

УДК [504.5:502.521]: 630

DOI <https://doi.org/10.32782/NSER/2024-4.17>

ЛІСОВІ ЕКОСИСТЕМИ ТА ЇХ РАДІАЦІЙНЕ ЗАБРУДНЕННЯ

Трохимчук Ірина Михайлівна

кандидат педагогічних наук, доцент,

доцент кафедри біології та здоров'я людини

Рівненського державного гуманітарного університету

ORCID ID: 0000-0003-0560-3786

Значна кількість радіонуклідів, що накопичилась у лісовому господарстві після аварії на Чорнобильській АЕС, викликала необхідність вирішення таких проблем, як організаційні, економічні, лісгосподарські, екологічні та соціальні, які ніколи раніше не стояли перед людиною.

Метою дослідження є виявлення закономірностей поведінки радіонуклідів у лісових екосистемах та вивчення особливостей процесу лісорозведення на забрудненій радіонуклідами території.

Дослідження закономірностей міграції радіонуклідів у лісових екосистемах є досить складним і тривалим дослідницьким процесом. З метою вивчення стану накопичення ^{137}Cs у складових компонентах лісових біоценозів та доцільності їх закладення як промислової сировини нами було обрано три види дерев: дуб звичайний (*Quercus robur* L.), береза срібляста (*Betula pendula*), сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.). Отримані дані свідчать про те, що найбільша частина загальної активності ^{137}Cs екосистеми (72,38%) зосереджена в ґрунті, у тому числі 17,08% – у лісовій підстилці та 55,3% – у мінеральному шарі ґрунту. Відповідно компоненти надземної фітомаси ценозу утримували 27,62% валового запасу ^{137}Cs лісової екосистеми.

Завдяки значній фітомасі частка деревного ярусу у розподілі ^{137}Cs в екосистемі є визначальною серед компонентів фітоценозу і становить – 12,61%. На основі отриманих результатів радіологічного дослідження, вміст радіонуклідів ^{137}Cs у дуба звичайного (*Quercus robur* L.) становить в середньому 1876 Бк/кг; сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) 2384 Бк/кг; берези повислої (*Betula pendula*) – 1680 Бк/кг.

Порівняльний аналіз отриманих даних свідчить про те, що частка деревини в утриманні ^{137}Cs деревостану в цілому значно менша порівняно з розподілом фітомаси. Натомість, частка фізіологічно активних тканин і органів (однорічних пагонів, однорічної хвої та кори внутрішньої з лубом) значно більша, до того ж, головним чином за рахунок вищої питомої активності радіонуклідів у них.

Висновок. Найбільший ступінь забруднення мають чагарникові та трав'янисті рослини, а також гриби, які мають основну масу кореневої системи у верхньому (5-20 см) шарі ґрунту, де зосереджено до 90% радіонуклідів. Загальне зниження рівня забруднення різних компонентів лісової екосистеми спостерігається за рахунок часткового розпаду ^{137}Cs і ^{90}Sr (виняток становлять лише окремі ділянки, в яких вміст ^{137}Cs і ^{90}Sr у багатьох компонентах суттєво збільшився внаслідок підтоплення чи пожежі).

Шляхи фільтрації лісових екосистем від радіонуклідів різноманітні – починаючи від регулювання кругообігу радіонуклідів за допомогою внесення добрив до використання власних особливостей лісу щодо фіксації ^{137}Cs і ^{90}Sr або переведення їх у нерозчинні необмінні форми.

Ключові слова: лісові екосистеми, деревний ярус, надземна фітомаса, радіобіоекологічні дослідження, радіонукліди, міграція радіонуклідів.

Trohymchuk I. M. Forest ecosystems and their radiation pollution

Introduction. A significant amount of radionuclides which is accumulated in the forestry after Chornobyl nuclear power station disaster caused necessity of solving such problems as organizational, economical, forestry, ecological and social which human has never faced before.

Purpose. Detecting of regularity of radionuclides behavior in forest ecosystems and studying features of afforestation process on the radionuclides contaminated territory.

Results. Detecting of regularities of radionuclides migration in the forest ecosystems is rather complicated and time-consuming research process. We selected three kinds of wooden circle with the aim of studying of ^{137}Cs accumulation condition and advisability of their stocking as industrial raw materials: English Oak (*Quercus robur* L.), Silver Birch (*Betula pendula*), Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). Obtained data demonstrates that the biggest part of total activity of ^{137}Cs of ecosystem (76,48%) is concentrated in the soil, including 18,09% – in the forest bedding and 58,39% – in mineral layer of soil. Accordingly, components of above-ground phytomass coenosis retained 23,52% of gross margin of ^{137}Cs of forest ecosystem.

Due to considerable phytomass the part of wooden circle in contributing of ^{137}Cs in the ecosystem is defining among components of phytocoenosis and it is – 13,71%. Based on the results of radiological research the contents of radionuclides ^{137}Cs in English Oak (*Quercus robur* L.) is in average 1786 Bq/kg; Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) 2394 Bq/kg; Silver Birch (*Betula pendula*) – 1590 Bq/kg.

Originality. Comparative analysis of obtained data indicates that part of wood in retaining of ^{137}Cs of wooden mass generally is much less in comparison with phytomass distribution. In return the part of physiologically active materials and organs (one-year shoots, one-year needles and inner bark with phloem) is much bigger, moreover, mainly due to higher specific activity of radionuclides in them.

Conclusion. The bush plants and herbaceous plants and also mushrooms demonstrate the highest degree of contamination which has the main mass of root system in upper (5-20 cm) soil layer where up to 90 % of radionuclides are concentrated. General decreasing of contamination level of different components of forest ecosystem is observed due to partial decay of ^{137}Cs and ^{90}Sr (only some parts are exclusion in which the content of ^{137}Cs i ^{90}Sr in many components increased significantly as a result of flood or fire).

The ways of filtering of forest ecosystems from radionuclides are versatile – starting from regulation of radionuclides circulation with fertilization to using of forest own unique features as to fixating ^{137}Cs and ^{90}Sr or transferring them to into insoluble, non-changing forms.

Key words: forest ecosystems, wood circle, above-ground biomass, radiobioecological research, radionuclides, radionuclides migration.

Вступ. Радіоактивне забруднення значних площ лісів України відбулося насамперед унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Ліси виконали свою природну функцію, захистили населені пункти та сільськогосподарські угіддя від ще більшого радіоактивного забруднення. Проте значна кількість радіонуклідів, що накопичилася в лісових масивах після аварії, призвела до виникнення організаційних, економічних, лісівничих, екологічних і соціальних проблем, з якими раніше людині не доводилося стикатися [1; 2]. Радіоактивне забруднення лісових біоценозів стало на заваді традиційному веденню багатопільового лісового господарства. Постає гостра необхідність у науково обґрунтованих підходах до лісокористування, які враховували б присутність радіаційного чинника. Ці підходи можуть мати різні напрями, але в сукупності вони повинні гарантувати безпечні умови праці й отримання продукції з допустимим рівнем радіоактивного забруднення [3].

Найбільше від радіоактивного забруднення постраждали ліси Житомирської, Рівненської, Київської, Чернігівської та Волинської областей. У цьому регіоні України зосереджено майже 40% лісових площ держави, на які припадають значні обсяги заготівлі деревини, харчової та технологічної сировини

Вивчення закономірностей поведінки радіонуклідів у лісових екосистемах є складним і тривалим дослідницьким процесом. Територія, уражена радіоактивними викидами, має істотні відмінності у кліматичних умовах, характеризується різноманітними типами ґрунтів і рослинним покривом. Лісові біоценози являють собою складні комплекси з багатьох видів флори та фауни, кожен із яких має унікальні біологічні й екологічні особливості. Взаємини між цими видами ще складніші, оскільки вони також вирізняються власною своєрідністю та специфічністю в різних екологічних умовах [4; 5].

Питання ускладнюється ще й тому, що існує відмінність у формах надходження радіонуклідів

на ті чи інші площі, що в основному пов'язано з відстанню від джерела аварійних викидів.

Дослідження лісових екосистем ускладнюється ще й тим, що радіоактивне забруднення має мозаїчний характер як значних територій, так і невеликих площ. Тому отримані результати мають надзвичайно велику розбіжність. Водночас існує також і відмінність у формах надходження радіоактивних елементів на досліджувані площі, що в основному пов'язано з відстанню від джерела аварійних викидів.

Після трагедії на Чорнобильській АЕС служби радіологічного контролю в Україні, зокрема в Рівненській області, спостерігали досить значне радіоактивне забруднення лісів Полісся. У лісових екосистемах були розпочаті масштабні радіобіоекологічні дослідження, що охопили всі компоненти лісових систем. Однак лише частина цих досліджень була присвячена вивченню питання переходу радіонуклідів із ґрунту до рослин, особливостям їх накопичення й утримання різними частинами рослин. Водночас ведеться моніторинг впливу лікарських рослин і сировини на ступінь їхнього радіоактивного забруднення. Більша увага приділяється північним районам області, оскільки вони більш радіоактивно забруднені порівняно з південними [3; 5].

Забруднення лісових біогеоценозів радіонуклідами призвело не лише до обмежень у використанні продукції лісівництва, але й до безпосередніх змін у процесах організації та технології проведення лісогосподарських робіт.

Радіаційна ситуація в лісах, забруднених радіонуклідами, змінюється досить повільно. Зважаючи на те, що лісові насадження ефективно утримують радіонукліди, дезактивація лісових площ наявними методами неможлива, а основну частину радіаційного забруднення становлять довгоживучі ^{137}Cs та ^{90}Sr . Це означає, що проблема з веденням лісового господарства на забрудненій радіоактивними викидами території залишатиметься тривалою, а використання продукції лісового господарства на значній площі буде досить проблематичним [5].

Уже нині частину забруднених радіонуклідами лісових площ можна використовувати для заготівлі продукції лісового господарства, а також для проведення деяких лісогосподарських робіт, які раніше були заборонені.

Реабілітацію лісів на забруднених радіонуклідами територіях варто розглядати як складову частину загальної проблеми реабілітації площ, які постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС, та зменшення її наслідків. Тому постає нагальна необхідність розроблення критеріїв і методологічних основ реабілітації лісів. Об'єктивність і ефективність ужитих заходів залежатимуть саме від цих розробок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У світовій практиці ведення лісового господарства застосування методів дезактивації на наукових засадах в умовах радіоактивного забруднення не розроблялося. Відомі роботи авторів стосовно питання міграції радіонуклідів у лісових екосистемах, процесів їх накопичення в лісових біогеоценозах. Проте ці дослідження лише опосередковано та частково торкаються продукції лісового господарства. Ведення лісового господарства в цих умовах натепер потребує конкретних практичних розробок і рекомендацій, які б дозволили використання лісогосподарської продукції та реалізацію можливостей зменшення вмісту радіонуклідів на забрудненій радіоактивними викидами території. Зрозуміло, що такі методичні рекомендації мають базуватися на достовірних результатах наукових досліджень.

Результати дослідження. Деревний ярус, залежно від екологічних умов, може по-різному впливати на розподіл ^{137}Cs у лісових екосистемах. Водночас його едифікаторний і відносний геохімічний вплив є найбільшим в умовах, які є близькими до оптимальних для росту головних лісоутворювальних порід (сосна, дуб, береза) у свіжих і вологих суборах, сугрудках і грудях. У несприятливих умовах сухих борів і мокрих борів такий вплив буде зменшуватися, оскільки частка інших ярусів рослинності в утриманні активності ^{137}Cs перевищує таку ж деревостану.

Різні яруси лісової рослинності в геохімічному плані досить мінливі і позитивно корелюють з фітомасою на одиницю площі. Останніми роками можна спостерігати збільшення сумарного вмісту радіоактивних елементів безпосередньо в деревині основних лісоутворювальних порід, що може призвести до збільшення ймовірності отримання забрудненої продукції. Перевищення гігієнічних нормативів питомої активності радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у деревині та продукції з такої деревини досить значне.

Загалом, на досліджуваній ділянці лісництва Дубровицького району Рівненської області було зазначено зростання більше 20 видів деревних

рослин, які активно використовуються в деревообробній промисловості.

З метою вивчення стану накопичення ^{137}Cs та можливості заготівлі деревини як промислової сировини ми відібрали три види вищих судинних рослин, як-от: дуб звичайний (*Quercus robur* L.), береза повисла (*Betula pendula*), сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.). Загальний розподіл сумарної активності ^{137}Cs у лісовій екосистемі стиглого соснового лісу у свіжому бору є дуже специфічним. Результати досліджень свідчать, що натепер найбільша доля сумарної активності ^{137}Cs екосистеми (76,48%) зосереджена у ґрунтовому покриві, а саме 18,09% – у лісовій підстилці, 58,39% – у власне мінеральних шарах ґрунту. Компоненти надземної частини фітомаси біогеоценозу утримують 23,52% валового запасу ^{137}Cs лісових екосистем.

Оскільки частка фітомаси деревного ярусу є досить вагомою, у розподілі ^{137}Cs у лісовій екосистемі є визначальною серед усіх компонентів фітоценозу – 13,71%.

Під час порівняння результатів проведених досліджень варто зазначити, що частка деревини в утриманні ^{137}Cs деревостану загалом є значно меншою за розподіл фітомаси. Частка фізіологічно активних тканин і органів (наприклад, однорічних пагонів, однорічної хвої та кори внутрішньої з лубом) є значно більшою завдяки вищій питомій активності радіонуклідів у них.

Компоненти крони деревних рослин, окрім найбільш товстих гілок, входять до лісосічних залишків, які зазвичай збирають і спалюють. Тому можна зробити висновок, що 47,21% загальної сумарної активності ^{137}Cs надземної частини лісостану залишається на зрубі, зокрема: гілки товсті – 18,49%; гілки тонкі – 13,46%; пагони однорічні – 2,49%, хвоя різного віку – 12,78%.

Результати радіологічного дослідження показують, що вміст радіонуклідів ^{137}Cs у деревині дуба звичайного (*Quercus robur* L.) становить у середньому 1 786 Бк/кг; сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) – 2 394 Бк/кг; берези повислої (*Betula pendula*) – 1 590 Бк/кг.

Територія досліджуваного лісництва має перевищення допустимих рівнів показників забруднення деревини в сосни майже у 3,5 раза, сировини дуба та берези – лише у два рази. Саме тому будь-яка заготівля деревини цих видів для використання на території даного лісництва має бути заборонена та суворо контролюватись із метою запобігання розповсюдженню та продажу такої забрудненої рослинної продукції.

Тенденція до значного погіршення санітарного стану радіоактивно забруднених насаджень поступово може призвести до втрати продуктивності деревостану, а несвоєчасне використання стиглого лісу – до погіршення якості деревини,

підвищення пожежної небезпеки та виникнення потужних осередків шкідників і хвороб лісу. Щоб покращити ситуацію, необхідно переходити до реалізації комплексів активних лісогосподарських заходів, які будуть проводитися з урахуванням темпів природного процесу самоочищення біогеоценозу та зміни радіаційної ситуації в лісових насадженнях загалом [5].

Отже, у забруднених лісових екосистемах відбуваються стійкі різноспрямовані процеси міграції техногенного ^{137}Cs у компонентах таких екосистем, відповідне очищення одних і збільшення радіоактивного забруднення інших. Це дає можливість спрогнозувати вміст ^{137}Cs та інших техногенних радіонуклідів у компартментах лісових екосистем із можливістю реабілітації найбільш забруднених ділянок лісу. До 2022 р. в Україні активно розроблялась автоматизована модель міграції ^{137}Cs у лісових екосистемах хвойних лісів, яка дозволила б спрогнозувати радіоактивне забруднення будь-якого компоненту лісової екосистеми із прийнятною точністю.

Висновки і перспективи подальших досліджень. На основі наведених даних можна визначити такі основні особливості враження складових частин лісового фітоценозу ^{137}Cs :

1. Найбільший рівень забруднення спостерігається в чагарникових і трав'янистих рослин, а також грибів. Це пов'язано з тим, що основна маса їхньої кореневої системи розташована у верхньому (5–20 см) шарі ґрунту, де зосереджено до 90% радіонуклідів. Ці організми зазвичай швидко ростуть і мають короткий життєвий цикл, що призводить до циклічних змін концентрації ^{137}Cs і ^{90}Sr у системі «ґрунт – чагарникові рослини» через повернення радіонуклідів у ґрунт і лісову підстилку разом із відмерлими рослинами.

2. Різні види деревних рослин накопичують радіонукліди по-різному. Наприклад, дуб і граб, які мають невеликий щорічний приріст деревини, демонструють інтенсивність випромінювання в межах 0–60 Бк/кг. Осика і береза, більш швидко ростучі рослини з менш розвинутою кореневою системою, накопичують від 0 до 100 Бк/кг, тоді як сосна – від 70 до 500 Бк/кг. Загалом хвойні дерева, завдяки швидшому росту та важливій ролі хвої, значно активніше накопичують ^{137}Cs і ^{90}Sr , ніж листяні породи.

3. Загалом спостерігається зниження рівня забрудненості різних складових частин лісової екосистеми внаслідок часткового розпаду ^{137}Cs і ^{90}Sr . Виняток становлять окремі ділянки, де через підтоплення або пожежі вміст ^{137}Cs і ^{90}Sr у багатьох компонентах значно зріс.

4. Існують різні шляхи очищення лісових екосистем від радіонуклідів, зокрема регулювання їх кругообігу шляхом внесення добрив або використання природних властивостей лісу для фіксації ^{137}Cs і ^{90}Sr чи переведення їх у нерозчинні неоміні форми. За правильного та раціонального використання ці методи можуть значно підвищити радіаційну безпеку як у Рівненській області, так і в усій Україні.

Література:

1. Давидчук В.С. Ландшафтні передумови еволюції радіологічної ситуації. *Український географічний журнал*. 2001. № 2. С. 47–51.
2. Краснов В.П. Радіоекологія лісів Полісся України. Житомир, 1998.
3. Методичні рекомендації з питань моніторингу лісів. УкрНДІЛ – ГА. Державний комітет лісового господарства України, 2008.
4. Gudkov I. V., Vinichuk V. V. *Radiobiology & Radioecology*. K.: NAUU, 2006. 295 p.
5. *Radioecology: Radioactivity & Ecosystems* / Eds. E. Van der Stricht and R. Kirchmann. Belgium: Printed by Fortempts, 2001. 602 p.

References:

1. Davydchuk, V.S. (2001). Landshaftni peredumovy evoliutsii radiolohichnoi sytuatsii [Landshaftni peredumovy evoliutsii radiolohichnoi sytuatsii]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2. 47–51.
2. Krasnov, V.P. (1998). *Radioekolohiia lisiv Polissya Ukrainy [Radioecology of Polissya forests of Ukraine]*. Zhytomyr [in Ukrainian].
3. *Metodychni rekomendatsii z pytan monitorynhu lisiv [Methodological recommendations on forest monitoring]* (2008). UkrNDIL –HA. Derzhavnyi komitet lisovoho hospodarstva Ukrainy.
4. Gudkov, I.V., & Vinichuk, V.V. (2006). *Radiobiology & Radioecology*. K.: NAUU.
5. E. Van der Stricht, R. Kirchmann. (2001). *Radioecology: Radioactivity & Ecosystems*. Belgium: Printed by Fortempts.