

11. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов [в 6-ти т.] / В.В. Иванов; под ред. Э.К. Буренкова. — М.: Недра, 1994. — Т. 1. — 304 с.
12. Chemistry of Europe's Agricultural Soils / L. Reimann, M. Birke, A. Demetriades et al. — Part 1. — Hannover: BGR, 2014. — 528 p.
13. Memorandum of Understanding for the implementation of a European Concerted Research Action designated as COST Action FA0905: Mineral-Improved Crop Production for Healthy Food and Feed [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.umb.no/costaction/article/memorandum-of-understanding>
14. Протокол по стратегической экологической оценке к конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте [Електронний ресурс]. — Режим доступу: treaties.un.org/doc/source/RecentTexts/27_4bR.pdf.
15. Європейська ландшафтна конвенція (Флоренція, 20 жовтня 2000 р.) / Ратифіковано Законом України № 2831-IV(2831-15) від 07.09.2005. — 5 с.
16. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафтов / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. — М.: Астрей, 2000. — 763 с.
17. *Єгорова Т.М.* До питання розвитку екологічної геохімії України / Т.М. Єгорова // Геолог України. — 2004. — № 1. — С. 13–15.
18. *Фурдичко О.І.* Агроекологія: монографія / О.І. Фурдичко. — К.: Аграр. наука, 2014. — 400 с.
19. Агроекологічне районування (методичні рекомендації) / В.В. Коніщук, Т.М. Єгорова, Н.Б. Мельник; наук. ред. О.І. Фурдичко. — К.: ТОВ «ДІА», 2014. — 44 с.
20. Словник-довідник з агроекології і природокористування / За наук. ред. О.І. Фурдичка. — К.: ТОВ «ДІА», 2012. — 336 с.

УДК 634.73:631.559(477)

АКУМУЛЯЦІЯ РАДІОНУКЛІДІВ МАКРОМІЦЕТАМИ В УКРАЇНСЬКОМУ ПОЛІССІ

В.П. Ландін¹, Г.А. Гродзинська²

¹ Інститут агроекології і природокористування НААН

² Інститут ботаніки НАН України

Висвітлено результати досліджень накопичення ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr різними видами макроміцетів у радіоактивно забруднених лісових екосистемах Полісся. Серед досліджених трофічних груп грибів значними є рівні акумуляції цих радіонуклідів представниками симбіотрофних видів з родів *Cortinariaceae*, *Russulaceae*, *Boletaceae* і *Paxillaceae*. Коефіцієнти накопичення ¹³⁷Cs симбіотрофними видами варіюють у межах 1,4–64,4, а лігнотрофними — на рівень нижчі. У гумусових сапротрофів, що зростають у зоні Полісся, цей показник є мінімальним — менше одиниці, що характеризує істотні види макроміцетів з цих родів як доволі безпечні для вживання в їжу та з лікарською метою. Максимальну накопичувальну здатність ⁹⁰Sr також мають симбіотрофні види — *Amanita pantherina*, *Amanita muscaria* і *Amanita rubescens*. Але коефіцієнти накопичення ⁹⁰Sr макроміцетами на 1–2 математичних рівні нижчі від коефіцієнтів ¹³⁷Cs. Для біологічної індикації і довгострокового моніторингу забруднення лісових екосистем Полісся ¹³⁷Cs найпридатнішими тест-об'єктами, окрім *Boletus badius*, є види з високою частотою трапляння — неїстівний гірчак (*Lactarius rufus*) і токсична свинуха тонка (*Paxillus involutus*).

Ключові слова: лісові екосистеми, макроміцети, радіонукліди, акумуляція, біологічна індикація.

Серед біологічних об'єктів макроміцети відомі як накопичувачі радіонуклідів та важких металів. Саме гриби відіграють ключову роль не лише у біогенній міграції ра-

діонуклідів у ґрунтах, але й у іммобілізації значної їх кількості внаслідок утримування ґрунтовою міцеліальною біомасою [1–3].

За період, що минув після аварії на Чорнобильській АЕС, радіоекологами різних країн досліджено вплив трофічних і то-

пічних груп їстівних грибів на акумуляцію техногенних радіонуклідів, переважно ^{137}Cs , за різних умов місцезростання. Поряд із тим з відомих 120 тис. видів грибів ґрунтовні дослідження проведено лише щодо їстівних видів. Крім того, мало вивченими залишаються питання акумуляції різними видами грибів такого біологічно значущого радіонукліда, як ^{90}Sr та питання використання грибів для біологічної індикації рівнів радіоактивного забруднення лісових екосистем.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Питома активність ^{137}Cs у зразках дикорослих видів *Basidiomycota* (близько 1200 зразків, що належить до 207 видів) і субстратів (ґрунтів), зібраних упродовж 2013 р. із 42 місцезростань Київського і Житомирського Полісся (розбиті на квадрати ділянки) визначали методом гамма-спектрометрії (Ge-детектор Canberra GLX 4019). Зразки грибів очищали від рослинних та ґрунтових решток та, як і зразки ґрунтів з місцезростань (шар 0–5 см), висушували при температурі 40–50 °C і подрібнювали, потім досушували їх упродовж 24 год при 80 °C. Тривалість вимірю-

вання зразків, залежно від їх активності, становить 6–36 год. Похибка вимірювання активності ^{137}Cs , зазвичай, була меншою ніж 20%. Активність ^{90}Sr визначали на бета-спектрометрі радіохімічним методом на основі акумуляції ^{90}Y за стандартною методикою [4]. Середні рівні поверхневого забруднення ґрунту визначали за результатами спектрометричних вимірювань.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Гамма-спектрометричне і радіохімічне дослідження актуальних на сьогодні біологічно значущих радіонуклідів — ^{137}Cs і ^{90}Sr у плодівих тілах макроміцетів, зібраних у Народицькому лісництві Древянського природного заповідника в Житомирській обл. (середній рівень поверхневого забруднення ґрунту ^{137}Cs — 699,3 кБк/м², ^{90}Sr — 7,4–25,9 кБк/м²) та Зеленополянському лісництві ДП «Поліське лісове господарство» Київської обл. (щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs — 55,5–229,4 кБк/м²; ^{90}Sr — 7,4–18,5 кБк/м²), засвідчило про значний рівень акумуляції радіонуклідів (табл. 1, 2) симбіотрофними видами з родин *Cortinariaceae*, *Russulaceae*, *Boletaceae* і *Paxillaceae*.

Таблиця 1

Активність ^{137}Cs та ^{90}Sr у макроміцетах і ґрунтах (Житомирське Полісся, природний заповідник «Древянський»), 2013 р.

Макроміцети	№ квадрата	Активність ^{137}Cs (Бк/кг с.м.)*	Кн ^{**} ^{137}Cs	Активність ^{90}Sr (Бк/кг с.м.)	Кн ^{90}Sr	$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$
<i>Сімбіотрофи</i>						
<i>Amanita citrina</i>	42	65000	16,8	94	2,47	691,49
<i>A. muscaria</i>		2280	0,59	—	—	—
<i>Boletus badius</i>		185000	47,8	32	0,84	5781,3
<i>B. bovinus</i>		118179	30,54	—	—	—
<i>B. edulis</i>		53000	13,7	28	0,74	1892,86
<i>Lactarius deliciosus</i>		43262	11,18	—	—	—
<i>L. helvus</i>		234000	60,47	30	0,79	7800
<i>L. rufus</i>		133000	34,37	70	1,84	1900
<i>L. aurantiacum</i>		8408	2,17	—	—	—
<i>Leccinum scabrum</i>		58900	15,22	28	0,74	2103,57
<i>Russula emetica</i>		157000	40,57	193	5,08	813,47

Закінчення табл. 1

Макроміцети	№ квадрата	Активність ¹³⁷ Cs (Бк/кг с.м.)*	K _H ** ¹³⁷ Cs	Активність ⁹⁰ Sr (Бк/кг с.м.)	K _H ⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs/ ⁹⁰ Sr
<i>Russula xerampelina</i>	42	68400	17,67	26	0,68	2630,77
<i>Sarcodon imbricatum</i>		441000	113,95	38	1,0	11605,26
<i>Suillus granulatus</i>		22404	5,79	—	—	—
<i>S. luteus</i>		61200	15,81	29	0,76	2110,34
Ґрунт		3870		38		101,84
Лігнотрофи						
<i>Hypholoma fasciculare</i>	42	43306	11,19	—	—	—
<i>Piptoporus betulinus</i>		240	0,06	—	—	—
Ґрунт		3870		38		101,84
Підстилкові сапрофіти						
<i>Macrolepiota procera</i>	42	1630	0,42	56	1,47	29,11
Ґрунт		3870		38		101,84
Гумусові сапрофіти						
<i>Calvatia utriformis</i>	42	662	0,17	108	2,84	6,13
Ґрунт		3870		38		101,84

Примітка: * — суха маса, ** — коефіцієнт накопичення.

Таблиця 2

**Активність ^{137}Cs та ^{90}Sr у макроміцетах і ґрунтах
(Київське Полісся ДП «Поліське лісове господарство», Зеленополянське лісництво), 2013 р.**

Макроміцети	№ квадрата	Активність ^{137}Cs (Бк/кг с.м.)*	K_H^{**} ^{137}Cs	Активність ^{90}Sr (Бк/кг с.м.)	K_H ^{90}Sr	$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$
<i>Сімбіотрофи</i>						
<i>Amanita muscaria</i>	3	4180	2,68	33	0,29	126,67
<i>Cortinarius sp.</i>		130000	39,27	30	0,17	4333,33
<i>Leccinum holopus</i>		10100	3,05	85	0,49	118,83
<i>L. scabrum</i>		10800	3,26	83	0,47	130,12
<i>Russula ochroleuca</i>		79100	23,9	32	0,18	2471,88
<i>Boletus badius</i>		213000	64,35	27	0,15	7888,89
<i>Suillus granulatus</i>		83400	25,2	104	0,59	801,92
Ґрунт		1562		113		13,81
<i>Amanita pantherina</i>	18	9820	5,88	20	0,22	491,0
<i>A. rubescens</i>		9750	5,84	189	2,08	51,59
<i>Boletus edulis</i>		12100	7,25	31	0,34	390,32
<i>Leccinum aurantiacum</i>		3910	2,34	43	0,47	90,93
<i>L. holopus</i>		13200	7,9	33	0,36	400,0
<i>Suillus luteus</i>		7310	4,38	57	0,63	128,2

Закінчення табл. 2

Макроміцети	№ квадрата	Активність ^{137}Cs (Бк/кг с.м.)*	K_H^{**} ^{137}Cs	Активність ^{90}Sr (Бк/кг с.м.)	K_H ^{90}Sr	$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$
<i>Tylopilus felleus</i>	18	22800	13,65	62	0,68	367,74
Ґрунт		1670		91		18,35
<i>Amanita muscaria</i>	17	12100	8,52	234	10,17	51,71
<i>Boletus bovinus</i>		15142	10,66	—	—	—
<i>B. edulis</i>		8960	6,31	111	4,83	80,72
<i>Calvatia utriformis</i>		2190	1,54	125	5,43	17,52
<i>Cantharellus cibarius</i>		6200	4,37	110	4,78	56,36
<i>Cortinarius sp.</i>		51000	35,92	50	2,17	1020,0
<i>Paxillus involutus</i>		52300	36,83	34	1,48	1538,24
<i>Russula vesca</i>		53853	37,92	—	—	—
Ґрунт		1420		23		61,74
<i>Amanita citrina</i>	5	24400	8,97	252	2,34	96,83
<i>Cantharellus cibarius</i>		3719	1,37	108	1,02	34,44
<i>Gomphidius rutilus</i>		128000	47,06	218	2,06	587,16
<i>Amanita pantherina</i>		84500	44,71	288	4,72	293,4
<i>Cortinarius sp.</i>		75400	39,89	33	0,54	2284,85
Ґрунт		2720		106		25,66
<i>Лігнотрофи</i>						
<i>Daedalea quercina</i>	18	7260	4,35	309	3,4	23,49
Ґрунт		1670		91		18,35
<i>Гумусові сапротрофи</i>						
<i>Collybia maculata</i>	5	2600	0,79	71	0,67	36,62
Ґрунт		2720		106		25,66

Примітка: див. прим. до табл. 1.

Серед макроміцетів, зібраних 2013 р. у лісових екосистемах Київського Полісся, найвищу активність мали представники *Boletus badius* — 213 000 Бк/кг с.м., *Paxillus involutus* — близько 52 300, *Cortinarius sp.* — 130 000 Бк/кг с.м.

Найнижча акумулятивна здатність ^{137}Cs спостерігається у сапротрофних та лігнотрофних видів з родин *Agaricus*, *Macrolepiota*, *Lycoperdon*, *Calvatia*, *Collybia*, *Armillariella*, *Coryolus*, *Pholiota*, *Pleurotus*, *Laetiporus*, *Hypholoma*, *Piptoporus*, *Picnoporus*, *Grifola*. Коефіцієнт накопичення ^{137}Cs (співвідношення активності ^{137}Cs у плодovому тілі

та його активності у ґрунті або субстраті з місцезростання) симбіотрофних видів варіює у межах 1,4–64,4 одиниці, а лігнотрофів — на рівень нижче. У гумусових сапротрофів, що зростають у Київському Поліссі, цей показник мінімальний — менше одиниці, тобто характеризує їстівні види з цих родин як доволі безпечні для людини.

Щодо акумуляції макроміцетами ^{90}Sr , нами встановлено — максимальну накопичувальну здатність мають симбіотрофні види *Amanita pantherina*, *Amanita muscaria* і *Amanita rubescens*, відповідно 288, 234 і

218 Бк/кг. З видів лігнотрофів максимальні показники питомої активності ^{90}Sr виявлено у виду *Daedalea quercina* — 309 Бк/кг. Коефіцієнти накопичення ^{90}Sr у симбіотрофів Київського Полісся варіюють у межах 0,15–10,2. У Житомирському Поліссі вони становлять 0,7–5,08, до того ж мінімальні показники накопичення ^{90}Sr мають *Russula xerampelina* і *Boletus badius*, *B. edulis*, *Lactarius helvus*.

Коефіцієнти накопичення ^{137}Cs , незважаючи на доволі низький рівень забруднення ґрунту, були значиними — у мікосимбіотрофів вони становили $10\text{--}10^2$, траплялося (у представників родів *Cortinarius*, *Lepista*, *Lactarius* та *Amanita*) сягали тисячі одиниць. Впродовж останнього десятиліття накопичення ^{137}Cs *Amanita spp.* істотно зменшилося порівняно з першими післячорнобильськими роками. Однак спостерігається істотна розбіжність у коефіцієнтах та рівнях акумуляції цього радіонукліда представниками роду *Amanita* — від 1,43 (*A. pantherina*) до 1282 (*A. rubescens*). Саме ця нестабільність у біоаккумуляції унеможливило використання вказаної групи видів для біоіндикації.

Активність ^{137}Cs у підстилкових сапротрофів *Macrolepiota spp.* вимірювалась у межах 73–1981 Бк/кг с.м., у лігнотрофів — від 906 (*T. rutilans*), 524 (*A. mellea*) до 59 (*Hypholoma fasciculare*) і 40 (*P. betulinus*) Бк/кг с.м. Максимальні рівні активності ^{90}Sr були виявлені у *A. rubescens*, *L. helvus*, *Russula vesca* і *R. cyanoxantha*. Співвідношення активності ^{137}Cs і ^{90}Sr у плодових тілах грибів свідчить, що біоаккумуляція ^{137}Cs відбувається в середньому на 1–2 рівні інтенсивніше, ніж біоаккумуляція ^{90}Sr .

З огляду на наведені дані, гриби є концентраторами ^{137}Cs у лісових екосистемах, що зумовлено їх особливостями метаболічних процесів. Тому ми вважаємо за доцільне використовувати гриби як біоіндикатори радіоактивного забруднення. Аналогічної думки притримуються також білоруські, російські та українські радіоекологи [5–7].

За результатами гамма-спектрометричного аналізу зразків макроміцетів, відібраних у 2013 р., було встановлено

деяке зниження рівнів активності ^{137}Cs порівняно з попереднім періодом, що насамперед зумовлено екстремально посушливими погодними умовами року, в який проводили дослідження. Вміст ^{40}K у відібраних зразках вимірювався у межах 1800–5300 Бк/кг с.м., видоспецифічну особливість накопичення цього елемента досі не встановлено. Найвищі рівні накопичення ^{90}Sr були виявлені у мікосимбіотрофних видів *Amanita rubescens*, *Lactarius helvus*, *Cortinarius praestans* і *Cantharellus cibarius* з місцезростань Іванківського, Вишгородського та Бородянського р-нів Київської обл., тобто з південного радіаційного сліду, де у складі радіоактивного забруднення разом із ^{137}Cs випав і ^{90}Sr .

Дослідження зразків макроміцетів і ґрунтів, відібраних у 2013 р. на території Київської, Житомирської обл., також свідчать про зниження сорбції ^{137}Cs , обумовлене відсутністю опадів, що вказує на метеозалежність накопичення радіонуклідів макроміцетами. Максимальна активність ^{137}Cs у посушливий рік була виявлена в плодових тілах мікосимбіотрофних видів з родин *Cortinariaceae*, *Russulaceae*, *Boletaceae* та *Bankeraceae* зі стаціонарів Іванківського р-ну Київської обл. (близько 76 000 Бк/кг у *Cortinarius sp.*, 61 300 — у *Sarcodon imbricatum*, 42 300 — у *Lactarius ufus*, 31400–6780 Бк/кг у *Boletus badius*). Уміст ^{137}Cs у зразках сапротрофних і лігнотрофних видів при рівнях поверхневого забруднення ґрунтів 185 кБк/м² був нижчим від гранично допустимих рівнів.

Важливим питанням в оцінюванні рівня небезпеки вживання дикорослих їстівних та лікарських видів грибів є використання біоіндикаторів. У наших дослідженнях ми використовували рекомендовані нами раніше види з високою акумулятивною здатністю до сорбції ^{137}Cs , що доволі поширені на території України і можуть бути використані для проведення довгострокових моніторингових досліджень.

Але слід наголосити, що гіперакумулятори ^{137}Cs з родів *Suillus* та *Boletus* — цінні їстівні види, які масово збираються населенням України, тому їх використання до-

волі ускладнене. Поряд із тим застосування польського гриба як індикатора становить інтерес, переважно щодо порівняння отриманих даних з науковою інформацією інших країн [8]. На нашу думку, окрім *Boletus badius*, доволі поширені види з високою частотою трапляння, що не використовуються в їжу — неїстівний гірчак (*Lactarius rufus*) і токсична свинуха тонка (*Paxillus involutus*), є найпридатнішими тест-об'єктами для довгострокового моніторингу забруднення ^{137}Cs лісових екосистем України.

ВИСНОВКИ

За активністю акумульованого ^{137}Cs мікосимбіотрофні види макроміцетів істотно переважають сапротрофні та лігнотрофні види. Порівняно з ^{137}Cs , макроміцети накопичують ^{90}Sr на рівень менше.

У віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС найвищі рівні сорбції ^{137}Cs продовжують визначатися у представників родин *Cortinariaceae*, *Bankeraceae* (*Sarcodon imbricatum*), *Russulaceae* (*Lactarius spp.*), *Boletaceae* (*Boletus spp.*, *Leccinum scabrum*), *Paxillaceae* (*P. involutus*), *Suillaceae*, *Tricholomataceae*, що свідчить про довготривалу небезпеку для населення територій з рівнем поверхневого забруднення ґрунтів ^{137}Cs 37 кБк/м² унаслідок споживання дикорослих їстівних та лікарських видів макроміцетів із вказаних родин.

Для біологічної індикації і довгострокового моніторингу рівнів забруднення лісових екосистем України ^{137}Cs найпридатнішими тест-об'єктами, окрім *Boletus badius*,

є неїстівний гірчак (*Lactarius rufus*) і токсична свинуха тонка (*Paxillus involutus*).

ЛІТЕРАТУРА

1. Накопичення радіонуклідів споровими рослинами і вищими грибами України / С.П. Вассер, В.О. Болух, Г.О. Брунь, та ін.; під заг. ред. С.П. Вассера. — К., 1995. — 131 с.
2. Grodzinskaya A.A. Radiocesium in fungi: Accumulation pattern in the Kiev district of Ukraine including the Chernobyl zone / A.A. Grodzinskaya, M. Berreck, S.P. Wasser, K. Haselwandter // Sydowia. — 1995. — No. 10. — P. 88–96.
3. Аккумулятивная активность макромицетов в условиях радионуклидного загрязнения территории Украины / А.А. Гродзинская, С.А. Сырчин, Н.Д. Кучма, С.П. Вассер // Микобиота Украинского Полесья: последствия Чернобыльской катастрофы. — Глава 6. — К.: Наукова думка, 2013. — С. 217–260, 368–373.
4. Марей А.Н. Особенности поступления глобального цезия-137 и стронция-90 по пищевым цепям населения Полесья / А.Н. Марей. — М.: Гигиена и санитария, 1970. — 310 с.
5. Булавик И.М. Пищевая продукция леса в условиях радиоактивного загрязнения / И.М. Булавик, А.Н. Перволюцкий, В.М. Сурта // Третий съезд по радиационным исследованиям: Тезисы докладов. — Т. 2. — Пушино, 1997. — С. 344–345.
6. Тихомиров Ф.А. Последствия радиоактивного загрязнения лесов в зоне влияния аварии на ЧАЭС / Ф.А. Тихомиров, А.И. Щеглов // Радиационная биология. Радиоэкология. — 1997. — Т. 37. — Вып. 4. — С. 664–672.
7. Прикладная радиоэкология леса: монография / В.П. Краснов, А.А. Орлов, В.А. Бузун и др.; [Под ред. д-ра с.-х. наук В.П. Краснова]. — Житомир: Полісся, 2007. — 680 с.
8. Fraiture A. Interest of fungi as bioindicators of the contamination in forest ecosystems. In: Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments / A. Fraiture, O. Guillite, J. Lambinon; Eds G. Desmet, P. Nassimbeni, M. Belli. — London; New York: Elsevier app., Sci., 1990. — P. 477–484.