

УДК 631.95: 546.36

В. А. ПРОНЕВИЧ*

**СТАН ЗАБРУДНЕННЯ ^{137}Cs ЛІСОВИХ БІОЦЕНОЗІВ
ВОЛИНСЬКОГО ПОЛІССЯ У ЗОНІ АВАРІЙНИХ ВИКИДІВ ЧАЕС**

Інститут агроекології і природокористування НААН України

Доведено, що на всіх відмінах лісових ґрунтів основна маса ^{137}Cs знаходиться в лісовій підстилці та верхніх шарах гумусового горизонту. Розподіл радіонукліду за глибиною профілю збільшується від дерново-підзолистих сухих піщаних та супіщаних до сирих лучно-торфових ґрунтів, де його активність відмічена на глибині 27–30 см. Серед вищих рослин найбільшим накопиченням вирізняються листя берези, дуба, горобини, листя та плоди чорниці (17,8–20,6 кБк/кг) та зелена маса злакових багаторічних трав. На вміст радіонуклідів в організмі диких тварин впливають, в першу чергу, сезон року та видові особливості рослин. У весняний період, коли до раціону тварин входить значна кількість трав та листя дерев, визначено невисокі рівні забруднення м'яса та печінки диких тварин, радіоактивність м'яса не перевищувала 636 Бк/кг, печінки – 921 Бк/кг.

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

Постановка проблеми. Наукові дослідження в галузі лісової радіоекології, виконані в нашій країні та за кордоном, переконливо показали, 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 [6, 10]. Крім того, слід враховувати, що лісові біоценози мають свою специфіку первинного розподілу та наступної горизонтальної і вертикальної міграції радіонуклідів у порівнянні з іншими типами екосистем.

Результати досліджень показують, що після аварії на ЧАЕС 60–90 % радіоактивних випадінь на ліс затримувалося його надземною фітомасою, особливо деревним пологом [5, 7]. Тому безпосередньо після аварії крони дерев за сильного вітру були джерелом надходження радіоактивних аерозолів в приземний шар атмосфери та їхнього вторинного вітрового переносу на значні відстані. Радіонукліди мігрують під полог лісу [7, 8], переважно з біогенним опадом, який пов'язаний з ростовими процесами лісових екосистем. Звідси випливає, що чим активніші ростові процеси, тим інтенсивніший опад і вищі темпи дезактивації крон.

Визначальний вклад у глибоке вивчення міграції радіонуклідів у лісових екосистемах внесли вчені УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького, зокрема В. П. Краснов, О. О. Орлов, С. П. Ірклієнко, М. П. Савущик та ін. Отримані дані свідчать про переважно дифузійні процеси перенесення ^{137}Cs у досліджених лісових ґрунтах [1, 2, 4].

Що стосується 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 лишається в стійко утримуваній формі менше ніж 5 % загальної їхньої кількості [3, 13]. У наукових дослідженнях [5, 6, 9] вказується, що в ландшафтах 30-кілометрової зони ЧАЕС у надземній частині деревного ярусу в 1989 р. містилося від 0,3 до 6,0 % загальної кількості ^{137}Cs в біогеоценозі, в ґрунті зосереджено більше ніж 90 % (причому від 75 до 96 % цієї кількості містилося в лісовій підстилці і лише 4–25 % – в мінеральній частині ґрунту). З опадом на поверхню ґрунту щорічно надходить 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 30-сантиметрового кореневого шару – менше ніж 0,003 %. Ці дані ще раз підтверджують, що надходження радіонуклідів з рослинним опадом є в 1,5–3 рази більшим, ніж винесення їх водним потоком з лісової підстилки, і майже на 2 порядки вищим, ніж з мінеральної товщі ґрунту.

За осінньо-зимовий період з опадів вивільняється від 60 до 80 % радіонуклідів, що містилися в ньому. В листяних та мішаних лісах вивільнення радіонуклідів з опадів є вищим

* © В. А. Проневич, 2014

порівняно з хвойними. В ґрунті ^{137}Cs мігрує переважно в складі водорозчинних, органічних сполук – продуктів метаболізму ґрунтової флори та фауни. Дослідження показують, що визначальними факторами міграції радіонуклідів по профілю ґрунту в лісі є дифузія, біогенна міграція та ліссіваж [6, 7, 11, 12].

Під впливом низки значних факторів частина радіонуклідів, що випали, переходить у рухомі форми і потрапляє в ґрунтовий розчин. Швидкість переміщення розчинних форм радіонуклідів у нижні шари ґрунту сильно залежить від водного внутрішньоґрунтового стоку, особливо в умовах Українського Полісся, де випадає доволі багато щорічних опадів (близько 600 мм) і ґрунти мають легкий гранулометричний склад [5, 6, 7, 10].

У деревному ярусі найбільшим забрудненням характеризуються кора дерев та органи асиміляції (глиця, листя), потім, за спаданням, дрібне гілля, велике гілля; найменш забрудненою є деревина. За ступенем забруднення деревини різних порід утворюється такий ряд: дуб > береза > осика > сосна > вільха [4]. Найбільшою концентрацією радіонуклідів вирізняються лишайники, мохи, гриби та деякі види лісових ягід (чорниця, журавлина, брусниця), сіно з перезвожених лісових угідь. Середній за період спостережень коефіцієнт переходу ^{137}Cs в системі ґрунт – фітомаса чорниці становив 96.60 ± 9.5 [2]. Вміст радіонуклідів ^{137}Cs в продуктах переробки деревини є нижчим, ніж у вихідній сировині, і варіює залежно від виду продукції на декілька математичних порядків. Найменш забрудненими є скипидар, смола і далі у міру зростання – живиця, обрізні пиломатеріали [3, 7, 13].

Одним із основних дозоутворювальних чинників для населення поліської зони є продукція лісу, зокрема і м'ясо диких тварин. Перехід ^{137}Cs з лісових рослин до тканин диких тварин залежить від багатьох чинників – фізіологічної будови шлунка, сезону року, видових особливостей рослин, які споживають тварини [1].

Об'єкти і методи досліджень. Дослідження накопичення та міграції ^{137}Cs в лісових ґрунтах виконані на базі Сарненської науково-дослідної станції з освоєння боліт ІВПіМ НААН України. Більшість населених пунктів зони Полісся розташовані поблизу лісів, тому значну частку в дозу внутрішнього опромінення населення цієї зони (до 50 %) вносить продукція лісу. З метою визначення міграції радіонуклідів та підготування рекомендацій з ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення нами закладено лісовий стаціонар на території Більського лісництва Висоцького ДЛГ Дубровицького району Рівненської області зі щільністю забруднення радіоцезієм від 2 до 5 $\text{Ки}/\text{км}^2$.

Лісовий стаціонар закладений у вигляді ландшафтного профілю загальною площею 1,5 га ($300 \text{ м} \times 50 \text{ м}$) і перетинає з півдня на північ кілька типів умов місцезростання з типами ґрунтів від сухих бідних скритопідзолистих піщаних на півдні до сирих лучно-торфових на півночі стаціонару. Усю площу профілю розмічено на 150 квадратів ($10 \text{ м} \times 10 \text{ м}$). Усі 1190 дерев на площі помічено з півдня, пронумеровано та виміряно їхній діаметр на висоті грудей, для частини дерев виміряно висоту. Ліси, які ростуть у районі розташування стаціонару, належать до зони мішаних лісів. За ґрунтовим районуванням досліджувані ґрунти відносяться до Білоруської провінції південно-тайгової підзони дерново-підзолистих ґрунтів. Поруч з межею лісового стаціонару (на відстані 3–5 м) для кожного типу умов місцезростання відкрито 5 ґрунтових розрізів (ГР) і пробурено свердловини для вимірювання рівнів ґрунтових вод та їхнього радіоактивного забруднення. На основі лісотаксаційних характеристик головного пологу та картування асоціацій надґрунтового покриву виділено шість виділів із різними типами лісу.

Ґрунтові зразки відбирали пошарово (рис. 1), лісову підстилку відбирали окремо з допомогою рамки $20 \times 20 \text{ см}$ і поділяли на мінералізовану і напівмінералізовану частини в п'ятикратній повторності. Підготування ґрунтових і рослинних зразків до аналізу під час радіологічного обстеження здійснювали згідно з класичними методами ґрунтових обстежень та підготування проб.

Дослідження особливостей переходу радіоцезію до м'язових тканин диких тварин проводили в північних (Володимирецький, Дубровицький, Сарненський) районах Рівненської області. Ці райони вирізняються невисокими рівнями забруднення лісових масивів – 52 % лісів мають щільність забруднення ^{137}Cs до 1 Ки/км^2 . За таких відносно невисоких рівнів забруднення лісових масивів визначено надзвичайно високе надходження радіоцезію до організму людини з продукцією лісу. Це пояснюється специфічними особливостями поліських ґрунтів (легким механічним складом, низьким вмістом гумусу, макро- та мікроелементів живлення, високою кислотністю) та неможливістю проведення дійових контрзаходів щодо зменшення переходу ^{137}Cs з ґрунту до рослин у лісових масивах.

Під час проведення досліджень вивчали закономірності переходу радіоцезію до м'язових тканин диких тварин із різною будовою шлунка – одношлункових (дикий кабан – *Sus scrofa* L.) та тварин з наявністю рубця (козуля – *Capreolus capreolus* L.) у весняний період (травень).

Відстріл тварин для відбору зразків проводили впродовж світлового дня. На місці відстрілу тварин відбирали зразки ґрунту (0–20 см) для визначення щільності забруднення ^{137}Cs . Для вивчення кількісного та видового ботанічного складу рослин, які споживають тварини, відбирали вміст шлунка та рубця кожної відстріляної тварини. Частинки розміром менше 500 мк не враховували. Для визначення вмісту радіоцезію в тканинах тварин відбирали м'язову тканину задньої кінцівки та печінку у кількості 1 кг.

Для визначення вмісту гама-випромінювальних радіонуклідів використовували напівпровідниковий гама-спектрометр з Ge-Li детектором типу ДГДК-100 та багатоканальним амплітудним аналізатором імпульсів АМА-02Ф1. Похибка вимірювання питомої активності ^{137}Cs у зразках коливалася в межах 15–20 %. Комп'ютерне опрацювання результатів досліджень проводили у програмах BioStat 2008 і MS Excel 2007 з модулем AtteStat 12.1.7.

Результати досліджень. Первинне накопичення та подальший перерозподіл і міграція ^{137}Cs в лісових ґрунтах залежать від їхніх типів (рис.1). Так, у сосняку-біломошнику ГР-1 вся радіоактивність зосереджена в малопотужній (до 2,0 см) лісовій підстилці (A_0), а в генетичних горизонтах, які знаходяться нижче, ^{137}Cs практично відсутній. Варто зазначити, що у міру просування з півдня на північ від ГР-1 до ГР-5 розподіл радіонукліду по глибині профілю збільшується 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 радіонукліда знаходиться на глибині 2–7 см. Це пов'язане з його розташуванням на місцевості: розріз знаходиться за межами лісу на відстані 3 м з наявністю лучної дернини та порушенням верхнього шару ґрунту сільськогосподарською технікою під час його обробітку.

Причини незначного заглиблення ^{137}Cs на ГР-1 пов'язані з тим, що ґрунт у 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 з лишайникового покриву до ґрунту ускладнений повільним розкладанням кладонії. Другою причиною повільного переходу ^{137}Cs до ґрунту в цьому розрізі порівняно з ГР-3, 4, 5 можуть бути органо-мінеральні форми знаходження цього елемента, які надійшли до ґрунту, та перехід їх з однієї форми в іншу. Як відомо, велику роль при цьому відіграють органічні кислоти, які знаходяться в гумусовому горизонті. В ГР-3, 4, 5 гумусові горизонти добре виражені і переходять в торф.

Серед компонентів лісового біоценозу, які вивчають на стаціонарі, лісова підстилка та її верхній односантиметровий шар є найбільш забрудненими. Питома активність розкладених шарів лісової підстилki на стаціонарі сягає 36–38 кБк/кг, а власне ґрунти, залежно від типів, мають рівні забруднення від 0,2 до 12 кБк/кг.

Бори-зеленомошники, в яких існує суцільний покрив із лишайника кладонії, є великими накопичувачами ^{137}Cs . Питома активність кладонії в цьому типі лісу становила 32,3–44,1 кБк/кг повітряно-сухої маси, тоді як чебрець – 1,8, глиця сосни – 2,7 кБк/кг (рис. 2).

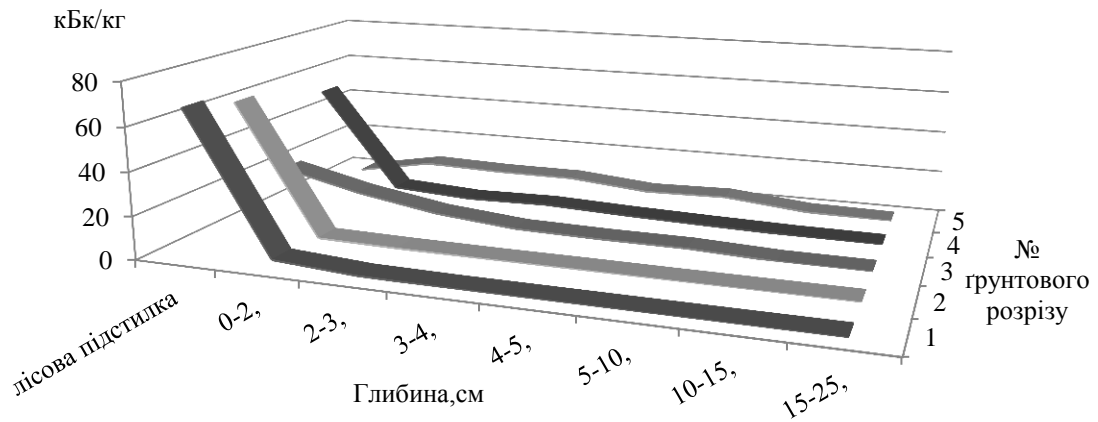


Рис. 1 – Міграція ¹³⁷Cs по профілю лісових ґрунтів

Серед вищих рослин найбільшим накопиченням радіоцезію відзначаються деревні – листя берези, дуба та горобини, трав'янисті – перестріч гайовий, кунічник сіруватий, кущики – листя та плоди чорниці, із сільськогосподарських культур – лучні трави. Особливу увагу привертає висока активність плодів – ягід чорниці (17,8 та 20,6 кБк/кг повітряно-сухої маси в сосняку-зеленомошнику та на лісовій галявині). Доволі високоактивні (11,2 к Бк/кг) і листя з молодими пагонами малини, які часто вживає місцеве населення для заварювання чаю.

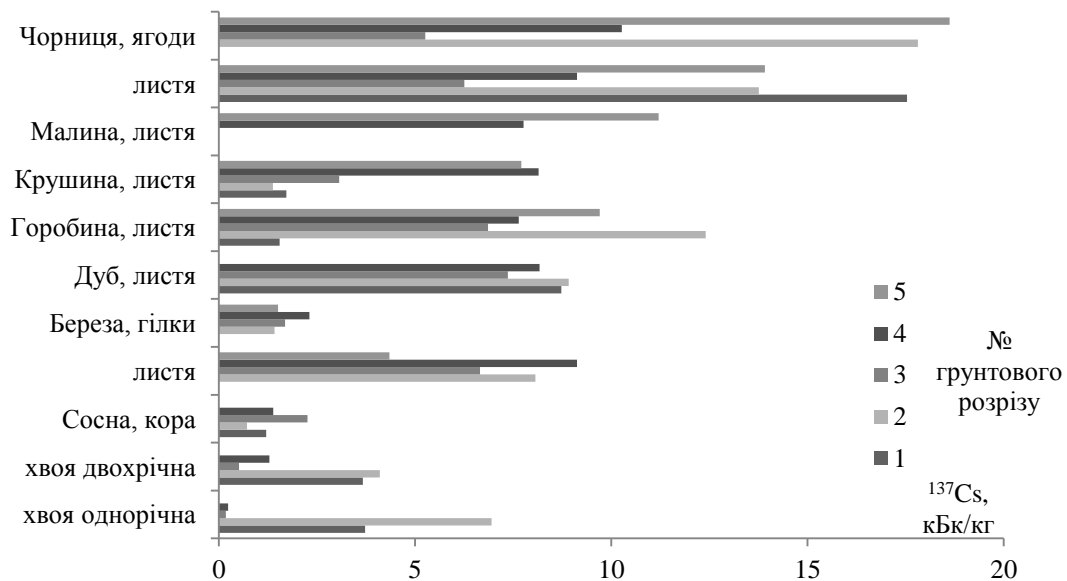


Рис. 2 – Активність дерев та кущів на лісовому стаціонарі

Вивчення ботанічного складу вмісту рубця дикої козулі показав, що в основу раціону козулі у весняний час входять листя та гілки берези пухнастої (*Betula pubescens*), граба звичайного (*Carpinus betulus*), осики (*Populus tremula*), дуба звичайного (*Quercus robur*) та горобини звичайної (*Sorbus aucuparia*). Серед різнотрав'я, яке становило 51 % від вмісту рубця, домінували чорниця (*Vaccinium myrtillus*), анемона дібровна (*Anemone nemorosa*), веснівка дволиста (*Majanthemum bifolium*), іван-чай (*Chamaenerion angustifolium*), костриця червона (*Festuca rubra*) та молінія голуба (*Molinia caerulea*) (рис. 3). Найменшу частку в раціоні дикої козулі займають гриби.

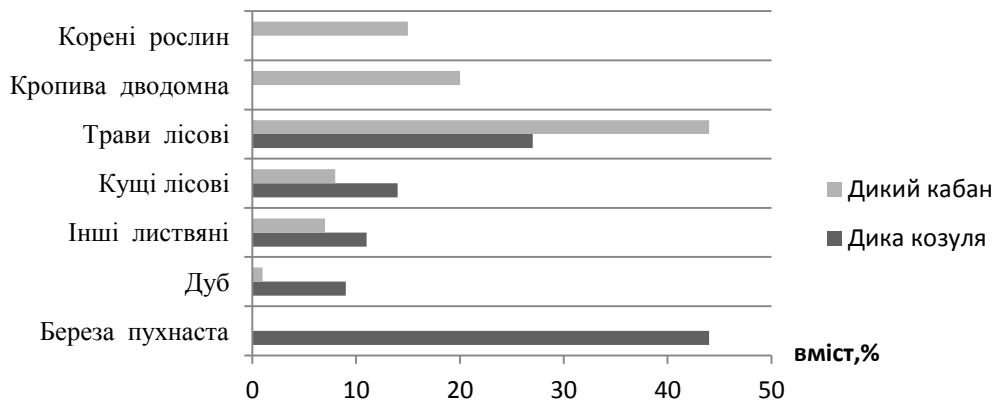


Рис. 3 – Ботанічний склад вмісту рубця диких тварин 1992-1993 рр.

Ботанічний склад вмісту шлунка диких кабанів свідчить про наявність у раціоні 44 % трав, 20 % кропиви дводомної (*Urtica dioica*), 15 % коренів, 7 % дудника лісового (*Angelica sylvestris*), 8 % вересу (*Calluna vulgaris* (L.) Hill.), 1 % дуба звичайного та зерна ячменю (*Hordeum vulgare*). Також у раціоні дикого кабана виявлено до 4 % комах (рис. 4).

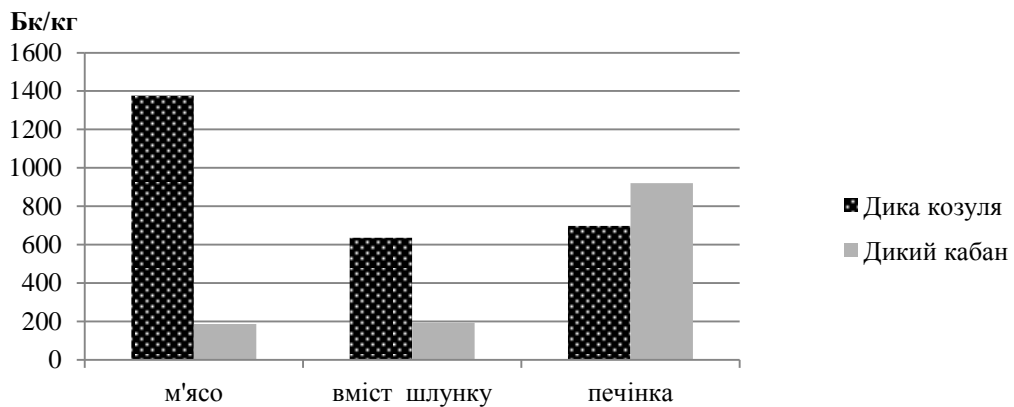


Рис.4 – Вміст ¹³⁷Cs в організмі диких тварин 1992–1993 рр.

Результати аналізів на вміст радіонуклідів у м'язовій тканині та печінці диких тварин свідчать про те, що на вміст радіонуклідів в організмі диких тварин впливають, в першу чергу, сезон року та видові особливості рослин, які споживають тварини. У весняний період, коли раціон тварин містить значну кількість трав та листя дерев, визначено невисокі рівні забруднення м'яса та печінки диких тварин. Лише в одному випадку активність м'яса дикої козулі, відстріляної на території ДМГ «Дубровицьке», становила 1375 Бк/кг. В інших випадках активність м'яса не перевищувала 636 Бк/кг, печінки – 921 Бк/кг.

Висновки. Проведені дослідження дають змогу стверджувати, що перерозподіл і міграція ¹³⁷Cs в лісових ґрунтах залежать від їхніх типів. Через специфічні умови лісових угідь вся радіоактивність ¹³⁷Cs в сухих піщаних ґрунтах зосереджена в малопотужній лісовій підстилці, а в генетичних горизонтах, які знаходяться нижче, ¹³⁷Cs практично відсутній. У лучно-торфових ґрунтах у зв'язку з підвищеною вологістю та відсутністю в профілі сорбційних мінералів у незначних кількостях радіоцезій проникає до глибини 27–30 см. В орних ґрунтах прилеглих до лісу території ¹³⁷Cs переміщується дещо нижче, але основна його маса знаходиться в шарі 5–12 см. Серед вищих рослин найбільшим накопиченням відзначаються листя берези, дуба та горобини, листя та плоди чорниці (17,8–20,6 кБк/кг). На вміст радіонуклідів в організмі диких тварин впливають, в першу чергу, сезон року та видові

особливості рослин. У весняний період, коли раціон тварин містить значну кількість трав та листя дерев, визначено невисокі рівні забруднення м'яса та печінки диких тварин, активність м'яса не перевищувала 636 Бк/кг, печінки – 921 Бк/кг.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Краснов В. П.* До можливості реабілітації лісів, забруднених радіонуклідами / В. П. Краснов, О. О. Орлов, В. П. Ландін // Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України. – 2004. – № 4 (16). – С. 7–11.
2. *Краснов В. П.* Загрязнение ^{137}Cs черники на Украинском Полесье / В. П. Краснов, О. О. Орлов, С. П. Иркиенко // Чернобыль – 94 : междунар. конф., Зеленый мыс, 1994 : сб. тез. – 1994. – С. 177.
3. *Медведев В. В.* Мониторинг почв Украины. Итоги. Задачи / В. В. Медведев. – изд. 2-е, пересмотр. и доп. – Х. : КП «Городская типография». – 2012. – 536 с.
4. Накопление ^{137}Cs основными лесобразующими породами Полесья Украины / С. П. Иркиенко, В. П. Краснов, О. О. Орлов, Г. А. Заворотнюк // Чернобыль – 94 : междунар. конф., Зеленый мыс, 1994 : сб. тез. – 1994. – С. 168.
5. *Пристер Б. С.* Проблемы сельскохозяйственной радиобиологии и радиоэкологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления : монография / Б. С. Пристер // НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. – Чернобыль, 2008. – 320 с.
6. Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля : монография / Б. С. Пристер, А. А. Ключников, В. М. Шестопапов, В. П. Кухарь // НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. – Чернобыль, 2013. – 200 с.
7. *Тихомиров Ф. А.* Моделирование радиоактивных выпадений на сосновые насаждения / Ф. А. Тихомиров, В. П. Юланов, Р. Т. Карабань // Лесоведение. – 1971. – № 1. – С. 56–60.
8. *Фурдичко О. І.* Екологічні проблеми природокористування в науці і практиці лісогосподарського виробництва / О. І. Фурдичко // Наук. вісн. НАН України. – 2012. – № 4. – С. 39–47.
9. *Bachhuber H.* The migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in multilayered soils: Results from bath, column and fallout investigations / H. Bachhuber, K. Bunzl, W. Schimmack // Nucl. Technol. – 1982. – Vol. 59. – P. 291–302.
10. Interception and retention of Chernobyl-derived ^{134}Cs , ^{137}Cs and ^{106}Ru in Spruce Stand / K. Bunze, W. Schimmack, K. Kreutzer, R. Schiel // Sci. Total Environ. – 1989. – V. 78. – P. 77–87.
11. *Macs E.* Fixation of radiocaesium in an acid brown forest soil / E. Macs, B. Delvaux // Euroclay 95. Clay and clay materials sciences : Book of abstracts. – Louvain (Belgium), 1995 – P. 299–300.
12. Mechanisms controlling radionuclide mobility in forest soils / B. Delvaux, G. I. Agapkina, K. Bunzl et al. // The radiological consequences of the Chernobyl accident : First International Conference, Minsk, 1996 : Proc. of the Conf. – Minsk, 1996. – P. 193–196.
13. *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.

Pronevych V. A.

ACCUMULATION OF ^{137}Cs IN FOREST ECOSYSTEMS OF VOLYN POLISSYA IN THE WESTERN TRACES OF CHORNOBYL ACCIDENT

Institute of Agroecology and Environmental Management of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

The studies have proved that the main mass of ^{137}Cs of forest soils is 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.

In meadow peat soils, due to the high humidity and lack of sorption minerals, in the profiles radiocaesium in small amounts penetrates to a depth of 27–30 cm. In arable soils adjacent to forest areas ^{137}Cs moves slightly below the surface, but the bulk of its mass is in the layer (5–12 cm).

The specific activity of fixed forest bedding reaches up to 36–38 kBq/kg and soils, depending on the types, have contamination levels from 0.2 to 12 kBq/kg.

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 plants, the greatest accumulation has the leaves of birch, oak and ash and bilberries (17.8–20.6 kBq/kg), the green mass of the perennial grasses.

Season of the year and species characteristics of plants affect on the content of radionuclides in the wild animals' body. In the spring, when the animal diet includes a significant amount of herbs and leaves of trees, low levels of contamination of wild animals meat and liver are identified. The activity of the meat does not exceed 636 Bq/kg, for liver it does not exceed 921 Bq/kg.

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

Проневич В. А.

НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ВОЛЫНСКОГО ПОЛЕСЬЯ В ПРЕДЕЛАХ ЗАПАДНОГО СЛЕДА АВАРИИ НА ЧАЭС

Институт агроэкологии и природопользования НААН Украины

Доказано, 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 почв к сырым лугово-торфяным, где его активность отмечена на глубине 27–30 см. Среди высших растений наибольшим накоплением отличаются листья березы, дуба и рябины, листья и плоды черники (17,8–20,6 кБк/кг), зеленая масса злаковых многолетних трав. На содержание радионуклидов в организме диких животных влияют сезон года и видовые особенности растений. В весенний период, когда в рацион животных входит значительное количество трав и листьев деревьев, определены невысокие уровни загрязнения мяса и печени диких животных, активность мяса не превышала 636 Бк/кг, печени – 921 Бк/кг.

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

E-mail: vasy.pronevych@mail.ru

Одержано редколегією 10.07.2014