

## РОЗПОДІЛ $^{137}\text{Cs}$ У ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

В.П. Краснов<sup>1</sup>, Т.В. Курбет<sup>1</sup>, М.Б. Корбут<sup>1</sup>, О.Л. Бойко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Житомирський державний технологічний університет

<sup>2</sup> Київська науково-дослідна станція Українського науково-дослідного інституту лісового господарства і агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького

*Наведено результати досліджень, проведених у вологих борах і сугрудах щодо розподілу  $^{137}\text{Cs}$  у компонентах лісових екосистем Полісся України. Встановлено, що і досі найбільша частка сумарної активності радіонуклідів концентрується у ґрунті (вологі бори — 86,27%, вологі сугруди — 98,88%). На бідних піщаних ґрунтах спостерігається інтенсивніша міграція  $^{137}\text{Cs}$  у деревні породи: у вологих борах величина питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  становить у деревині сосни звичайної —  $1451 \pm 119$  Бк/кг, хвої однорічній —  $18750 \pm 1650$  у внутрішній частині кори —  $22783$  Бк/кг, у вологих сугрудах ці показники були значно нижчі —  $65 \pm 4$ ,  $790 \pm 64$  і  $918$  Бк/кг відповідно.*

**Ключові слова:** радіонукліди, радіоактивне забруднення ґрунту, питома активність радіонукліда, лісові насадження, дерново-підзолисті ґрунти.

У різні періоди з часу аварії на ЧАЕС проводилося різноаспектне вивчення розподілу радіонуклідів у лісових екосистемах Полісся. Слід наголосити, що подібні дослідження є доволі складними з методичного погляду і працемісткими — з технічного. Зумовлено це тим, що лісові екосистеми складаються з численних біотичних і абіотичних компонентів, які потребують специфічних методик їх обліку і радіоекологічних обстежень. Тому, на нашу думку, ці дослідження не набули належного розвитку. Поряд із тим вони є основою для розуміння динаміки радіаційної ситуації у лісах.

Перші дослідження (1990–1991 рр.) у лісах Полісся України [1] та Білорусі [2] засвідчили, що основна кількість радіонуклідів (понад 95%) міститься у ґрунті, а у надземній фітомасі рослин (переважно деревних порід) була сконцентрована лише незначна їх кількість. Дослідники встановили (для того періоду у соснових насадженнях), що найбільші величини питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  та його сумарної активності були властиві напіврозкладеному шару лісової підстилки. З часом відбулось поступове переміщення основної кількості радіонуклідів до розкладеного

шару лісової підстилки та деяке їх заглиблення у мінеральний шар ґрунту [3, 4]. Надходження радіоактивних елементів у нижні шари лісової підстилки зумовило їх перехід до грибів і деяких видів рослин, а їх переміщення на глибину кореневої системи лісових насаджень — до всіх інших рослин. Так, найбільша частка активності  $^{137}\text{Cs}$  була зафіксована у верхній частині гумусово-елювіального горизонту ґрунту, як і значне зростання цього показника у деревному ярусі рослинності [5, 6]. За останні 10–15 років подібні дослідження майже не проводяться.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили у 2012 р. у межах «західного сліду» аварійних викидів ЧАЕС, на території ДП «Лугинське ЛГ» (Житомирська обл.) у лісових насадженнях, віднесених до зони безумовного відселення. У межах відібраних лісових насаджень, типових для Полісся України (табл. 1), були закладені постійні пробні площі (ППП) розміром 1 га ( $100 \times 100$  м). Так, ППП-68 розташовується у вологому бору ( $A_3$ ), а ППП-88 — у вологому сугруді ( $C_3$ ).

*Характеристика постійної пробної площі ППП-68.* Щільність радіоактивного забруднення ґрунту становить  $342,26$  кБк/м<sup>2</sup>.

Таблиця 1

## Таксаційна характеристика деревостану на постійних пробних площах

№ постійної пробної площі	Таксаційна характеристика деревостану			
	склад	вік, років	повнота	тип лісорослинних умов
ППП-68	10С	60	0,85	Вологий бір (А <sub>3</sub> )
ППП-88	7Дз3Сз	60	0,70	Вологий сугруд (С <sub>3</sub> )

На пробній площі зростає 55-річне соснове насадження із зімкненістю 0,8. Частка проєктивного покриття трав'яно-чагарникового ярусу становить 65–70%. Співдомінують у ньому чорниця (*Vaccinium myrtillus* L.), брусниця (*Vaccinium vitis-idaea* L.), верес звичайний (*Calluna vulgaris* (L.) Hull.). Моховий ярус має проєктивне покриття 90–95%. У ньому переважають дикран багатоніжковий (*Dicranum polysetum* Sw.), плеуроцій Шребера (*Pleurozium schreberi*). Асоціація: сосновий ліс чорнично-зеленомошній.

Ґрунт — дерново-середньопідзолистий, піщаний, на водно-льодовикових відкладах. Лісова підстилка має потужність близько 15 см. У мінеральній частині ґрунту чітко виділяються горизонти: гумусово-елювіальний — темно-сірого кольору; елювіальний — білого кольору, потужністю 8–10 см; ілювіальний — коричневий, суглинистий, потужністю 6–8 см. Материнська порода починалася з глибини 80–85 см.

*Характеристика постійної пробної площі ППП-88.* Щільність радіоактивного забруднення ґрунту — 421,93 кБк/м<sup>2</sup>. На пробній площі зростає 65-річне сосново-дубове насадження (склад — 7Дз3Сз) із зімкненістю 0,8. Підріст середньої густоти — нерівномірний із зімкненістю 0,2–0,4. Підлісок поодинокий, близько 1,5 м заввишки, утворений крушиною ламкою (*Frangula alnus* Mill.), горбиною звичайною (*Sorbus aucuparia* L.) та ліщиною звичайною (*Corylus avellana* L.). Трав'яно-чагарниковий ярус із загальним проєктивним покриттям 70–75% складається з орляка звичайного (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.), молінії блакитної (*Molinia caerulea* (L.) Moench.), буквиці лікарської (*Betonica officinalis* L.),

дзвоників кропивolistих (*Campanula trachelium* L.), конвалії звичайної (*Convallaria majalis* L.), кадила сарматського (*Melittis sarmatica* Klok.), перлівки пониклої (*Melica nutans* L.), костяниці (*Rubus saxatilis* L.), суниці лісової (*Fragaria vesca* L.), осоки гірської (*Carex montana* L.), перстачу білого (*Potentilla alba* L.). Асоціація: сосново-дубовий ліс конвалієво-різнотравний.

Ґрунт — багатий дерново-середньопідзолистий, супіщаний, на флювіо-гляціальних відкладах різновид. Ґрунтовий профіль складається з таких горизонтів: лісова підстилка потужністю 0–3 см; гумусово-елювіальний потужністю 0–20 см — темно-сірий, супіщаний, перехід до наступного горизонту хвилястий, з численними затоками; елювіальний горизонт, виражений нечітко, потужністю 20–25 см, жовто-світло-коричневий, зв'язно-піщаний, безструктурний; ілювіальний горизонт потужністю 25–40 см, світло-залізисто-коричневий, супіщаний; материнська порода глибше 40 см — жовтий, легкий, свіжий супісок, з численними залізистими новоутвореннями.

Отже, дослідні ділянки характеризуються різноманіттям ґрунту з однаковою вологістю. Існують також відмінності щодо:

- складу деревного ярусу — на ППП-68 зростає чисте соснове насадження, а на ППП-88 — мішане з перевагою листяних деревних порід;

- кількості та біомаси рослин інших ярусів рослинності — ці показники вищі для ППП-88.

Пробні площі (розміром 100×100 м) закладали за стандартною методикою [7]. Для вивчення розподілу радіонуклідів у певній лісовій екосистемі виділяли: дере-

востан, підріст, підлісок, живий надгрун-товий покрив, ґрунт. На кожній пробній площі викопували три ґрунтові профілі з подальшим описом їх горизонтів і відбором зразків ґрунту шарами через кожні 2 см спеціальним відбірником зразків. Відбірник виготовлено з нержавіючої сталі у формі прямокутного (500 см<sup>2</sup> – 25×20 см) совка з ручкою із захисним виступом для захисту від зсуву ґрунту. Відбір зразків здійснювали пошарово – спочатку лісової підстилки, а потім мінеральної частини ґрунту. Під час кожного відбору отримували зразок з одиниці площі 500 см<sup>2</sup> і конкретної товщини – 2 см (у лісовій підстилці відбирали нерозкладений, напіврозкладений і розкладений шари).

На кожній пробній площі здійснювали суцільний перелік дерев з вимірюванням їх товщини та висоти. Потім визначали середні показники цих величин і відбирали дерева у кількості трьох одиниць, які відповідали середнім значенням у межах пробної площі. Відібрані дерева спилували і у кожному з них визначали масу таких частин: деревини стовбура, гілок (живих і сухих), хвої (або листків), кори. Далі здійснювали розрахунок маси на 1 га. З кожного компонента деревостану відбирали зразки для визначення питомої активності <sup>137</sup>Cs.

Ярус підросту обраховували у триразовій повторності на облікових ділянках площею 100 м<sup>2</sup>, трав'яно-чагарниковий та моховий яруси відбирали з трьох облікових ділянок площею 1 м<sup>2</sup>, а лишайниковий ярус (епіфітні види) – зі стовбурів трьох дерев головної породи. На облікових ділянках визначали масу складових підросту, підліску та надгрунтового покриву, а у подальшому здійснювали перерахунок маси на 1 га.

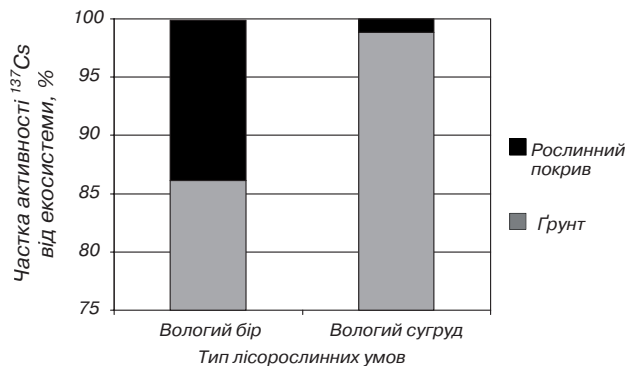
Усі зразки ґрунту та рослинності висушували до повітряно-сухого стану, розмелювали та гомогенізували на пробопідготовлювачах ПРГ-01 Т та ПРП-01. Питому активність <sup>137</sup>Cs визначали на багатоканальному гамма-спектроаналізаторі імпульсів

СЕГ-005-АКП зі сцинтиляційними детекторами БДЕГ-20-Р1 та БДЕГ-20-Р2.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Матеріали досліджень свідчать, що у лісових біогеоценозах і нині основна кількість <sup>137</sup>Cs концентрується у ґрунті (рисунок). Однак цей розподіл у різних типах лісо-рослинних умов має свої специфічні риси. Так, у вологих борах, яким властиві бідні піщані ґрунти, 86,27% сумарної активності радіонукліда розміщуються у ґрунті. Значно більша його частка (98,88%) – у вологих сугрудах, яким характерні відносно багаті супіщані ґрунти (табл. 2). Останні характеризуються більшим умістом гумусу, глинистих мінералів та значно дрібнішим гранулометричним складом. Такі характеристики супіщаних ґрунтів вологих сугрудів забезпечують подальший розподіл радіонуклідів у компонентах фітоценозу. Встановлено, що у вологих сугрудах до деревних рослин мігрувало значно менше радіонуклідів, ніж це зафіксовано у вологих борах. Так, у деревостані перших у 2012 р. містилось лише 0,12% від сумарної активності <sup>137</sup>Cs у біогеоценозі. У вологих борах цей показник значно вищий – 7,48% (у 62,3 раза).

Слід наголосити, що у вологих сугрудах встановлено значно більшу масу деревостану (278397,2 кг/га), ніж у вологих борах (113626,0 кг/га). Це пояснюється сприятливішими ґрунтовими умовами для зростання деревних порід. Але величини



Розподіл сумарної активності <sup>137</sup>Cs між ґрунтом і рослинністю у вологих борах і сугрудах

Таблиця 2

**Розподіл сумарної активності  $^{137}\text{Cs}$  між компонентами біогеоценозів  
у вологих борах і сугрудах**

Компонент біогеоценозу	Вологий бір ( $A_3$ )			Вологий сугруд ( $C_3$ )		
	маса, кг/га	сумарна активність $^{137}\text{Cs}$ , кБк/га	частка активності $^{137}\text{Cs}$ від екосистеми, %	маса, кг/га	сумарна активність $^{137}\text{Cs}$ , кБк/га	частка активності $^{137}\text{Cs}$ від екосистеми, %
Деревостан	113626,0	296170,0	7,48	278397,0	48804,1	0,12
Підріст та підлісок	32,5	285,7	0,01	76,5	6,2	0
Трав'яно-чагарничковий ярус	857,2	21953,4	0,55	441,45	962,9	0
Моховий і лишайниковий яруси, гриби	13348,4	225432,9	5,69	17,69	57,0	0
Ґрунт	4201500,0	3417668,0	86,27	4162840,0	4218805,0	98,88
Разом	–	3961510,0	100,0	–	4717107,0	100,0

питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у деревині, гілках, корі, хвої та листках деревних порід були значно вищими у вологих борах. Це і забезпечило вищу частку вмісту радіонукліда у деревному ярусі такого типу лісорослинних умов.

Можна констатувати, що з часу аварії на ЧАЕС на бідних піщаних ґрунтах спостерігається посилена міграція  $^{137}\text{Cs}$  до деревних порід. Так, у вологих борах величина питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  складала: у деревині сосни звичайної –  $1451 \pm 119$  Бк/кг, хвої однорічній –  $18750 \pm 1650$ , внутрішній частині кори –  $22783$  Бк/кг. У вологих сугрудах ці показники мали величини –  $65 \pm 4$ ,  $790 \pm 64$  і  $918$  Бк/кг, що менше порівняно з показниками вологих борів у 22,3; 23,7 і 24,8 рази відповідно. Отже, перевищення величин питомої активності у компонентах деревостану було значно більшим (на рівень) у вологих борах, ніж перевищення маси деревних порід у вологих сугрудах (у 2,5 рази).

Наведена закономірність для деревних порід підтверджується даними досліджень щодо інших компонентів фітоценозів – питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах підросу, підліску, трав'яно-чагарникового ярусу

була значно вищою у вологих борах. Так, середня величина питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах підросу та підліску у вологих борах становила  $8790$  Бк/кг, у вологих сугрудах –  $81$  Бк/кг; у трав'яно-чагарничковому ярусі –  $25611$  і  $2181$  Бк/кг відповідно до лісорослинних умов. Отже, перевищення значень у вологих борах становило 108,5 та 11,7 рази відповідно.

Аналіз розподілу сумарної активності  $^{137}\text{Cs}$  у фітоценозах досліджуваних типів лісорослинних умов дає підстави стверджувати, що найбільший уміст радіонукліда зафіксовано у деревостанах. У нижніх ярусах рослин уміст  $^{137}\text{Cs}$  був значно нижчим. Як уже йшлося, величини питомої активності радіонукліда в них вищі, ніж в органах і частинах деревних порід, але маса деревного ярусу значно перевищує масу рослин будь-якого ярусу, розташованого нижче. Отже, порівняння значення маси ярусів і питомої активності радіонукліда в рослинах кожного з них свідчить про перевагу першого показника щодо визначення їх ролі у розподілі сумарної активності у фітоценозі.

Значення маси складових біогеоценозу у розподілі сумарної активності радіонукліда можна простежити також у різних

**Розподіл питомої активності та щільності радіоактивного забруднення <sup>137</sup>Cs  
у шарах ґрунту вологих бору та сугруду**

Шар ґрунту	Вологий бір (А <sub>3</sub> )			Вологий сугруд (С <sub>3</sub> )		
	питома активність <sup>137</sup> Cs, Бк/кг	щільність радіоактивного забруднення		питома активність <sup>137</sup> Cs, Бк/кг	щільність радіоактивного забруднення	
		кБк/м <sup>2</sup>	%		кБк/м <sup>2</sup>	%
<b>Лісова підстилка (Н<sub>0</sub>)</b>	<b>*20231</b>	<b>42,49</b>	<b>12,41</b>	<b>*5122</b>	<b>7,17</b>	<b>1,70</b>
нерозкладена	3300±155	0,50	0,15	763±80	0,16	0,04
напіврозкладена	20800±2767	27,04	7,90	2652±300	1,80	0,43
розкладена	23000±2074	14,95	4,36	10210±1000	5,21	1,23
<b>Мінеральні шари ґрунту, см</b>	<b>*717</b>	<b>299,77</b>	<b>87,59</b>	<b>*997</b>	<b>414,76</b>	<b>98,30</b>
HE 0–2	10741±1140	146,08	42,68	7884±800	197,45	46,79
HE 2–4	2876±312	56,95	16,64	4982±500	129,52	30,70
HE 4–6	933±46	22,95	6,71	1600±160	41,63	9,86
HE 6–8	570±77	15,50	4,53	850±80	22,13	5,25
HE 8–10	434±52	12,15	3,55	271±30	7,06	1,67
E 10–12	372±39	10,64	3,11	180±20	4,85	1,15
E 12–14	336±16	9,81	2,87	62±6	1,68	0,40
E 14–16	220±15	6,42	1,88	75±8	2,10	0,50
E 16–18	142±10	4,14	1,21	57±6	1,60	0,38
EI 18–20	112±12	3,25	0,95	49±5	1,40	0,33
EI 20–22	70±6	2,24	0,65	37±4	1,11	0,26
EI 22–24	105±13	3,57	1,04	49±5	1,43	0,34
EI 24–26	74±7	2,34	0,68	44±4	1,30	0,31
EI 26–28	67±7	2,21	0,65	31±3	0,91	0,22
EI 28–30	52±6	1,52	0,44	20±2	0,59	0,14
<b>ВСЬОГО</b>	<b>–</b>	<b>342,26</b>	<b>100,00</b>	<b>–</b>	<b>421,93</b>	<b>100,0</b>

Примітка: \* розраховані значення.

шарах ґрунту (табл. 3). Так, найбільші величини питомої активності <sup>137</sup>Cs, в обох досліджуваних типах лісорослинних умов, встановлено для напіврозкладеного та розкладеного шарів лісової підстилки. Відомо, що лісова підстилка складається з рослинних решток різних частин і органів рослин, що зростають на цій площі. Це — доволі рихла субстанція, тому її маса на одини-

ці площі є незначною порівняно з мінеральною частиною ґрунту. Завдяки цьому вміст <sup>137</sup>Cs в її шарах значно нижчий, ніж у нижче розташованих шарах мінеральної частини ґрунту.

### ВИСНОВКИ

Нині у лісових біогеоценозах основна кількість <sup>137</sup>Cs концентрується у ґрунті,

значно менша — у рослинності. Цей розподіл у різних типах лісорослинних умов має свої специфічні риси. У бідних лісорослинних умовах вологих борів, яким властиві бідні піщані ґрунти, 86,27% сумарної активності радіонукліда розміщується у ґрунті. Значно більша його частка (98,88%) концентрується у вологих сугрудах, яким характерні відносно багаті супіщані ґрунти.

На бідних піщаних ґрунтах спостерігається інтенсивніша міграція  $^{137}\text{Cs}$  до деревних порід. Так, у вологих борах величина

питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  становить: у деревині сосни звичайної —  $1451 \pm 119$  Бк/кг, хвої однорічній —  $18750 \pm 1650$ , внутрішній частині кори —  $22783$  Бк/кг. У вологих сугрудах ці показники були значно нижчі —  $65 \pm 4$ ,  $790 \pm 64$  і  $918$  Бк/кг відповідно.

Аналіз розподілу сумарної активності  $^{137}\text{Cs}$  у фітоценозах досліджуваних типів лісорослинних рослин засвідчив, що найвищий уміст радіонукліда зафіксовано у деревостанах, а в нижніх ярусах рослин уміст  $^{137}\text{Cs}$  є значно нижчим.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Краснов В.П. Радиоэкология лесів Полісся України: монографія / В.П. Краснов. — Житомир: Волинь, 1998. — 112 с.
2. Булавик И.М. Содержание цезия-137 в почве и древесной растительности при различной плотности загрязнения территории радионуклидами / И.М. Булавик // Эколог. и соц. проблемы лесного хозяйства Беларуси. — Минск: Бел. НИИ лесного хозяйства, 1991. — С. 89–99.
3. Прикладная радиоэкология леса: Монография / [В.П. Краснов, А.А. Орлов, В.О. Бузун и др.]; под ред. В.П. Краснова. — Житомир: Полісся, 2007. — 680 с.
4. Биогеохимический цикл и потоки  $^{137}\text{Cs}$  в лесных ландшафтах / А.И. Щеглов, О.Б. Цветнова, А.Л. Кляшторин и др. // 3-й съезд по радиационным исследованиям: радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность. — Пуццино, 1997. — Т. 2. — С. 383–384.
5. Особенности распределения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почве и накопления древесины и корой сосны (*Pinus sylvestris* L.) в различных условиях местопрорастания / А.Н. Переволоцкий, И.М. Булавик, Т.В. Переволоцкая и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2007. — Т. 47, № 4. — С. 463–470.
6. Шитюк К.В. Порівняльна оцінка розподілу  $^{137}\text{Cs}$  в екосистемах соснових та сосново-дубових лісів Українського Полісся / К.В. Шитюк, О.О. Орлов, С. Д. Мельничук // Ядерна фізика та енергетика. — 2010. — Т. 11, № 4. — С. 74–80.
7. Лавренко Е.М. Основные закономерности растительных сообществ и пути их изучения / Е.М. Лавренко // Полевая геоботаника / Под общ. ред. Е.М. Лавренко и А.А. Корчагина. — Т. I. — М., Л.: Наука, Ленинградское отд., 1959. — С. 13–70.

## REFERENCES

1. Krasnov V.P. (1998). *Radioekologhiia lisiv Polissia Ukrainy: Monohrafiia* [Radioecology of forests Woodlands of Ukraine: Monograph]. Zhytomyr: Volyn, 112 p. (in Ukrainian).
2. Bulavik I.M. (1991). *Soderzhanie tseziya-137 v pochve i drevesnoy rastitelnosti pri razlichnoy plotnosti zagryazneniya territorii radionuklidami* [The content of cesium-137 in soil and woody vegetation at different density of contamination with radionuclides]. *Ekol. i sots. problemy lesnogo khozyaystva Belarusi* [Econ. and soc. problems of forestry in Belarus]. Minsk: NII lesnogo khozyaystva, pp. 89–99 (in Russian).
3. Krasnov V.P., Orlov A.A., Buzun V.O. et al. (2007). *Prikladnaya radioekologiya lesa: Monografiya* [Applied radioecology of the forest: Monograph]. Zhitomyr: Polissya, 680 p. (in Russian).
4. Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Klyashtorin A.L. et al. (1997). *Biogekhimicheskii tsikl i potoki  $^{137}\text{Cs}$  v lesnykh landshaftakh* [Biogeochemical cycles and fluxes of  $^{137}\text{Cs}$  in forest landscapes]. *3-y sezd po radiatsionnym issledovaniyam. Radiobiologiya, radioekologiya, radiatsionnaya bezopasnost* [3rd congress of radiation research. Radiobiology, radioecology, radiation safety]. Pushchino, vol. 2, pp. 383–384 (in Russian).
5. Perevolotskiy A.N., Bulavik I.M., Perevolotskaya T.V. et al. (2007). *Osobennosti raspredeleniya  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  v pochve i nakopleniya drevesinoy i koroy sosny (*Pinus sylvestris* L.) v razlichnykh usloviyakh mesto-proizrastaniya* [The distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the soil and the accumulation of wood and bark of pine (*Pinus sylvestris* L.) in a variety of site conditions]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. Vol. 47, No. 4, pp. 463–470 (in Russian).
6. Shytiuk K.V., Orlov O.O., Melnychuk S.D. (2010). *Porivnialna otsinka rozpodilu  $^{137}\text{Cs}$  v ekosystemakh sosnovykh ta sosново-dubovykh lisiv Ukrainkoho Polissia* [Comparative evaluation of  $^{137}\text{Cs}$  in ecosystems of pine and pine-oak forests of Ukrainian Polissya]. *Nuclear Physics and Atomic Energy*. Vol. 11, No. 4, pp. 74–80 (in Ukrainian).
7. Lavrenko Ye.M., Korchagina A.A. (1959). *Osnovnye zakonomernosti rastitelnykh soobshchestv i puti ikh izucheniya* [Basic laws of plant communities and their way of studying]. *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Vol. I, Moskva, Leningrad: Nauka, Leningradskoe otd., pp. 13–70 (in Russian).