого рангу має наступний вигляд: хвоя 1-річна > пагони 1-річні > хвоя 2-4-річна > кора зовнішня > гілки > пагони 2-4-річні > кора внутрішня > деревина. Імовірність такої послідовності забруднення органів коливається у межах від 29 % до 57 %. Найменша вірогідність встановлена для кори зовнішньої, що вказує на низькі можливості прогнозування її забруднення.

Більш чітка закономірність забруднення органів встановлена в березі бородавчастої і дуба черешкового. На шести полігонах з восьми серед органів берези найбільша питома активність ^{90}Sr встановлена в листях, для дуба черешкового – на п'яти полігонах з восьми. Забруднення деревини берези повислої на всіх полігонах мінімальне. Забруднення деревини дуба черешково-

го мінімальне порівняно із іншими органами на шести полігонах з восьми. В обох випадках вірогідність для прогнозування відносного забруднення деревини найбільша порівняно з іншими органами. За зниженням концентрації ^{90}Sr органи берези і дуба можуть бути розташовані у таку послідовність: листя > пагони > кора зовнішня > гілки > деревина. У дуба кора зовнішня у двох випадках була більш забруднена, ніж інші органи й у трьох випадках розташована на другій позиції, що й зумовлює низьку вірогідність її рангу – 63 % і 38 % для берези та дуба відповідно.

Табл. 2. Відносне забруднення ^{90}Sr органів головних лісоутворюючих порід

Компоненти	Фактичний ранг								Середньо зважений ранг	Ймо- вір- ність, %	Розрахун- ковий ранг
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Сосна звичайна											
Хвоя однорічна	4	-	1	-	1	1	1	-	3,1	57	1
Пагони однорічні	1	4	1	-	-	1	-	1	3,3	57	2
Хвоя двох-чотирьох річна	1	2	-	3	-	1	1	-	3,8	43	3
Кора зовнішня	1	-	2	2	1	-	1	1	4,4	29	4
Гілки	-	-	1	2	4	-	-	1	4,9	57	5
Пагони двох-чотирьох річні	1	-	2	-	-	3	1	1	5,0	43	6
Кора внутрішня	-	1	1	1	1	1	3	-	5,1	43	7
Деревина	-	1	-	-	1	1	1	4	6,5	57	8
Береза повисла											
Листя	6	2	-	-	-	1,3			75	1	
Пагони	1	6	-	1	-	2,1			75	2	
Кора зовнішня	1	-	5	2	-	3,0			63	3	
Гілки	-	-	3	5	-	3,6			63	4	
Деревина	-	-	-	-	8	5,0			100	5	
Дуб звичайний											
Листя	5	1	1	1	-	1,8			63	1	
Пагони	1	3	-	3	1	3,0			38	2	
Кора зовнішня	2	3		3	-	2,5			38	3	
Гілки	-	1	5	1	1	3,3			63	4	
Деревина	-	-	2	-	6	4,5			75	5	

Особливості забруднення ^{90}Sr органів осики, вільхи, клена гостролистого і ясена звичайного відповідають, у цілому, особливостям забруднення берези і дуба черешкового – найбільшою мірою забруднюються листя чи кора зовнішня, у найменшу деревина. Інші органи займають середнє положення (табл. 3).

Табл. 3. Питома активність ^{90}Sr у фітомасі листяних порід, Бк/кг

Порода/ТУМ	Клен гостролистий	Ясен звичайний	Вільха чорна		Осика		
	B ₄	C ₃	B ₄	C ₃	A ₄	C ₃	B ₄
Листя	11563	3704	2607	1228	14617	3107	1858
Пагони	5255	1176	1751	1034	11143	1195	н.д.
Гілки	2165	577	1053	1453	8668	832	н.д.
Кора зовнішня	н.д.	5852	2422	925	н.д.	648	833
Деревина	н.д.	266	189	176	1554	101	157

Відсутність постійної закономірності у надходженні ^{90}Sr в органи деревних порід унеможливорює прогнозу біоіндикаторну оцінку забруднення органів сосни, як це можливо в окремих випадках по ^{137}Cs – шляхом використання постійного співвідношення між забрудненням окремих органів [3]. Твердих співвідношень рівня забруднення органів, наприклад, деревина/листя – не встановлено. Максимальний вміст ^{90}Sr у клені гостролистому, ясені звичайному і вільсі чорній встановлено у листі або корі зовнішній, мінімальний – у всіх випадках у деревині.

Резюмуючи наведені дані необхідно констатувати, що надходження ^{90}Sr у фітомасу деревних порід у зоні Полісся характеризується значною мінливістю і у кожному конкретному випадку зумовлюється впливом та співвідношенням радіаційних та лісівничо-типологічних чинників. Максимальна питома активність ^{90}Sr встановлена у листях та пагонах при імовірності 38-75 %, мінімальна у деревині (57-100 %). Відсутність твердих співвідношень у забрудненні ^{90}Sr різних органів вимагає організації більш широко його радіаційного контролю у продукції лісу.

Література

1. Гудков І.М. Сучасна радіаційна ситуація в аграрній сфері на території України, Росії та Білорусі в зоні впливу аварії на Чорнобильській АЕС// Проблеми сільськогосподарської радіології: 17 років після аварії на Чорнобильській АЕС, 19-21 червня 2003 року. – Житомир: Вид-во Житомирського ДАУ, 2003. – С. 21-27.
2. Гудков І.М., Грисюк І.М., Лазарев М.М. та ін. Радіоекологічний моніторинг Голосіївського лісу// III з'їзд з радіаційних досліджень (радіобіологія і радіоекологія): Київ, 21-25 травня 2003 року. – К.: Фітосоціоцентр, 2003. – С. 294.
3. Зібцев С.В. Ценотичні особливості розподілу ^{137}Cs в соснових насадженнях Українського Полісся// Наукові праці Національного Аграрного Університету. – К.: Урожай. – 2003, вип. 63 – С. 237-241.
4. Надточій П.П., Малиновський А.С., Можар А.О. та ін. Досвід подолання наслідків Чорнобильської катастрофи (сільське та лісове господарство). Київ: "Світ", 2003. – С. 55.
5. Національна доповідь України "15 років Чорнобильської катастрофи. Досвід подолання"/ Під ред. В.В. Дурдинця, Ю.О. Іванова. – К.: МНС, 2001 – 150 с.
6. Процак В.П., Каспаров В.А., Левчук С.Е. и др. Накопление и распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в древесине сосны// III з'їзд з радіаційних досліджень (радіобіологія і радіоекологія): Київ, 21-25 травня 2003 року. – К.: Фітосоціоцентр, 2003. – С. 334.
7. Таргонський П.М. Радіаційна небезпека залишається// www.news.ztown.info:8080: опубліковано: 27.04.2003.
8. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. – М.: Наука, 1999. – 268 с.
9. Шмигельская И.Д., Путятин Ю.В., Ефимова И.А. и др. Особенности накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr видами и сортами сельскохозяйственных культур// Проблеми сільськогосподарської радіології: 17 років після аварії на Чорнобильській АЕС, 19-21 червня 2003 року. – Житомир: Вид-во Житомирського ДАУ, 2003. – С. 110-114.