

НАКОПИЧЕННЯ ^{137}Cs У ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ В МЕЖАХ ЗАХІДНОГО СЛІДУ АВАРІЇ НА ЧАЕС

В.А. Проневич, кандидат сільськогосподарських наук

Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ

Встановлено, що на всіх відмінах лісових ґрунтів основна маса ^{137}Cs знаходиться в лісовій підстилці та верхніх шарах гумусового горизонту. Розподіл радіонукліду по глибині профілю збільшується від дерново-підзолистих сухих піщаних та супіщаних до сирих лучно-торфових ґрунтів, де його активність відзначена на глибині 27–30 см. Серед компонентів лісового біоценозу найвищим накопиченням ^{137}Cs характеризуються спорові, в першу чергу гриби (25,1–296,1 кБк/кг) та лишайники (32,3–44,1 кБк/кг). Серед вищих рослин – це листя берези, дуба, горобини, листя і плоди чорниці (17,8–20,6 кБк/кг), зелена маса злакових багаторічних трав.

Ключові слова: радіоактивність, міграція, ^{137}Cs , ґрунти, лісовий біоценоз.

Екологічне значення радіаційного фактора особливо зросло у зв'язку з найбільшою в історії атомної енергетики аварією на Чорнобильській атомній електростанції та викидом великої кількості продуктів радіоактивного розпаду в біосферу. Широкі дослідження в області лісової радіоекології, виконані в нашій країні та за кордоном, переконливо довели, що лісові біогеоценози є одними з найбільш радіочутливих типів природних комплексів, радіаційне ураження яких виявляється за менших доз опромінення, ніж променеве пошкодження інших типів природних екосистем [1, 2]. Крім того, слід врахувати, що лісові біогеоценози мають свою специфіку первинного розподілу та наступної горизонтальної і вертикальної міграції радіонуклідів порівняно з іншими типами екосистем.

За аналізом результатів дослідження, спочатку 60–90 % радіоактивних випадінь на ліс затримуються його надземною фітомасою, особливо деревним пологом [3, 4]. Тому безпосередньо після аварії крони дерев при сильному вітрі

можуть слугувати за джерело надходження радіоактивних аерозолів в приземний шар атмосфери та їх вторинного вітрового перенесення на значні відстані. Радіонукліди мігрують під полог лісу, як показано в працях [4, 5], переважно з біогенним опадом, який пов'язаний з ростовими процесами (у складі листових лусок епідерміса, чохликів бруньок, лусок кори). Звідси можна стверджувати, що чим активніші ростові процеси, тим інтенсивніший опад і вищі темпи дезактивації крон.

Стосовно зони відчуження ЧАЕС, то через рік після аварії близько 95 % радіонуклідів мігрувало з надземної частини деревного ярусу на поверхню лісової підстилки, а в надземній фітомасі залишилося в стійко утримуваній формі менше 5 % загальної їх кількості [6, 7]. У наукових дослідженнях [1, 3, 8] вказується, що в ландшафтах 30 км зони ЧАЕС у надземній частині деревного ярусу в 1989 р. містилося від 0,3 до 6,0 % загальної кількості ^{137}Cs у біогеоценозі, тоді як у ґрунті зосереджено більше 90 % (причому від 75 до 96 % цієї кількості знаходилося в лісовій підстилці і лише 4-25 % – у мінеральній частині ґрунту). З опадом на поверхню ґрунту щорічно потрапляє від 0,13 до 0,25 % ^{137}Cs від щільності забруднення. З лісової підстилки в мінеральну товщу ґрунту з вертикальним водним потоком щорічно мігрує близько 0,08 %, а за межі 0-30 см кореневого шару – менше 0,003 %. Ці дані ще раз підтверджують, що надходження радіонуклідів з рослинним опадом в 1,5-3 рази більше, ніж винесення їх водним потоком з лісової підстилки і майже на 2 порядки вище, ніж із мінеральної товщі ґрунту.

За осінньо-зимовий період з опадів вивільняється від 60 до 80 % радіонуклідів, що містилися в ньому. В листяних і мішаних лісах вивільнення радіонуклідів з опадів вище порівняно з хвойними. В ґрунті ^{137}Cs мігрує переважно у складі водорозчинних, органічних сполук – продуктів метаболізму ґрунтової флори та фауни. За результатами досліджень, визначальними факторами міграції радіонуклідів по профілю ґрунту в лісі є дифузія, біогенна міграція та ліссіваж [1,4,9,10].

Під впливом ряду факторів частина радіонуклідів, що випали, переходить у рухомі форми і потрапляє до ґрунтового розчину. Швидкість переміщення розчинних форм радіонуклідів у нижні шари ґрунту значною мірою залежить від водного внутрішньогрунтового стоку, особливо, в умовах Українського Полісся, де щороку фіксується високий показник кількості опадів (близько 600 мм) і переважають ґрунти легкого гранулометричного складу [1-4]. Враховуючи ці обставини, першочерговими у радіоекологічних дослідженнях виступає завдання вивчення процесів міграції в природних комплексах й агросистемах, які визначають радіоактивне забруднення лісової та сільськогосподарської продукції, що формує дозу опромінення населення. На вирішення цих питань і спрямовані всі зусилля при проведенні радіоекологічних досліджень на території, яка зазнала радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС.

У деревному ярусі найбільшим забрудненням характеризується кора дерев та органи асиміляції (глиця, листя), потім дрібне гілля, велике гілля і найменшим – деревина. За ступенем забруднення деревини різних порід утворюється наступний ряд: береза > дуб > осика > вільха > сосна. Найбільшою концентрацією радіонуклідів відрізняються лишайники, мохи, гриби та деякі види лісових ягід (чорниця, журавлина, брусниця), сіно з перезволожених лісових угідь. Вміст радіонуклідів ^{137}Cs у продуктах переробки деревини нижчий, ніж у вихідній сировині і варіює залежно від виду продукції на кілька математичних порядків. Найменш забруднені скипидар, смола і далі, в порядку зростання, знаходяться живиця, обрізні пиломатеріали [3, 6, 7].

Об'єкти і методи досліджень. Наукові дослідження виконані на базі Сарненської науково-дослідної станції з освоєння боліт ІВПіМ НААН. Більшість населених пунктів зони Полісся розташована поблизу лісів, тому значну частку в дозу внутрішнього опромінення населення цієї зони (до 50 %) вносить продукція лісу – гриби, ягоди. З метою оцінки рівнів забруднення лісових екосистем, визначення шляхів міграції радіонуклідів та характеру їх накопичення в різних компонентах лісового біогеоценозу та підготовки

рекомендацій щодо ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення було закладено лісовий стаціонар на території Більського лісництва Висоцького ДЛГ Дубровицького району Рівненської області з щільністю забруднення радіоцезієм від 2 до 5 Кі/км².

Лісовий стаціонар закладений у вигляді ландшафтного профілю загальною площею 1,5 га і перетинає з півдня на північ кілька типів умов місцезростання з типами ґрунтів від сухих бідних скрито-підзолистих піщаних на півдні до сирих лучно-торфових на півночі стаціонару. Ліси, які зростають в районі розташування останнього, відносяться до зони змішаних. За ґрунтовим районуванням ґрунти території Більського лісництва Висоцького ДЛГ Дубровицького району Рівненської області, які досліджуються, належать до Білоруської провінції південно-тайгової підзони дерново-підзолистих ґрунтів. Поруч із межею лісового стаціонару (на відстані 3-5 м) для кожного типу умов місцезростання (основних елементів ландшафтного профілю) відкрито 5 ґрунтових розрізів (ГР) і пробурено свердловини для вимірювання рівнів ґрунтових вод та їх радіоактивного забруднення.

Відбір, підготування ґрунтових і рослинних зразків до аналізу при радіологічному обстеженні здійснювали згідно з методичними вказівками з оцінки радіаційної обстановки на забрудненій території. Для визначення вмісту гама-випромінюючих радіонуклідів використовували напівпровідниковий гама-спектрометр з Ge-Li детектором типу ДГДК-100 та багатоканальним амплітудним аналізатором імпульсів АМ-А-02Ф1. Для математичного аналізу та узагальнення експериментальних даних використовували пакет прикладних програм у складі MS Excel-2003 і «Statistics».

Результати досліджень. Первинне накопичення та подальший перерозподіл і міграція ¹³⁷Cs в лісових ґрунтах залежать від їх типів (рис. 1). Так, у сосняку-біломошнику ГР-1 вся радіоактивність зосереджена в малопотужній (до 2,0 см) лісовій підстилці (А₀), а в генетичних горизонтах, які знаходяться нижче, ¹³⁷Cs практично відсутній. Слід відзначити, що з просуванням з півдня на північ від ГР-1 до ГР-5 розподіл радіонукліду по

глибині профілю зростає і досягає максимального значення на ГР-4 (до 20-30 см). Але і тут основна його маса затримується в лісовій підстилці та верхніх шарах гумусового горизонту. Дещо інший розподіл ^{137}Cs по профілю ґрунту на ГР-5, де основна маса радіонуклідів знаходиться на глибині 2-7 см. Це пов'язано з його розташуванням на місцевості: розріз знаходиться за межами лісу на відстані 3 м і наявністю лучної дернини та порушенням верхнього шару ґрунту сільськогосподарською технікою при його обробі.

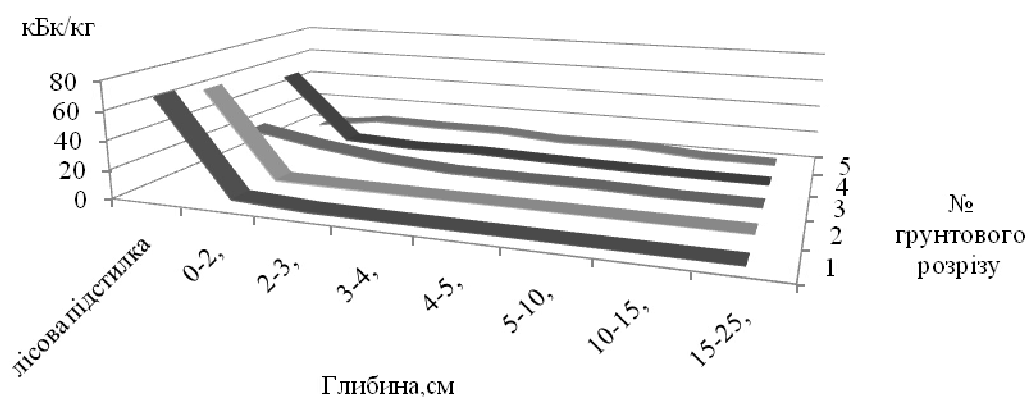


Рис.1. Міграція ^{137}Cs по профілю лісових ґрунтів

Причини незначного заглиблення ^{137}Cs на ГР-1 пов'язані з тим, що ґрунт в цьому типі лісу щільно покритий лишайником кладонія (*Cladonia deformis*), який затримав радіоцезій, що випав з атмосфери, у великих кількостях (до 90-95 % від загальної маси радіоактивних випадінь). Перехід ^{137}Cs із лишайникового покриву в ґрунт ускладнений повільним розкладанням кладонії. Другою причиною повільного переходу ^{137}Cs в ґрунт у цьому розрізі порівняно з ГР-3,4,5 можуть бути органо-мінеральні форми знаходження цього елемента, які надійшли в ґрунт, та перехід їх з однієї форми в іншу. Як відомо, велику роль при цьому відіграють органічні кислоти, які знаходяться в гумусовому горизонті. У ГР-3,4,5 гумусові горизонти добре виражені й переходять у торф.

Серед компонентів лісового біоценозу, які вивчаються на стаціонарі, особливо лісова підстилка та верхній 1-см її шар, відносяться до найбільш забруднених. Питома активність розкладених шарів лісової підстилки на стаціонарі досягає 36-38 кБк/кг, а власне ґрунти, залежно від типів, мають рівні забруднення від 0,2 до 12 кБк/кг.

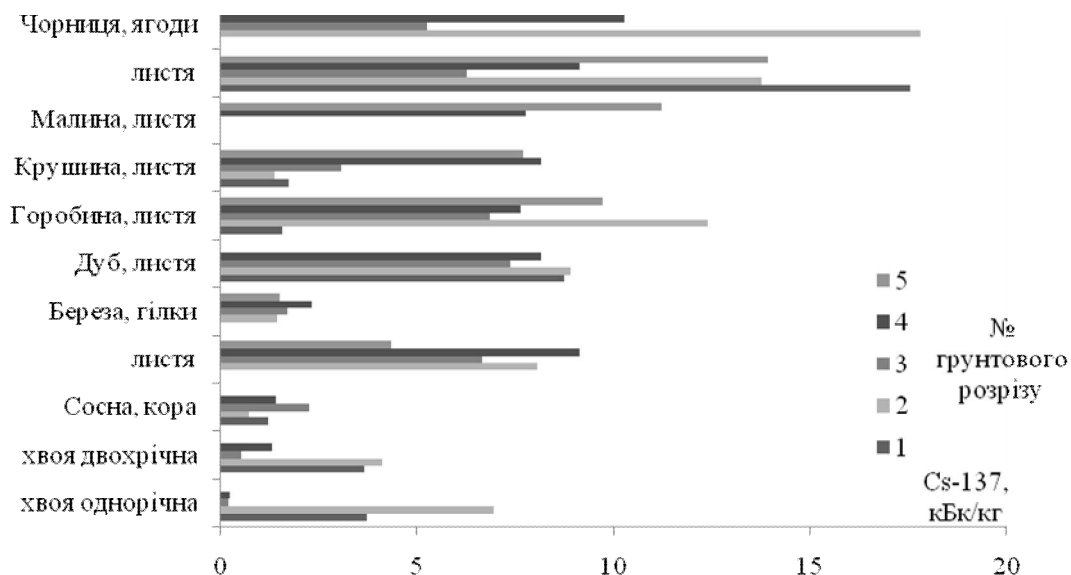


Рис.2. Активність дерев та кущів на лісовому стаціонарі

Бори-зеленомошники, в яких існує суцільний покрив із лишайника кладонії, є великим накопичувачем ^{137}Cs . Питома активність кладонії в цьому типі лісу становить 32,3–44,1 кБк/кг повітряно-сухої маси, тоді як чебрець – 1,8, глиця сосни – 2,7 кБк/кг (рис. 2). Серед вищих рослин найбільшим накопиченням радіоцезію відзначаються деревні – листя берези, дуба та горобини, трав'янисті – перестріч гайовий, куничник сіруватий, кущики – листя та плоди чорниці, із сільськогосподарських культур – лучні трави.

Особливо слід виокремити високу активність плодів – ягід чорниці (17,8 і 20,6 кБк/кг повітряно-сухої маси в сосняку-зеленомошнику та на лісовій галявині). Досить високоактивні (11,2 к Бк/кг) і листя з молодими пагонами малини, які часто вживаються місцевим населенням для заварювання чаю.

Найвищим накопиченням радіоцезію виділяються спорові, в першу чергу гриби та лишайники і мохи (табл.). Такі види грибів, як свинуха товста,

горкуша та сиріжка накопичують 296,1, 248,0 та 133,3 к Бк/кг повітряно-сухої маси відповідно, тоді як білий гриб-боровик на порядок менше, ніж пластинчасті (свинуха товста, горкуша). Також значне накопичення ^{137}Cs зафіксовано у папоротях, зелених мохах, сфагнумі. При цьому, з точки зору високого рівня радіоактивного забруднення, таким є сфагнум – як будівельний теплоізоляційний матеріал, котрий достатньо широко використовується в індивідуальному будівництві у сільській місцевості.

Питома активність спорових рослин, лісових комах, гризунів та деяких тварин, відібраних на лісовому стаціонарі (1992–1995 рр.)

Назва	^{137}Cs , Бк/кг	Назва	^{137}Cs , Бк/кг
Гриб боровик	25068	Жаба гостроморда (все тіло)	21830
Горкуша	248000	Ящірка прудка (все тіло)	5180
Сиріжка	133311	Полівка (м'язи + кістки)	12950
Свинуха	296111	Шкурка полівки	6290
Лишайник кладонія	39540	Лісова миша (м'язи + кістки)	34410
Мох плероціум	35340	Шкурка лісової миші	19610
Плавун булавовидний	11200	Сосновий довгоносик (чол.)	1420
Сфагнум болотний	20420	Сосновий довгоносик (жін.)	1652
Папороть орляк	21600	Коричнева лісова мураха	3163

Радіоспектриметричний аналіз проб ґрунту, рослинності, окремих тварин та комах, відібраних на лісовому стаціонарі 1992 – 1995 років, дозволяє зробити висновки та обґрунтувати рекомендації стосовно накопичення та міграції основного забруднювача Чорнобильської аварії – радіонуклід ^{137}Cs у лісових біогеоценозах Полісся з щільністю поверхневого забруднення ґрунтів 2,0 – 5,0 Кі/км².

Висновки. Проведені дослідження дають змогу стверджувати, що перерозподіл і міграція ^{137}Cs у лісових ґрунтах залежать від їх типів. Зважаючи на специфічні умови лісових угідь вся радіоактивність ^{137}Cs у сухих піщаних ґрунтах зосереджена в малопотужній лісовій підстилці, а в генетичних горизонтах, які знаходяться нижче, ^{137}Cs практично відсутній. В лучно-торфових ґрунтах у зв'язку з підвищеною вологістю та відсутністю в профілі сорбційних мінералів у невеликих кількостях радіоцезій проникає до глибини

27–30 см. В орних грунтах прилеглих до лісу територій ^{137}Cs переміщується дещо нижче і основна його маса знаходиться в шарі 5–12 см.

Серед компонентів лісового біогеоценозу найбільш високим накопиченням ^{137}Cs характеризуються спорові, в першу чергу гриби (25,1–296,1 кБк/кг) та лишайники (32,3–44,1 кБк/кг). Серед вищих рослин – це листя берези, дуба і горобини, листя та плоди чорниці (17,8–20,6 кБк/кг).

Список літератури

1. Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля: монография / [Б. С. Пристер, А. А. Ключников, В. М. Шестопапов, В. П. Кухарь]. – Чернобыль: НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС, 2013. – 200 с.
2. Bunze K. Interception and retention of Chernobyl derived Cs-134, Cs-137 and Ru-106 in Spruce Stand Sci / K. Bunze, W. Schimmack, K.Kreutzer, R. Schiel // Total Environ. – 1989. – V. 78. – P. 77–87.
3. Пристер Б.С. Проблемы сельскохозяйственной радиобиологии и радиоэкологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления : монография / Б. С. Пристер. – Чернобыль: НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008. – 320 с.
4. Тихомиров Ф.А. Моделирование радиоактивных выпадений на сосновые насаждения / Ф.А. Тихомиров, В.П. Юланов, Р.Т. Карабань // Лесоведение. – 1971. – № 1. – С. 56–60.
5. Фурдичко О. І. Екологічні проблеми природокористування в науці і практиці лісгосподарського виробництва / О. І. Фурдичко // Наук. вісн. НАН України. – 2012. – № 4. – С. 39–47.
6. Медведев В.В. Мониторинг почв Украины. Итоги. Задачи. (2-е пересмотренное и дополненное издание) / В.В. Медведев. – Харьков : КП «Городская типография», 2012. – 536 с.
7. Tikhomirov F.A. Forests and forestry : radiation protection measures with special reference to the Chernobyl accident Zone / F.A.Tikhomirov, A.I. Shcheglov, V.P. Sidorov // The Science Total Environ. – 1993. – P. 289–305.

8. Bachhuber H. The migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in multilayered soils: Results from bath, column and fallout investigations / Bachhuber H., Bunzl K., Schimmack W. // Nucl. Technol. – 1982. – Vol. 59. – tfa 2. – P. 291–302.

9. Macs E. Fixation of radiocaesium in an acid brown forest soil / Macs E., Delvaux B. // Euroclay 95. Clay and clay materials sciences. Book of abstracts. Louvain (Belgium). – 1995. – P. 299–300.

10. Delvaux B. Mechanisms controlling radionuclide mobility in forest soils / Delvaux B., Agapkina G.I., Bunzl K. et al. // Proceedings of the First International Conference «The radiological consequences of the Chernobyl accident». – Minsk, 1996. – P. 193–196.

Исследовано, что на всех типах лесных почв основная масса ^{137}Cs находится в лесной подстилке и верхних слоях гумусного горизонта. Распределение радионуклида по глубине профиля увеличивается от дерново-подзолистых сухих песчаных и супесчаных к сырым лугово-торфяным почв, где его активность отмечена на глубине 27–30 см. Среди компонентов лесного биоценоза наиболее высоким накоплением ^{137}Cs характеризуются споровые, в первую очередь грибы (25,1–296,1 кБк / кг) и лишайники (32,3–44,1 кБк / кг). Среди высших растений – это листья березы, дуба и рябины, листья и плоды черники (17,8–20,6 кБк / кг), зеленая масса злаковых многолетних трав.

Ключевые слова: радиоактивность, миграция, ^{137}Cs , почвы, лесной биоценоз.

The studies have proved that the main mass ^{137}Cs of forest soils located in the forest bedding in the top humus layers. The distribution of radionuclide in depth increases from the sod-podzolic to the sand and dry to wet meadow peat soils, where its activity is noted at a depth of 27–30 cm.

Among the forest components of forestry biocenosis, the most high accumulation of ^{137}Cs is the sporous, primarily the fungi (25.1–296.1 kBq / kg) and lichens (32,3–44,1 kBq / kg). Among the the plants, the greatest accumulation has the leaves of birch, oak and ash leaves and bilberries (17,8-20,6 kBq / kg), the green mass of the perennial grasses.

Key words: radioactivity, migration, ^{137}Cs , soil, forest biocenosis.