

БІОІНДІКАЦІЯ ЗАБРУДНЕННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ^{137}Cs ЗА ВИКОРИСТАННЯ ТЕСТ-ОБ'ЄКТІВ

А.П. Павленко¹, О.О. Орлов¹, В.П. Ландін², Г.М. Чоботько⁴,
О.Г. Тищенко², О.Г. Мусич³, В.Л. Соломко⁴, В.П. Фещенко⁴

¹ Поліська філія Українського науково-дослідного інституту лісового господарства
і агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького

² Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України

³ Інститут геохімії навколишнього середовища

⁴ Інститут агроекології і природокористування НААН

Розглянуто питання біоіндикації радіаційних забруднень та радіоекологічного моніторингу лісових екосистем у різних природно-кліматичних зонах. З часів глобальних випадів радіонуклідів наприкінці 1950-х — початку 1970-х років встановлено, що підвищені концентрації техногенних радіонуклідів «бомбового» походження, у разі їх аерального надходження до лісових екосистем, на початковому періоді спостерігаються у кронах дерев, переважно, хвої і листі, а згодом — у лісовій підстилці. Встановлено, що інформацію стосовно сучасних рівнів радіоактивного забруднення компонентів лісових екосистем можна отримати на основі двох підходів: 1) аналізу результатів екстенсивного радіоекологічного моніторингу відповідних видів продукції лісового господарства, з відбором та аналізом значної кількості зразків; 2) біоіндикаційного — аналізу радіоактивного забруднення (питомої активності ^{137}Cs) у тест-об'єктах з використанням деяких видів судинних рослин. Зауважено, що тест-об'єктами, які використовуються для біоіндикації радіоактивного забруднення лісових екосистем, зазвичай, є вищі рослини (мохоподібні та судинні рослини), лишайники та гриби.

Ключові слова: лісові екосистеми, вищі судинні рослини, радіоактивне забруднення, радіоекологічний моніторинг, тест-об'єкти, питома активність ^{137}Cs , коефіцієнти переходу.

Дослідження характеристик радіоактивного забруднення лісових екосистем та вибір тест-об'єктів радіоекологічного моніторингу надає змогу прогнозувати ступінь забруднення конкретних видів продукції лісового господарства на лісотипологічній основі, а також швидко і своєчасно реагувати на можливі підвищення визначених раніше рівнів радіоактивного забруднення лісових екосистем, тобто фіксувати атмосферні випадіння радіонуклідів.

Для біоіндикації радіоактивного забруднення лісових екосистем, зазвичай, використовуються вищі рослини (мохоподібні та судинні рослини), лишайники та гриби. Однак спеціальні дослідження з цієї проблеми в Україні не проводилися, а отримані численні дані щодо акумуляції ^{137}Cs у

згаданих вище тест-об'єктах були отримані у різні роки, в різних регіонах та лісорослинних умовах, на різних видах, і наразі є розпорошеними у науковій літературі, що унеможливує їх використання для сучасного радіоекологічного моніторингу.

Тому вибір тест-об'єктів з переліку вищих рослин, лишайників, грибів та вивчення закономірностей умісту в них ^{137}Cs залежно від лісорослинних умов та щільності забруднення лісових екосистем вказаним радіонуклідом, отримання співвідношення питомої активності ^{137}Cs у досліджуваних тест-об'єктах і цінних господарських видах рослин (деревних, ягідних, лікарських) та грибах є актуальним науково-практичним завданням.

Таке завдання є особливо важливим для Українського Полісся — одного з найбільш постраждалих регіонів України внаслідок аварії на ЧАЕС, де переважання бореаль-

© А.П. Павленко, О.О. Орлов, В.П. Ландін,
Г.М. Чоботько, О.Г. Тищенко, О.Г. Мусич,
В.Л. Соломко, В.П. Фещенко, 2020

них ландшафтів зумовлює інтенсивну міграцію ^{137}Cs із ґрунту у вищі судинні рослини та гриби.

Загальні проблеми радіоекологічного моніторингу лісових екосистем та біоіндикації радіаційних забруднень аналізуються вченими-радіоекологами з початком глобальних випадів радіонуклідів наприкінці 1950-х — початку 1970-х років [1, 2]. Зокрема, ними було встановлено, що за аерального надходження техногенних радіонуклідів «бомбового» походження у лісові екосистеми підвищені концентрації спостерігалися у кронах дерев, переважно у хвої і листі — на початку випадів, а згодом — у лісовій підстилці.

У певних видах біоти, наприклад, лишайниках та грибах, рівні питомої активності ^{137}Cs були значно вищими, ніж у судинних рослинах, що дає підстави виділити їх як біоіндикатори радіоактивного забруднення екосистем [2].

Подібні дослідження тривали і після Чорнобильської аварії. Особливу актуальність як у період глобальних випадів радіонуклідів, що утворилися внаслідок випробувань ядерної зброї у відкритому просторі Землі, так і після Чорнобильської катастрофи мали проблеми радіоекологічного моніторингу [3–6].

Базовими методичними документами з проблем радіаційного моніторингу є публікації МКРЗ (ICRP). Передусім, слід навести публікацію 7 МКРЗ «Принципи моніторингу навколишнього середовища за використання радіоактивних речовин» (1966 р.) (ICRP Publication 7) [7] з більш пізніми доповненнями, внесеними у публікації 43 МКРЗ «Принципи моніторингу у радіаційному захисті населення» (1985 р.) (ICRP Publication 43) [8]. Також опубліковано фундаментальне видання щодо організації моніторингу навколишнього середовища у районах розташування АЕС [9].

У наукових публікаціях [5, 10–12] детально розглянуто поняття радіоекологічного моніторингу, його мету, завдання, рівні, критерії, об'єкти, схему функціонування.

Так, радіоекологічний моніторинг лісових екосистем — це система регулярних спостережень у часі і просторі, контролю, аналізу і оцінки інформації про потужність випромінювання і міграцію радіонуклідів у лісах [5]. Додається, що моніторинг — це не метод, а методологія. Не існує специфічних методів, властивих лише моніторингу, і проводиться він різними методами відповідних наук: геохімії, генетики, цитології, радіобіології, радіоекології тощо.

Універсальним методом моніторингу виступає метод порівняльної екології — порівняння сучасного стану навколишнього природного середовища або деяких його параметрів з відповідними даними, отриманими раніше.

Критерії, обов'язкові для радіоекологічного моніторингу, що повинні виконуватися одночасно, є такими:

- репрезентативність точок спостережень і кількості вимірювань (пробовідборів);
- послідовність, певна періодичність і безперервність спостережень;
- єдина методична основа і забезпечення приладами для проведення досліджень;
- стабільність у дослідженні запроєктованих параметрів (їх можна доповнювати, корегувати, але не змінювати докорінно);
- уніфікація базових програм накопичення і обробки отриманих даних;
- можливість використання ГІС на кожній стадії проведення спостережень та аналізу даних [5].

Проблеми біоіндикації радіоактивного забруднення лісових екосистем за допомогою тест-об'єктів (судинних рослин, мохів, грибів, лишайників) узагальнили у програмній статті російські радіоекологи [13]. Зокрема, було наведено дані щодо більш ніж 10-кратної різниці питомої активності ^{137}Cs у тканинах та органах сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), фізіологічно активні органи якої (хвоя та пагони першого року) можуть бути достовірними тест-об'єктами радіоактивного забруднення лісових екосистем ^{137}Cs . Крім того, цей деревний вид характеризується низькою радіостійкістю, тому є придатним для вивчення впливу

гамма-випромінювання на організм рослини.

Серед видів судинних рослин трав'яночагарничкового ярусу лісових екосистем суборів (трофотоп В) дослідники [14] виділили масові трав'яні види — конвалію звичайну (*Convallaria majalis*) та орляка звичайного (*Pteridium aquilinum*). Питома активність ^{137}Cs щодо цих видів у середньому є у 10 разів вищою порівняно з іншими рослинами досліджуваного ярусу лісової флори. Це дало підстави дослідникам рекомендувати вказані види як «акумулятивні індикатори» радіоактивного забруднення ^{137}Cs (тест-об'єкти біоіндикації). У бідніших борових умовах біоіндикатором та тест-об'єктом радіоактивного забруднення лісових екосистем згаданим радіонуклідом рекомендовано використовувати верес звичайний (*Calluna vulgaris*).

Значна увага була приділена радіоактивності мохово-лишайникового покриву лісів та біоіндикації забруднення цих екосистем ^{137}Cs [15]. За даними досліджень здатність мохів та лишайників акумулювати вказаний радіонуклід більш ніж на порядок перевищує відповідні значення вищих рослин-акумуляторів ^{137}Cs у тій самій екосистемі [16].

Зроблено висновок, що найбільшою акумуляцією ^{137}Cs у лісових біогеоценозах серед зелених мохів відзначаються зозулин льон звичайний (*Polytrichum commune*) та плеурозій Шребера (*Pleurozium schreberi*) і лише трохи меншою — види роду дикранум (*Dicranum sp.*). Підкреслено, що сфагнові мохи западин у лісах або у заболочених лісах акумулюють ^{137}Cs у 1,5–2,0 рази інтенсивніше порівняно із зеленими мохами. Рекомендовано як тест-об'єкти біоіндикації використовувати всі наведені вище види мохів дослідно від екологічних умов території дослідження.

Лишайники мають різноманітні життєві форми, які можливо розмістити у відповідний ранжируваний ряд за здатністю акумулювати ^{137}Cs : епіфітні листуваті > епіфітні кущисті > епігейні листуваті > епігейні кущисті. Узагальнено дані, що найчастіше застосову-

ється (для біоіндикації ^{137}Cs у лісових екосистемах) епіфітний листуватий лишайник гіпогімнія здута (*Hypogymnia physodes*). Однак зауважено, що епігейні мохи та лишайники характеризуються значним видовим різноманіттям та високою здатністю до акумуляції ^{137}Cs , тому дослідниками рекомендовано для біоіндикації радіоактивного забруднення екосистем використовувати не один вид мохів або лишайників, а весь мохово-лишайниковий ярус.

Так, низкою науковців [13] було узагальнено можливості використання вищих рослин (судинних та мохоподібних), лишайників та грибів для біоіндикації радіоактивного забруднення лісових екосистем ^{137}Cs , а також у складі кожної з цих груп біоти було виділено тест-об'єкти для проведення радіоекологічного моніторингу.

У лісових екосистемах України зростають близько 600 видів судинних рослин, значна частина яких є цінними господарськими деревними ресурсами, дикорослою ягідною та рослинною лікарською сировиною. Судинні рослини навіть в одному фітоценозі відрізняються за здатністю накопичувати ^{137}Cs із ґрунту у надземній фітомасі у 20–50 разів [17].

Щодо інтенсивності акумуляції ^{137}Cs деревними видами лісових екосистем Українського Полісся опубліковано низку досліджень. Зокрема, величини коефіцієнта переходу (КП) згаданого радіонукліда у структурні компоненти деревостану у чорновільхових лісах сирих сугрудів (C_4) наведено на рисунку 1.

Так, максимальні значення КП є характерними для листя, а мінімальні — для деревини різних порід у деревостанах. Зокрема, середнє значення КП ^{137}Cs у *Alnus glutinosa* у згаданих структурних компонентах відповідно становили: $40,51 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ та $4,51 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$; у *Quercus robur* — $30,92 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ та $3,90 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$; у *Fraxinus excelsior* — $27,21 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ та $3,35 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$.

Різниця знаєнь КП становила: у *Alnus glutinosa* — 9,0 разів; у *Quercus robur* — 7,9; у *Fraxinus excelsior* — 8,1 раза. Отже, у складному деревостані найінтенсивніше

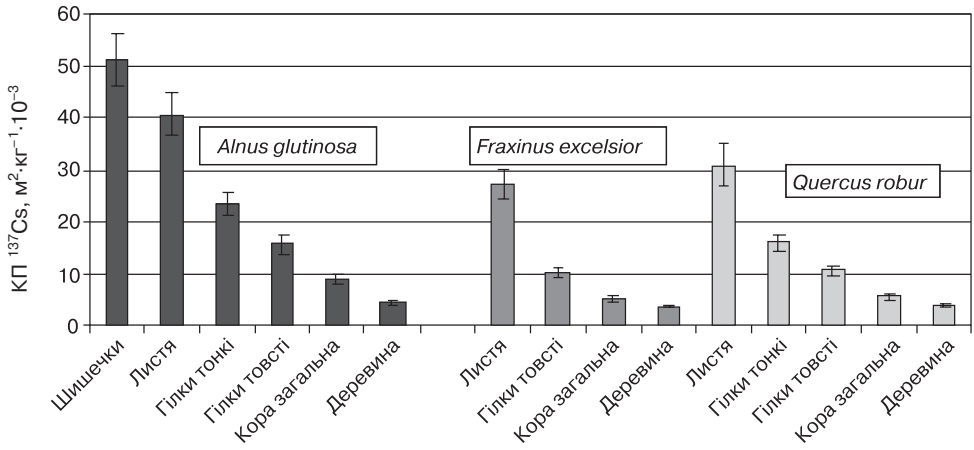


Рис. 1. Середні значення КП ¹³⁷Cs із ґрунту у структурні компоненти видів деревного ярусу чорновільхового лісу

¹³⁷Cs акумулюється у структурних компонентах домінуючого виду *Alnus glutinosa*.

У цій екосистемі у трав'яно-чагарничковому ярусі різниця середніх значень КП ¹³⁷Cs із ґрунту у наземну фітомасу була значно більшою (рис. 2). Так, максимальна інтенсивність акумуляції ¹³⁷Cs у згаданому

ярусі була характерною для *Impatiens noli-tangere* – 182,2 м²·кг⁻¹·10⁻³, а мінімальна – для *Poa turfosa* – 22,2 м²·кг⁻¹·10⁻³.

Отже, міжвидова різниця середніх значень КП у видах досліджуваного ярусу становить 8,2 рази, що є доволі типовим показником.

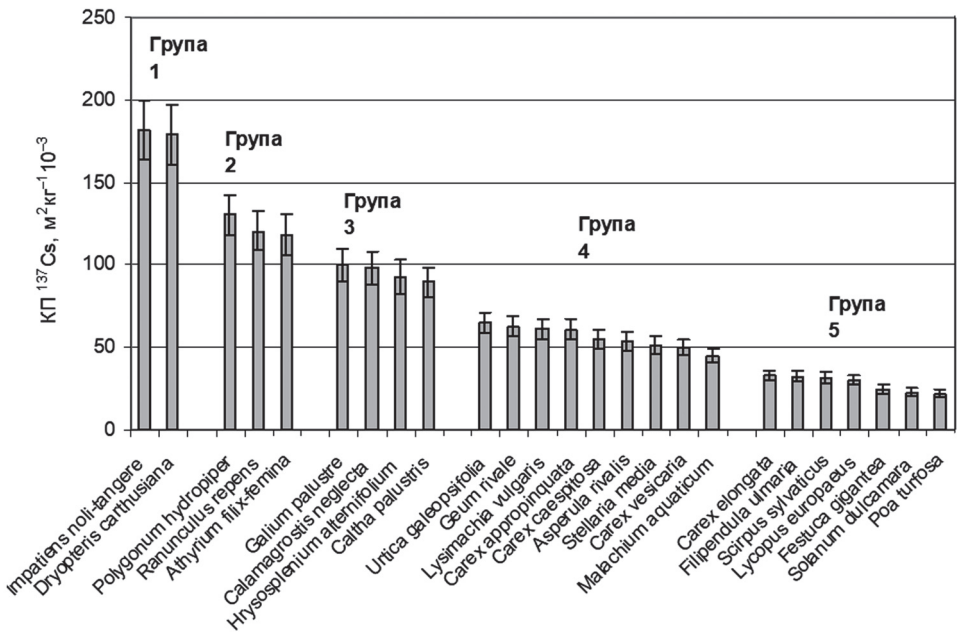


Рис. 2. Середні значення КП ¹³⁷Cs із ґрунту до видів трав'яно-чагарничкового ярусу чорновільхових лісів сирих суборів

Міграційну здатність ^{137}Cs у ґрунтово-рослинному покриві лісів трофотопу суборів кількісно оцінено [18] за величиною КП ^{137}Cs у наземну фітомасу головних рослин-індикаторів, що трапляються у суборах Українського Полісся з високою постійністю. Отримані дані узагальнено у таблиці.

У вологих суборах (В₃) Полісся України, головним ценозом яких є сосняк чорничник-зеленомошник, величина КП у всіх видів у 1,3–4,5 рази є вищою, ніж у таких самих видів у свіжих суборах. Концентраторами ^{137}Cs у екологічних умовах останніх є папороті – щитник шартрський

Екологічна та радіоекологічна характеристика видів рослин-індикаторів типів лісорослинних умов у суборах Полісся України (фрагмент) [19]

№ пор.	Вид	Екологічна характеристика	Індикаційне значення	Середнє значення КП ^{137}Cs із ґрунту до наземної фітомаси, $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$			
				В2	В3	В4	В5
1	Плаун булавоподібний	Мезоеуτροφ, мезофіт	В ₂ , В ₃ , С ₂ , С ₃	22± 2,8	45± 9,7	–	–
2	Хвоц зимуючий	Мезоеуτροφ, мезофіт	С ₃ , С ₂ , В ₃ , В ₂	17± 5,0	22± 2,7	–	–
3	Щитовник шартрський	Мезоеуτροφ, мезогірофіт	В ₃₋₄ , С ₃₋₄	590± 45,9	718± 75,9	780± 88,6	–
4	Орляк звичайний	Мезотроф, мезофіт	В ₂ , В ₃ , С ₂ , С ₃	496± 23,9	566± 42,1	–	–
5	Сон розкритий	Олігомезотроф, ксеромезофіт	В ₂ , А ₂ , С ₂	14± 5,6	–	–	–
6	Перстач білий	Мезоеуτροφ, мезофіт	С ₂₋₃ , В ₂	23± 4,2	–	–	–
7	Суниці лісові	Мезоеуτροφ, мезофіт	В ₂ , С ₂	17± 8,7	–	–	–
8	Герань криваво-червона	Мезоеуτροφ, мезофіт	В ₂ , С ₂	2± 0,5	–	–	–
9	Андромеда багатоліста	Оліготроф, гірофіт	А ₅ , В ₅ , А ₄ , В ₄	–	–	130± 43,5	185± 57,4
10	Верес звичайний	Олігомезотроф, мезофіт	А ₂ , В ₂ , А ₃ , В ₃ , С ₂₋₃	45± 12,3	110± 35,6	252± 68,0	–
11	Багно звичайне	Олігомезотроф, гірофіт	А ₄ , В ₄ , А ₅ , В ₅	–	80± 19,4	166± 45,7	250± 74,8
12	Грушанка круглоліста	Мезоеуτροφ, мезофіт	В ₂ , С ₂ , В ₃ , С ₃	5± 0,4	8± 1,0	–	–
13	Журавлина болотна	Оліготроф, гірофіт	А ₄ , В ₄ , А ₅ , В ₅	–	–	370± 80,0	446± 79,4
14	Чорниця	Олігомезотроф, мезогірофіт	А ₃ , В ₃ , А ₄ , В ₄ , С ₃	28± 7,8	107± 27,0	230± 32,0	–
15	Брусниця	Олігомезотроф, мезофіт	А ₂ , В ₂ , А ₃ , В ₃ , С ₂ , С ₃	29± 3,5	100± 17,9	265± 83,5	–
16	Одинарник європейський	Мезотроф, мезофіт	В ₃ , В ₂ , С ₂ , С ₃ , В ₄ , С ₄	72± 14,0	98± 9,7	156± 47,9	–

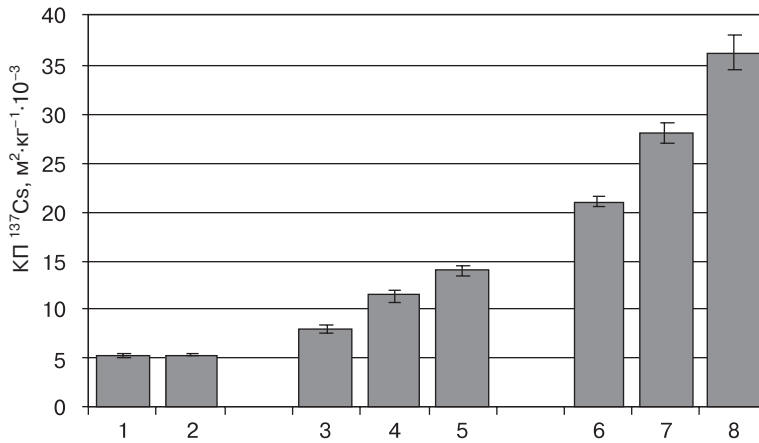


Рис. 4. Середні значення КП ^{137}Cs до лікарської сировини сухих борів (А1): 1. Золотушник звичайний, суцвіття; 2. Кмин пісковий, суцвіття; 3. Чебрець повзучий, трава; 4. Пижмо звичайне, трава; 5. Звіробій звичайний, трава; 6. Мучниця, листя; 7. Фіалка триколірна, трава; 8. Сосна звичайна, бруньки

(*Dryopteris carthusiana*) та орляк звичайний (*Pteridium aquilinum*), а також види родини вересових – верес звичайний (*Calluna vulgaris*), чорниця (*Vaccinium myrtillus*), брусниця (*Vaccinium vitis-idaea*) тощо. Усі перелічені вище види-концентратори ^{137}Cs можуть бути рекомендовані для використання як тест-об'єкти для біоіндикації радіоактивного забруднення ^{137}Cs лісових екосистем у вологих суборах.

Найбільша кількість видів-індикаторів є характерною для соснових і сосново-дубових лісів різнотравно-зеленомошних свіжих суборів [20], в умовах яких більшість видів характеризується помірним накопиченням радіонукліда з ґрунту ($40 > \text{КП} > 10$). Серед видів, що значно акумулюють ^{137}Cs ($100 > \text{КП} > 40$), є: костяниця (*Rubus saxatilis*), одинарник європейський (*Trientalis europaea*), а також папороті і веснівка дволиста (*Maianthemum bifolium*) – ^{137}Cs ($\text{КП} > 100$), які можуть бути рекомендовані як тест-об'єкти радіоекологічного моніторингу.

Було узагальнено дані щодо інтенсивності акумуляції ^{137}Cs дикорослими лікарськими рослинами в лісах України [21]. Дослідниками наведено численні ряди дикорослих лікарських рослин за едатопами, зокрема сухих борів (А1) (рис. 4).

За показниками коефіцієнтів переходу ^{137}Cs у біомасу в умовах сухих борів лікарські рослини об'єднано у три групи, а саме:

- перша група – до $5 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 10^{-3}$
- друга група – $5\text{--}15 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 10^{-3}$
- третя група – $15\text{--}37 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 10^{-3}$.

Тобто згруповано рослини з мінімальними, середніми і максимальними показниками акумуляції ^{137}Cs з ґрунту.

Отже, узагальнені емпіричні дані хоча і не втратили наукового значення, але є дещо застарілими, оскільки були отримані 15 років тому. У віддалений період після аварії на ЧАЕС вони потребують значної актуалізації до сучасних умов.

ВИСНОВКИ

Дослідження характеристик радіоактивного стану лісових екосистем дає змогу прогнозувати ступінь забруднення конкретних видів продукції лісового господарства на лісотипологічній основі, а також швидко і своєчасно реагувати на прояви підвищення визначених раніше рівнів радіоактивного забруднення компонентів лісових екосистем, тобто фіксувати атмосферні випадіння радіонуклідів.

Інформацію щодо сучасних рівнів радіоактивного забруднення компонентів лісо-

вих екосистем можна отримати на основі аналізу результатів екстенсивного радіо-екологічного моніторингу відповідних видів продукції лісового господарства та аналізу питомої активності ^{137}Cs у тест-об'єктах з використанням певних видів судинних рослин.

Тест-об'єктами, які використовуються для біоіндикації радіоактивного забруднення лісових екосистем, зазвичай, є вищі рослини (мохоподібні та судинні рослини),

лишайники та гриби. З деревних рослин тест-об'єктами можуть використовуватися деякі вегетативні органи: у сосни звичайної — однорічна хвоя та однорічні пагони; у листяних порід — листя.

У різних типах лісорослинних умов акумуляція ^{137}Cs рослинами трав'яно-чагарничкового ярусу лісових екосистем є видоспецифічною. Для кожного типу лісорослинних умов набір тест-об'єктів також є специфічним.

ЛІТЕРАТУРА

1. Молчанова И.В. Радиоактивные изотопы в системе «почва — растение» / И.В. Молчанова, Н.В. Куликов. — М.: Атомиздат, 1972. — 146 с.
2. Моисеев А.А. Цезий-137 в биосфере / А.А. Моисеев, П.В. Рамзаев. — М.: Атомиздат, 1975. — 184 с.
3. Тихомиров Ф.А. Действие ионизирующих излучений на экологические системы / Ф.А. Тихомиров. — М.: Атомиздат, 1972. — 176 с.
4. Тихомиров Ф.А. Радиационный мониторинг почвенно-растительного покрова / Ф.А. Тихомиров, Р.М. Алексахин // Вестн. Москов. ун-та. — 1987. — № 1. — С. 30–35. — (Сер. 17: Почвоведение).
5. Краснов В.П. Радиационный мониторинг лісових екосистем на прикладі дикорослих ягідних рослин / В.П. Краснов, О.О. Орлов // Науковий вісник УкрДЛТУ. — 2002. — Вип. 12.4. — С. 151–154.
6. Краснов В.П. Концептуальное положение радиационного мониторинга лесных экосистем / В.П. Краснов, О.О. Орлов, Т.В. Курбет // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: Труды Международной конференции (Москва, 5–6 декабря 2005 г.). — Т. 3. — Спб.: Гидрометеоиздат, 2006. — С. 103–108.
7. ICRP Publication 7. Principles of environmental monitoring related to the handling of radioactive materials. — London: Pergamon Press, 1966. — 44 p.
8. ICRP Publication 43. Principles of environmental monitoring for radiation protection of human population. — London: Pergamon Press, 1985. — 50 p.
9. Руководство по организации контроля природной среды в районе расположения АЭС / К.П. Махонько и др.; под ред. К.П. Махонько. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990. — 264 с.
10. Мусиенко Н.Н. Экология. Охрана природы: Словарь-справочник / Н.Н. Мусиенко, В.В. Серебряков, А.В. Брайон. — К.: Общество «Знання», КОО, 2002. — 550 с.
11. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия: учебник / В.А. Алексеенко. — М.: Логос, 2000. — 627 с.
12. Kovács M. Monitoring system / M. Kovács // Biological indicators in environmental protection. — Chichester: Ellis Harwood Ltd., 1992. — P. 12–15.
13. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС / А.И. Щеглов. — М.: Наука, 1999. — 268 с.
14. Нифонтова М.Г. О накоплении ^{90}Sr и ^{137}Cs лишайниками в природных условиях / М.Г. Нифонтова, Н.В. Куликов // Экология. — 1977. — № 3. — С. 93–96.
15. Нифонтова М.Г. ^{137}Cs в растениях окрестностей Белоярской атомной электростанции им. И.В. Курчатова / М.Г. Нифонтова, Н.В. Куликов // Экология. — 1984. — № 5. — С. 81–83.
16. Нифонтова М.Г. Динамика содержания долгоживущих радионуклидов в мохово-лишайниковой растительности / М.Г. Нифонтова // Экология. — 1997. — № 4. — С. 273–275.
17. Шитюк К.Ф. Порівняльна оцінка розподілу ^{137}Cs в екосистемах соснових та сосново-дубових лісів Українського Полісся / К.Ф. Шитюк, О.О. Орлов, С.Д. Мельничук // Ядерна фізика та енергетика. — 2010. — Т. 11, № 1. — С. 74–81.
18. Орлов О.О. Акумуляція ^{137}Cs видами трав'яно-чагарничкового ярусу лісових боліт Західного Полісся України / О.О. Орлов, О.В. Головкин // Лісівництво і агролісомеліорація. — 2011. — Вип. 118. — С. 73–80.
19. Аналіз результатів третього етапу моніторингу акумуляції ^{137}Cs видами трав'яно-чагарничкового ярусу дубово-соснових лісів у вологих сугрудах Житомирського Полісся / О.О. Орлов, О.В. Жуковський, О.В. Зборовська та ін. // Лісівництво і агролісомеліорація. — 2018. — Вип. 133 — С. 102–111.
20. Orlov A. Ecological function of moss layer in distribution of ^{137}Cs fluxes in coniferous forests of authomorphous and hydromorphous landscapes / A. Orlov // Intern. conf. «Modern problems of radiobiology, radioecology and evolution». Abstracts. — Dubna, 2000. — P. 195–196.
21. Краснов В.П. Радиоекология лікарських рослин / В.П. Краснов, О.О. Орлов, А.І. Гетьманчук. — Житомир: Полісся, 2005. — 216 с.

REFERENCES

- Molchanova, I.V. & Kulikov, N.V. (1972). *Radioaktivnye izotopy v sisteme «pochva–rastenie»* [Radioactive isotopes in the soil–plant system]. Moskva [in Russian].
- Moiseev, A.A., & Ramzaev, P.V. (1975). *Tseziy–137 v biosfere* [Cesium–137 in the biosphere]. Moskva [in Russian].
- Tikhomirov, Ph.A. (1972). *Deystvie ioniziruiushchikh izlucheniya na ekologicheskie sistemy* [Impact of ionizing radiation on ecological systems]. Moskva [in Russian].
- Tikhomirov, Ph.A. & Aleksakhin, R.M. (1987). Radiatsionnyy monitoring pochvenno-rastitel'nogo pokrova [Soil–plant radiation monitoring]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser.17. Pochvovedenie – Bulletin of Moscow University. Ser.17. Soil Science*, 1, 30–35 [in Russian].
- Krasnov, V.P., & Orlov, O.O. (2002). Radiatsionnyy monitoring lisovykh ekosistem na prykladi dykorskykh yahidnykh roslin [Radiation monitoring of forest ecosystems on the example of wild berry plants]. *Nauk. visnyk UkrDLTU – Scientific Bulletin of UkrDLTU*, 12.4, 151–154 [in Ukrainian].
- Krasnov, V.P., Orlov, O.O., & Kurbet, T.V. (2006). Kontseptual'ne polozhennya radiatsionnogo monitoringa lesnykh ekosistem [Conceptually the position of radiation monitoring of forest ecosystems]. *Radioaktivnost' posle yadernykh vzyvov i avariya. Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii – Radioactivity after nuclear explosions and accidents. Proceedings of the International Conference*, 3, 103–108 [in Russian].
- ICRP Publication 7. *Principles of environmental monitoring related to the handling of radioactive materials*. (1966). London: Pergamon Press [in English].
- ICRP Publication 43. *Principles of environmental monitoring for radiation protection of human population*. (1985). London: Pergamon Press [in English].
- Makhon'ko, K.P. (1990). *Rukovodstvo po organizatsii kontrolya prirodnoy srody v rayone raspolozheniya AES* [Guidance on the organization of environmental control in the area of the NPP]. Leningrad [in Russian].
- Musiyenko, N.N., Serebryakov, V.V. & Brayon, A.V. (2002). *Ekologiya. Okhrana prirody: Slovar'-spravochnik* [Ecology. Environmental Protection: Dictionary-Reference]. Kyiv [in Ukrainian].
- Alekseenko, V.A. (2000). *Ekologicheskaya geokhimiya: uchebnik* [Ecological geochemistry: textbook]. Moskva [in Russian].
- Kovács, M. (1992). *Monitoring system. Biological indicators in environmental protection*. Chichester: Ellis Harwood Ltd. [in English].
- Shcheglov, A.I. (1999). Biogeokhimiya tekhnogenykh radionuklidov v lesnykh ekosistemakh [Bio-geochemistry of technogenic radionuclides in forest ecosystems]. *Materialy 10-letnikh issledovaniy v zone vliyaniya avarii na CHAES* [Materials of 10 years of research in the impact zone of the Chernobyl accident]. Moskva [in Russian].
- Nifontova, M.G., & Kulikov, N.V. (1984). O nakoplenii ^{90}Sr i ^{137}Cs lishaynikami v prirodnykh usloviyakh [The accumulation of ^{90}Sr i ^{137}Cs by lichens in natural conditions]. *Ekologiya – Ecology*, 3, 93–96 [in Russian].
- Nifontova, M.G., & Kulikov, N.V. (1984). ^{137}Cs v rastenyakh okrestnostey Beloyarskoy atomnoy elektrostantsii im. I.V. Kurchatova [^{137}Cs in plants surrounding the Beloyarsk nuclear power plant named after I.V. Kurchatova]. *Ekologiya – Ecology*, 5, 81–83 [in Russian].
- Nifontova, M.G. (1997). Dinamika sodержaniya dolgoživushchikh radionuklidov v mokhovo-lishaynikovoy rastitel'nosti [The dynamics of the content of long-lived radionuclides in moss-lichen vegetation]. *Ekologiya – Ecology*, 4, 273–275 [in Russian].
- Shytyuk, K.F., Orlov, O.O., & Mel'nychuk, S.D. (2010). Porivnyal'na otsinka rozpodilu ^{137}Cs v ekosystemakh osnovnykh ta sosnovno-dubovykh lisiv Ukrayins'koho Polissya [Comparative assessment of ^{137}Cs distribution in ecosystems of pine and pine-oak forests of Ukrainian Polesie]. *Yaderna fizyka ta enerhetyka – Nuclear physics and energy*, 11(1), 74–81 [in Ukrainian].
- Orlov, A. (2011). Akumulyatsiya ^{137}Cs vydamy tryvano-chaharnychkovoho yarusu lisovykh bolit Zakhidnoho Polissya Ukrainy [^{137}Cs accumulation by species of grassland shrub tier in forest swamp of Western Polesie of Ukraine]. *Lisivnytstvo i ahrolisomeliatoriya – Forestry and agroforestry*, 118, 73–80 [in Ukrainian].
- Orlov, A. (2011). Analiz rezul'tativ tret'ioho etapu monitoringu akumulatsii ^{137}Cs vydamy tryvano-chaharnychkovoho yarusu dubovo-sosnovykh lisiv u volohykh suhrudakh Zhytomyrs'koho Polissya [Analysis of the results of the third stage of monitoring of ^{137}Cs accumulation by species of grass and shrub tier in wet oak-pine forests of Zhytomyr Polissya]. *Lisivnytstvo i ahrolisomeliatoriya – Forestry and agroforestry*, 133, 102–111 [in Ukrainian].
- Orlov, A. (2000). Ecological function of moss layer in distribution of ^{137}Cs fluxes in coniferous forests of authomorphous and hydromorphous landscapes. *International conference «Modern problems of radiobiology, radioecology and evolution»*. Abstracts. Dubna, 195–196 [in English].
- Krasnov, V.P. & Het'manchuk, A.I. (2005) *Radioekologiya likars'kykh roslin* [Radioecology of medical herbs]. Zhitomyr [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 28.01.2020