

УДК 630.2:582.475:582.29:546.36

Г. І. Васенков

кандидат с.-г. наук, доцент

О. В. Бельська

аспірант

Державний агроекологічний університет (м. Житомир)

РОЗПОДІЛ АКТИВНОСТІ ^{137}Cs У НИЖНЬОМУ ЯРУСІ СОСНОВО-ЛИШАЙНИКОВОГО ТИПУ ЛІСУ

Наведені результати досліджень розподілу ^{137}Cs в нижньому ярусі сосново-лишайникового типу лісу на прикладі Поліського природного заповідника. Дана порівняльна радіоекологічна характеристика основних компонентів ґрунтового та рослинного покриву нижніх ярусів лісових екосистем в умовах типів A_1 , A_2 і B_3 .

Вступ

Ліси відіграють роль екологічних перешкод при переміщенні речовин в ландшафті, затримуючи їх на своїй території завдяки великій

шорсткості поверхні. Тому при радіоактивному забрудненні середовища щільність радіоактивного забруднення лісових масивів на 20–30 % вища, ніж прилеглих елементів ландшафтів.

Радіонукліди, потрапивши до структури лісових екосистем, включаються в геохімічні процеси, розподіляються між структурними елементами з потоками речовини. Залучаючи їх в колообіг речовин, ліси відіграють роль біогеохімічних бар'єрів на шляху їх перерозподілу в просторі [1]. Основними механізмами, які дозволяють запобігти виносу елементів з екосистеми, є механічне та біологічне їх закріплення. В лісових екосистемах роль біогеохімічних бар'єрів, що здатні накопичувати і довгий час утримувати радіоізотопи, відіграють органічна речовина ґрунту, і, в першу чергу, лісова підстилка та рослинність [1–3].

Як зазначалося [4], актуальною проблемою радіоекології є вивчення ролі різних представників живих організмів у процесі міграції та розподілу радіоактивних речовин серед компонентів біогеоценозів. Найбільшу здатність до накопичення радіонуклідів мають нижчі рослини та мохи, що пояснюється особливістю їх будови і життєдіяльності, які й стали предметом наших досліджень.

Більш повно зі спорових вивчалось накопичення нуклідів грибами – як харчовою продукцією лісу. Мало вивченими є закономірності накопичення радіонуклідів лишайниковим покривом та його вплив на розподіл радіонуклідів у лісових екосистемах.

Основні дослідження з цієї проблеми проводилися в умовах півночі Росії, де лишайники є основним кормом для копитних тварин. На території України ця проблема вперше постала після аварії на ЧАЕС. Вивченням даної проблеми на території Полісся займалися О.О. Орлов, С.Я. Кондратюк, І.Л. Навроцька та ін. [4–6]. Однак усі дослідження в цьому напрямку ґрунтуються на загальних радіологічних обстеженнях та теоретичних міркуваннях [1, 2, 6, 7].

Тому вивчення особливостей та закономірностей розподілу радіоцезію в лишайниковому покриві та вплив ліхенофлори на міграцію нуклідів у лісових екосистемах викликає великий науковий інтерес.

Відіграючи значну роль в лісових екосистемах (збагачення ґрунту органічною речовиною, створення позитивного мікроклімату для розвинутої рослинності тощо), лишайники також являються накопичувачами забруднювачів, які нагромаджують у значних кількостях важкі метали та радіонукліди, що потрапили до екосистем повітряним шляхом. Так дослідження радіоекології лишайників у зоні Білоярської АЕС [4] у післячорнобильський період та попередні роки (1985–1988 рр.) показав, що спостерігалася чітка тенденція збільшення радіоцезію в рослинах, і, в значній мірі, в лишайниках.

Серед визначальних факторів, що впливають на особливості закріплення радіонуклідів, відмічають велику сорбційну поверхню (у десятки разів більшу, ніж у вищих рослин), значну тривалість життя та синтез специфічних лишайникових кислот, які можуть сприяти накопиченню радіонуклідів [1, 4].

Метою нашої роботи було вивчення розподілу радіоцезію в основних складових лишайникових синузій сухих борів Поліського природного заповідника та їх вплив на вертикальну міграцію нуклідів у ґрунті сухого бору в порівнянні з вологим субором.

Об'єкти та методика досліджень

Дослідження проводились у Поліському природному заповіднику, особливості лісових масивів якого визначаються, в першу чергу, відведенням цих земель під охорону, що виключає їх використання в господарських цілях. Природне формування і розвиток екосистем дозволяє більш повно вивчати особливості розподілу як окремих елементів, так і потоку речовини в даних біогеоценозах.

Ліси Поліського природного заповідника відрізняються значною (до 20 %) площею лишайникових борів, сформованих як природні сукцесії на бідних флювіогляціальних пісках [8, 9]. Серед ліхенофлори заповідника найбільш чисельним є рід *Cladonia* (25 видів), з епіфітної ліхенофлори найбільш розповсюдженими є *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Pseudoevernina furfuracea* (L.) Vann, *Usnea hirta* (L.) Wigg. Emend.

Для проведення досліджень було відібрано 5 постійних площадок з різною щільністю радіоактивного забруднення. Основні таксаційні показники ділянок наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристика об'єктів дослідження

№ ділянки	Тип умов місцезростання	Склад деревостану	Висота деревостану, м	Вік, років	Клас бонітету	Щільність забруднення, кБк/м ²
1	A ₁	10С+Б	10	40	4	56
2	A ₁	10С	17	70	3	118
3	A ₁	10С	5	40	5	97
4	A ₂	10С+Б	21	90	3	160
5	B ₃	9С1Б	26	90	1	108

Ділянка 1 розташована на плоскій вершині піщаної гряди; ділянки 2, 3 займають вершини піщаних "дюн". Ділянки 4 і 5 розташовані на рівнині. В рослинному покриві нижнього ярусу типів лісу А₁ і А₂ переважають лишайники роду *Cladonia* з проективним покриттям 70–85 %. Найбільш розповсюдженою серед представників ліхенофлори є *Cladonia mittis* Sandst. Плями зустрічаються *Cl.unsialis* (L.) Web. ex Wigg. em.

Hoffm., *Cl.gracilis* (L.) Willd., *Cl.digitata* (L.) Schaer., а на ділянках 1 та 4 – *Cl.crispate* (Arh.) Flot та *Cl.subulata* (L.) Wigg.. З епіфітної ліхенофлори найбільш розповсюджені *Hypogymnia physodes* та *Usnea hirta*. Серед вищих рослин типовими є *Festuca ovina* L., з мохів *Pleurozium schreberi* Mitt. Для ділянок 4 та 5 також характерними є *Calluna vulgaris* (L.) Hill. та *Vaccinium myrtillus* L.

Ґрунти ділянок 1–4 представлені боровими пісками з неглибоким (до 18–20 см) гумусово-елювіальним горизонтом, товщина лісової підстилки не перевищує 1,0–1,5 см. Ґрунт ділянки 5 (вологий субір) – дерново-слабопідзолистий піщаний з товщиною лісової підстилки 4–8 см та гумусово-елювіальним горизонтом до 22 см.

Зразки ґрунту відбиралися на ділянках площею 25 м² стальним буром діаметром 5 см на глибину 10 см у 5-кратній повторності. З відібраних на кожній ділянці зразків робили один змішаний. Зразки епігейної ліхенофлори відбиралися в тих же точках, епіфітної – зі стовбурів дерев рівномірно на кожній ділянці.

Для вивчення розподілу радіоцезію з глибиною ґрунт відбирався пошарово через 2–5 см з ділянок 50x50 см з відокремленням шарів лісової підстилки.

Зразки висушувалися, подрібнювалися і пересіювалися через сито з отворами в 1 мм. Питома активність радіоцезію визначалася на гамма-спектрометрі, обладнаному NaI-детектором з відносною похибкою 5 %.

Результати досліджень

Вивчення активності радіоцезію в лишайниковому покриві заповідника показало, що його накопичення досить специфічне для різних видів та екологічних груп рослин. Так, при дослідженні епіфітних лишайників *Hypogymnia physodes* та *Usnea hirta*, відібраних зі стволів сосни звичайної на ділянці 1 виявилось, що різниця в накопиченні ними нукліду складає 2,5 рази і становить 4330 Бк/кг для *Hypogymnia physodes* та 1700 Бк/кг для *Usnea hirta* в перерахунку на суху речовину. Таке ж співвідношення спостерігається й на інших ділянках (табл. 2).

Цю закономірність можна пояснити особливостями морфології лишайників: *Hypogymnia physodes* має листувату форму слані, а *Usnea hirta* є куцистою формою. Відповідно сорбційна поверхня слані першого виду більша, ніж другого.

Особливості розташування слані щодо поверхні субстрату також обумовлюють їх здатність до затримки та закріплення радіонуклідів – горизонтальне розпластання та велика шорохуватість поверхні слані лишайника *Hypogymnia physodes* обумовлює затримку речовин та елементів при стоці атмосферних опадів по стовбуру дерева.

Щільність забруднення наземних лишайників роду *Cladonia* також дещо відрізняється не тільки за видами, але й між представниками одного і того ж виду як на різних ділянках, так і в межах однієї ділянки. Дослідження епігейної ліхенофлори показали, що питома активність лишайників різних видів на ділянці 4 становить (Бк/кг сухої речовини): *Cladonia mittis* – 8813,8; *Cl.uncialis* – 7985,8; *Cl.subulata* – 11676,4 (співвідношення 1,1 : 1 : 1,5).

Таблиця 2. Питома активності ^{137}Cs в ґрунтовому покриві лісових екосистемах, Бк/кг

Вид	n	Номер ділянок				
		1	2	3	4	5
Лишайниковий покрив						
<i>Hypogymnia physodes</i>	20	4330±297	5931±250	4859±502	12730±774	–
<i>Usnea hirta</i>	15	2010±347	2366±223	1910±177	–	–
<i>Cladonia mittis</i>	25	1820±558	3651±541	2500±705	9907±750	–
<i>Cl. unsialis.</i>	20	2310±490	3074±372	–	7986±684	–
<i>Cl.subulata</i>	5	–	–	–	11676±992	–
Трав'яно-чагарниковий покрив						
<i>Vaccinium myrtillus</i>	8	–	–	–	11136±322	4790±403
<i>Calluna vulgaris</i>	8	–	–	–	12800±573	6700±427
Моховий ярус						
<i>Pleurozium schreberi</i>	5	–	–	–	7830±450	–

Якщо прослідкувати цей показник в інших ліхеносинузіях, можна побачити, що різниця в активності між двома найбільш типовими представниками епігейної ліхенофлори коливається в значних межах: для *Cl. mittis* та *Cl. uncialis* на ділянці 1 – 1:1,3; на ділянці 2 – 1,2:1. При чому дослідження співвідношення нукліду в межах одного виду показало, що різниця активності становить 1:1,5 для *Cl.subulata* та і 1:1,2 для *Cl. mittis*. Ця різниця залежить, в першу чергу, від розміщення рослин під кронами дерев і, відповідно, кронового стоку, що формувався в післячорнобильський період, а також від віку та величини біомаси купин і лишайника на окремих ділянках суцільного килиму.

Поведінка ^{137}Cs в лісових ґрунтах дозволяє визначити, що суттєву роль у вертикальній міграції нукліду відіграє специфіка рослинного покриву. Як основний визначник формування органічного шару, наземна рослинність впливає на вимивання радіоцезію з вищих горизонтів у нижчі та перенесення його у верхні шари лісової підстилки з опадом.

Одну з провідних ролей у процесі розподілу радіонуклідів у ґрунтовому профілі відіграє лишайниковий покрив.

У лишайникових борах Поліського природного заповідника на борових пісках питома активність радіоцезію в лісовій підстилці перевищує таку в верхньому горизонті ґрунту (0–5 см) в 1,2–1,5 разів (табл. 3), а у вологому суборі – в 5 раз.

Таблиця 3. Розподіл питомої активності радіоцезію по ґрунтовому профілю, Бк/кг

Складові ґрунту	Шар, см	Номер ділянок				
		1	2	3	4	5
Лісова підстилка	0–2 (0–7)*	2040	1008	1358	1114	2496
Мінеральні шари ґрунту	0–1	751	875	882	548	324
	1–2					152
	2–5	436	131	261	358	94
	5–10	304	45	258	145	44
	10–15	160	43	77	110	42
	15–20	94	34	37	73	32
	20–25	71	33	33	40	17
25–30	64	23	24	24	–	

*Для ділянки 5 (тип умов місцезростання В₃)

Для лишайникового бору характерний поступовий розподіл нукліду в ґрунтовому профілі. Найбільша активність його міститься в горизонті 0–5 см із поступовим зменшенням по профілю в гумусово-елювіальному горизонті. Найменшою активністю характеризується ґрунтотворна порода.

У вологих суборах, з порівняно багатшими ґрунтовими умовами, питома активність ¹³⁷Cs в лісовій підстилці розподіляється неоднаково. Найбільшою питомою активністю радіоцезію характеризується шар напіврозкладеної підстилки: 1–2 см – 4200 Бк/кг, 2–4 см – 6120 Бк/кг. Шар розкладеної підстилки має меншу активність радіоцезію: 4–6 см – 1015 Бк/кг, 6–7 см – 894 Бк/кг. Найнижча активність радіоцезію у верхньому шарі підстилки (0–1 см), що складається з нерозкладеної хвої та інших рослинних решток – 250 Бк/кг.

У ґрунті цезій найбільше сконцентрований у верхньому горизонті – 0–1 см. Далі вміст нукліду інтенсивно зменшується. Найменша його кількість знаходиться в ґрунтовірній породі.

Таким чином, перехід радіоцезію в ґрунтовий профіль лісових біоценозів залежить від особливостей накопичення та вимивання нукліду з лісової підстилки. Лісова підстилка та ґрунт відіграють роль накопичувачів радіоактивних речовин у лісових біогеоценозах.

Це характерно і для лишайникового покриву. Епігейна ліхенофлора є одним із перших, і довгий час найголовнішим, депо радіонуклідів завдяки великій поглинаючій поверхні та щільному проективному покриттю (до 80–90 % і більше). Вона акумулює більшу частину радіонуклідів, які потрапили в екосистему. В подальшому йде поступове вимивання радіонуклідів атмосферними опадами зі слані лишайників на поверхню ґрунту.

Порівняти показники активності в різних компонентах екосистеми можна за допомогою коефіцієнта накопичення (КН), що показує відношення питомої активності ^{137}Cs в компонентах біогеоценозу (A_m) до питомої активності ^{137}Cs в 10 см шарі ґрунту ($A_{m_{gp}}$) (табл. 4):

$$KH = \frac{A_m}{A_{m_{gp}}}$$

Таблиця 4. Коефіцієнт накопичення радіоцезію в різних компонентах лісових біогеоценозів дослідних ділянок

Компоненти	Тип умов місцезростання				
	B ₃	A ₂	A ₁		
	Ділянки				
	5	4	1	2	3
Епіфітна ліхенофлора	–	12,5	8,5	5,2	4,8
Епігейна ліхенофлора	–	9,7	5,5	4,2	3,2
Чагарниковий ярус	9,9	11,8	–	–	–
Моховий ярус	–	7,7	–	–	–
Лісова підстилка	4,4	1,1	5,4	1,3	1,9

Відповідно до отриманих розрахунків, в борових умовах найвищий коефіцієнт накопичення характерний для епіфітної ліхенофлори (сухий бір – 4,8–8,5, свіжий бір – 12,5). Для епігейної ліхенофлори цей коефіцієнт становить 3,2–5,5 для сухого бору та 9,7 для свіжого бору.

Концентрація радіоцезію в наземних лишайниках сухого бору перевищує таку в лісовій підстилці в 2–3, а свіжого бору – в 9 разів.

У цілому можна сказати, що найвищі коефіцієнти накопичення нукліду лишайниками характерні для свіжого бору (ділянка 4). В сухому борі на ділянці 1, де в деревостані зустрічається береза, коефіцієнти накопичення більші, ніж у тих же умовах, але при відсутності листяних порід.

Чагарниковий ярус, представлений *Vaccinium myrtillus* та *Calluna vulgaris*, в умовах свіжого бору є одним з інтенсивних накопичувачів цезію. За активністю він займає друге місце після епіфітної ліхенофлори. При чому коефіцієнт накопичення для чагарників у цих умовах вищий, ніж в умовах вологого суббору.

Найвища концентрація ^{137}Cs в лісовий підстилці характерна для вологого бору – ділянка 5 (велика потужність шару підстилки, більш багаті умови), та ділянки 1 (підстилка збагачена органічними рештками листяних порід).

Тобто, в першу чергу на коефіцієнти накопичення нукліду впливають умови формування лісових масивів: тип умов місцезростання, склад та особливість деревостану (висота ярусу, вік, клас бонітету, зімкнутість крон, що вплинули на умови формування радіоактивного забруднення), та особливості ліхеносинузій: вид лишайників, їх морфологічні особливості, проективне покриття загальної кількості біомаси на одиницю площі тощо.

У цілому ж за отриманими даними можна визначити таку інтенсивність акумуляції ^{137}Cs в нижньому ярусі сосново-лишайникового типу лісу: епіфітна ліхенофлора > трав'яно-чагарниковий ярус > епігейна ліхенофлора > моховий ярус > лісова підстилка.

Висновки

1. Питома активність ^{137}Cs в *Hypogymnia physodes* в 2,5 рази вище, ніж в *Usnea hirta*.

2. Радіоактивне забруднення наземних лишайників відрізняється як за видами (для *Cl. mittis*, *Cl. unsialis* та *Cl. subulata* співвідношення питомої активності становить 1,1:1:1,5), так і між представниками одного і того ж виду в межах однієї ділянки (для *Cl. mittis* та *Cl. Unsialis* – 1,2–1,3, для *Cl. subulata* – 1,5).

3. Лісова підстилка сухих борів накопичує цезій в 1,2–1,5 рази більше, ніж верхній шар (0–5 см) мінеральної частини ґрунту, а вологого субору – в 5 разів більше.

4. Коефіцієнт накопичення для епіфітної ліхенофлори становить: сухий бір – 4,8–8,5, свіжий бір – 12,5; для епігейної ліхенофлори – 3,2–5,5 та 9,7 відповідно; для трав'яно-чагарничкового ярусу свіжого бору – 11,8, мохового покриву – 7,7.

5. За інтенсивністю акумуляції радіоцезію нижній ярус сосново-лишайникового типу лісу можна розмістити в такому порядку: епіфітна ліхенофлора > трав'яно-чагарниковий ярус > епігейна ліхенофлора > моховий ярус > лісова підстилка.

Література

1. 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.

2. Тихомиров Ф.А., Щеглов А.И. Последствия радиоактивного загрязнения лесов в зоне влияния аварии на ЧАЭС // Радиационная биология. Радиозология. 1997. Т.37. Вып. 4. – С. 664–672.

3. Йохансон К.Й., Долгилевич М.И., Васенков Г.И. Функции органического вещества, определяющие поведение радиоцезия в системе почва-растение // Вісник аграрної науки. – 1997. – №3. – С. 52–54.

4. Накопичення радіонуклідів споровими і вищими грибами України /Вассер С.А., Кондратюк С.Я., Навроцькі І.Л. та ін. – К.: – 1995. – 131 с.

5. Вміст радіонуклідів у лишайниках України / Кондратюк С.Я., Навроцька І.Л., Брунь Г.О. та ін. – Український ботанічний журнал. – 1994. – №4. – С.46–52.

6. Орлов О.О., Кондратюк С.Я. Багаторічна динаміка вмісту ^{137}Cs у епігейних куцистих лишайниках Українського Полісся (1991–2000 рр.) /Матер. XI з'їзду Укр. бот. т-ва. – Харків, 2001. – С. 277–278

7. Нифонтова М.Г., Куликов Н.В. Динаміка розподілення радіонуклідів стронція і цезія в компонентах наземних екосистем в зоні Бєлєярської АЕС на Уралі // Екологія. – №3. – 1990. – С.77–80.

8. Растительный мир Украинского Полесья в аспекте его охраны / Андриенко Т.Л., Шеляг-Сосонко Ю.Р. – К.: Наук.думка, 1983. – 216 с.

9. Полесский государственный заповедник. Растительный мир. /Андриенко Т.Л., Попович С.Ю., Шеляг-Сосонко Ю.Р.– К.: Наук.думка., 1986. – 208с.
